

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

**PALINOLOGIA DE DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DA PLANÍCIE
COSTEIRA DE SANTA CATARINA (GAROPABA, BRASIL)**

LIDIA AUMOND KUHN

ORIENTADOR – Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Porto Alegre – 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Kuhn, Lidia Aumond

Palinologia de depósitos quaternários da Planície Costeira de Santa Catarina (Garopaba, Brasil) . / Lidia Aumond Kuhn. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[95 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es):Paulo Alves de Souza

1. Planície Costeira 2. Evolução ambiental 3. Holoceno 4. Palinologia I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

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

**PALINOLOGIA DE DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DA PLANÍCIE
COSTEIRA DE SANTA CATARINA (GAROPABA, BRASIL)**

LIDIA AUMOND KUHN

ORIENTADOR – Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Araújo Carvalho – Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Maria Judite Garcia – Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Eduardo Barboza – Centro de Estudos Costeiros e Oceânico, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2017

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela infraestrutura e corpo docente. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado e pelo suporte financeiro através do projeto 454804/2014-8, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro através do projeto APG1012119.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Alves de Souza, pela dedicação, por ser um exemplo como pesquisador e professor durante essa minha jornada acadêmica e profissional, além de desempenhar o fundamental papel de tutor acadêmico. Agradeço a todos meus amigos e colegas do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, pela amizade, companheirismo, discussões e cafés, com os quais tenho o imenso prazer de conviver diariamente. Em especial aos colegas de sala: Renato Macedo, Wagner Silva, Rodrigo Cancelli e Fernando Michels quem pude compartilhar dúvidas, descobertas e muitas horas de conversas entre aulas, almoços, manhãs e tardes de trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Leo Hartmann pelas orientações recebidas ao longo da redação do artigo científico. Também agradeço ao Prof. Dr. Eduardo Barboza pela atenção e por possibilitar a realização das análises granulométricas.

Gostaria de agradecer às minhas colegas e amigas, da graduação para vida, Ludmila Losada, Luana Lima e Silva e Luana Tavares, vocês tornaram os dias no campus do vale muito felizes. Também agradeço meus amigos dos tempos do colégio, pela companhia e amizade atemporal: vocês tornam agradáveis até mesmo os momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus queridos pais por tudo. Pelo amor, carinho, valores, mas principalmente por me darem três irmãs, Eugênia, Sofia e Isadora, as quais são minhas companheiras, meus exemplos de mulheres pesquisadoras, obrigada minhas meninas. Por fim, gostaria de agradecer ao Guilherme Sonntag Hoerlle, meu companheiro, amigo e futuro colega, pelo apoio, ajuda e carinho desde o início deste trabalho.

RESUMO

Análises palinológicas de depósitos quaternários utilizadas para elucidar questões paleoclimáticas, paleovegetacionais e paleoambientais, devido ao elevado potencial de preservação dos palinomorfos e à ampla variedade de hábitos e habitats nos quais eles são distribuídos. Neste contexto, este trabalho apresenta uma reconstrução paleoambiental a partir de análises palinológicas de um testemunho sedimentar com idade holocênica, perfurado na Planície Costeira de Santa Catarina, município de Garopaba, sul do Brasil. Um total de 46 amostras foi coletado ao longo dos 450 cm do testemunho (poço PCSC-3). Além disso, três datações radiocarbônicas e análises granulométricas foram realizadas. Das 46 amostras, três delas apresentaram-se escassas para as análises palinológicas e foram descartadas para as interpretações paleoambientais. Os diagramas palinológicos e a análise de agrupamento foram considerados a partir da soma total de palinomorfos (100%). O conteúdo palinológico inclui 84 táxons identificados: grãos de pólen de angiospermas (46) e gimnospermas (3), esporos de pteridófitas (16) e briófitas (2), esporos de fungos (8), cistos de algas (3), acritarcos (3), cistos de dinoflagelados (2) e palinoforaminíferos (1). Três espécimes de acritarcos são descritos e ilustrados devido à sua importância paleoambiental. A partir da análise de agrupamento, três fases palinológicas foram definidas baseadas nas mudanças nas assembleias palinológicas: Fase I, Fase II e Fase III. A Fase I é caracterizada por um paleoambiente lagunar com influência marinha desde o início de sua sedimentação (5390 anos AP), com base em ocorrências de acritarcos, cistos dinoflagelados e palinoforaminíferos. A Fase II, de 3032 anos AP até 858 anos AP, também é caracterizada por um paleoambiente lagunar; no entanto a diminuição da porcentagem de elementos marinhos e o aumento do registro de algas de água doce (*Botryococcus*) sugerem menor influência marinha dentro do corpo lagunar, indicando uma fase transicional entre a Fase I e Fase III. Na Fase III (últimos 856 anos) prevalece a sedimentação subaquosa, sob condições pantanosas.

Palavras-chaves: Planície Costeira, Evolução ambiental, Holoceno, Palinologia, Santa Catarina.

ABSTRACT

Palynological analyses of Quaternary deposits are used in order to elucidate paleoclimatic, paleogeographic and paleoenvironmental issues, due to the high potential of palynomorph preservation and the wide variety of habits and habitats in which they are distributed. In this context, this study presents a paleoenvironmental reconstruction from palynological analyses of a sedimentary core of Holocene age (PCSC-3 well), drilled at the Santa Catarina Coastal Plain, municipality of Garopaba, southern Brazil. A total of 46 samples was collected for palynological analyses in the 450 cm-long core, as also three samples for radiocarbon dating and granulometric analyses. Of the 46 samples, three of them revealed scarce for palynological analysis, which were discarded for paleoenvironmental interpretations. Palynological diagrams and a clustering analysis were calculated considering the total sum of palynomorphs (100%). The palynological content includes 84 taxa related to pollen grains of angiosperm (46) and gymnosperm (3), spores of pteridophyta (16) and bryophyta (2), spores of fungi (8), algae (3), acritarchs (3), dinoflagellate cysts (2) and microforaminiferal linings (1). Three specimens of acritarchs are described and illustrated due to their paleoenvironmental importance. From the cluster analysis, three palynological phases were defined based on changes in the palynological assemblages: Phase I, Phase II and Phase III. The Phase I is characterized as a lagoonal paleoenvironment with marine influence from the beginning of the sedimentation (5390 cal yr BP), based on occurrences of acritarchs, dinoflagellate cysts and microforaminiferal linings. The Phase II (3032 yr BP until 858 cal yr BP) also is characterized by a lagoonal paleoenvironment; however the decrease in percentage of marine elements and the increase in freshwater algae record suggest less marine influence in the lagoonal body, indicating a transitional phase between the Phase I and Phase III. In Phase III (last 856 years), underwater sedimentation prevailed, under swamp-like conditions.

Key words: Coastal Plain, Environmental evolution, Holocene, Palynology, Santa Catarina

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição ambiental dos palinomorfos. 1- Grão de pólen; 2- Esporo; 3- Acritarco; 4- Dinoflagelado; 5- Palinoforaminífero (modificado de Seyve, 1990; apud, Antunes & Melo, 2001).....	4
Figura 2. Mapa de localização dos trabalhos de palinologia realizados no litoral de Santa Catarina.....	10
Figura 3. Mapa dos setores da Planície Costeira de Santa Catarina segundo Horn Filho (2003) (modificado de Horn Filho et al. 2006).....	18
Figura 4. Mapa de localização da área de estudo (modificado de Horn Filho et al.,2012).....	20
Figura 5. Perfil sedimentar esquemático do poço PCSC-3 mostrando a variação da granulometria, localização das amostras extraídas para as análises palinológicas e as datações radiocarbônicas.....	28
Figura 6. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A-B) <i>Alchornea</i> , (C) <i>Amaranthus/Chenopodiaceae</i> , (D) <i>Apiaceae</i> , (E) <i>Arecaceae</i> , (F-G) <i>Ilex</i> , (H) <i>Myrtaceae</i> , (I) <i>Poaceae</i> , (J) <i>Asteraceae</i> subf <i>Cichorioideae</i> , (K-L) <i>Asteraceae</i> subf. <i>Asteroideae</i>	32
Figura 7. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A-B) <i>Cucurbitaceae</i> , (C) <i>Oxalidaceae</i> , (D) <i>Celtis</i> , (E) <i>Cyperaceae</i> , (F) <i>Ericaceae</i> , (G) <i>Myrcine</i> , (H-I) <i>Sebastiania</i> , (J) <i>Sapium</i> , (K-L) <i>Rubiaceae</i> , (K) <i>Tocoyena</i>	33
Figura 8. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A) <i>Polygonum</i> , (B) <i>Lamiaceae</i> , (C) <i>Drymis brasiliensis</i> , (D) <i>Proteaceae</i> , (E) <i>Malvaceae</i> , (F) <i>Anacardiaceae</i> , (G) <i>Myriophyllum aquaticum</i> , (H) <i>Mimosa</i> serie <i>Lepidoteae</i> , (I) <i>Mimosoideae</i> , (J) <i>Matayba</i> , (K) <i>Faramea</i> , (L) <i>Allophylus edulis</i>	34
Figura 9. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A) <i>Tripodanthus acutifolia</i> , (B) <i>Trema michranta</i> , (C-D) <i>Utricularia</i> , (E-F) <i>Dodonea viscosa</i> , (G) <i>Gomphrena</i> , (H) <i>Alnus</i> , (I) <i>Ephedra sellowiana</i> , (J) <i>Araucaria augustifolia</i> , (K) <i>Podocarpus</i> , (L) <i>Nothofagus</i>	35
Figura 10. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen não determinados: (A-B) não determinado 7, (C-D) não determinado 28, (E-F) não determinado 29, (G-H) não determinado 31, (I-J) não determinado 35, (K-L) não determinado 36.....	36
Figura 11. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Esporos determinados: (A-B) <i>Lycopodiella alopecuroides</i> , (C) <i>Sphagnum</i> , (D) <i>Phaeoceros</i> , (E-F) <i>Dicksonia</i> , (G-H) <i>Polypodiaceae</i> , (I) <i>Blechnum</i> , (J) <i>Osmunda</i> , (K) <i>Cyathea</i> , (L) <i>Lycopodium clavatum</i>	37
Figura 12. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Esporos determinado: (A-B) <i>Huperzia</i> . Esporos não determinados: (C) não determinado 1, (D) não determinado 12, (E) não determinado 26, (F) não determinado 4, (G) não determinado 25. Fungos determinados: (H) Hifa de fungo, (I) <i>Glomus</i> , (J) <i>Tetraploa</i> , (K) <i>Neurospora</i> , (O) <i>Nigrospora</i>	38
Figura 13. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Algas determinadas: (A) <i>Botryococcus</i> , (B) <i>Pseudoschizaea rubina</i> , (C) <i>Spirogyra</i> . Dinoflagelados determinados: (D-E) <i>Spiniferites</i> , (F) <i>Operculodinium</i> . Acritarcos determinados: (G) <i>Mirchrystridium</i> sp., (H-I) <i>Acritarco</i> sp. 1, (J) <i>Acritarco</i> sp. 2. (K-L), Palinoforaminíferos.....	39
Figura 14. Diagrama de porcentagem dos grupos de palinomorfos de acordo com suas afinidades ecológicas (hábito ou habitat) do poço PCSC-3, bem como a identificação das fases e a análise de agrupamento. O símbolo (+) representa uma ocorrência dos palinomorfos.....	40
Figura 15. Diagrama de porcentagem dos palinomorfos do poço PCSC-3. Ocorrência dos grãos de pólen ao longo do perfil. O símbolo (+) representa apenas uma ocorrência dos palinomorfos.....	41
Figura 16. Diagrama de porcentagem dos palinomorfos do poço PCSC-3. O símbolo (+) representa apenas uma ocorrência dos palinomorfos.....	42

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	<i>i</i>
RESUMO	<i>ii</i>
ABSTRACT	<i>iii</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
SUMÁRIO	<i>v</i>
SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO	<i>vi</i>
CAPÍTULO I. ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	1
I. 1. Introdução	1
I. 2. Síntese do conhecimento	3
I. 2.1. Palinologia: Conceitos e generalidades.....	3
I. 2.2. Evolução paleoambiental na Planície Costeira de Santa Catarina no Holoceno	7
I. 3. Localização e aspectos fisiográficos da área de estudo	17
I. 3.1. O litoral de Santa Catarina.....	17
I. 3.2. Geologia e geomorfologia.....	19
I. 3.3. Caracterização climatológica	20
I. 3.4. Contexto vegetacional	21
I. 4. Objetivos	22
I. 4.1. Objetivo geral	22
I. 4.2. Objetivos específicos.....	22
I. 5. Materiais e métodos	23
I. 5.1. Coleta do testemunho de sondagem.....	23
I. 5.2. Datação radiocarbônica (¹⁴ C).....	23
I. 5.3. Análises granulométricas	23
I. 5.4. Recuperação palinológica em sedimentos quaternários.....	24
I. 5.5. Montagem de lâminas palinológicas	24
I. 5.6. Fotomicrografias.....	25
I. 5.7. Análises qualitativas e quantitativas.....	25
I. 5.8. Apresentação dos resultados.....	25
CAPÍTULO II. RESULTADOS	27
II. 1. Granulometria e datações radiocarbônicas	27
II. 2. Registro palinológico	29
CAPÍTULO III. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
III. 1. Conclusões	43
III. 2. Comentários adicionais	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	53

SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está estruturada na forma de artigo publicado em periódico, segundo as normas de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

CAPÍTULO I. ASPECTOS INTRODUTÓRIOS: Consiste em uma apresentação sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e o estado da arte referente ao tema da pesquisa. Nesse capítulo são apresentados também a caracterização da área de estudo e os materiais e métodos desenvolvidos.

CAPÍTULO II. RESULTADOS: Neste capítulo estão apresentados os dados palinológicos, granulométricos e as datações absolutas, bem como os diagramas palinológicos confeccionados.

CAPÍTULO III. CONSIDERAÇÕES FINAIS: Constitui as conclusões sobre o trabalho desenvolvido e comentários adicionais, abordando perspectivas de trabalhos futuros.

Ao final constam as referências bibliográficas e os anexos referentes ao artigo submetido.

CAPÍTULO I. ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

I. 1. Introdução

No início do século XX, os estudos palinológicos estavam restritos apenas às análises de grãos de pólen e esporos. Posteriormente, este campo da ciência tornou-se mais amplo, englobando, além dos grãos de pólen e esporos, o estudo das estruturas de outros organismos que são recuperadas em sedimentos ou rochas sedimentares, denominados palinomorfos. Os palinomorfos possuem uma grande variedade de hábitos e habitats, estando distribuídos em uma ampla gama de ambientes. Assim, a ocorrência desses restos orgânicos pode fornecer informações sobre as condições ecológicas e climáticas que dominavam em determinado ambiente no passado (Tyson, 1995; Traverse, 2007).

Trabalhos palinológicos do Quaternário realizados no Brasil são voltados principalmente para o estudo da história paleovegetacional e paleoclimática e, por sua vez, dão ênfase ao registro polínico recuperado de depósitos sedimentares. No entanto, em determinados ambientes, o registro de outros elementos (cistos de algas, cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos, acritarcos) também é de alta relevância para o entendimento das mudanças ocorridas no passado, principalmente para elucidar questões paleoambientais. Por exemplo, nas planícies costeiras o registro de certos palinomorfos marinhos e a análise de suas frequências e abundâncias relativas em comparação com palinomorfos continentais são comumente usados como *proxys* para a delimitação de eventos transgressivos e regressivos do nível do mar, principalmente quando integrados a outras ferramentas, como análises sedimentológicas e calibrações geocronológicas (e.g., de Vernal & Giroux, 1991; Vilanova *et al.*, 2006; Borremei & Quattrocchio, 2007; Quattrocchio *et al.*, 2008, de Vernal, 2009; Mudie *et al.*, 2011; Richards *et al.*, 2014;; Mourelle *et al.*, 2015).

As áreas costeiras foram predominantemente modeladas ao longo do Quaternário pelas variações paleoclimáticas e pelas oscilações do nível relativo do mar. Os depósitos sedimentares formados durante este período compreendem registros importantes da evolução da planície costeira brasileira. Dessa forma, estudos palinológicos realizados a partir desses depósitos fornecem dados importantes para análises locais e regionais da história geológica, climática, vegetacional e ambiental.

Para a planície costeira do sul do Brasil, trabalhos de palinologia do Quaternário são mais abundantes no estado do Rio Grande do Sul (ver síntese em Bauermann *et al.*, 2009), em comparação com os poucos trabalhos realizados para a Planície Costeira de Santa Catarina (Slompo, 1997; Behling & Negrelle, 2001; Amaral *et al.*, 2012; Cancelli, 2012; Val, 2015). O entendimento da história ambiental das áreas costeiras é de suma importância para a compreensão da dinâmica geológica, sedimentológica e vegetacional atuais destas áreas. A costa brasileira, desde o início de sua ocupação territorial, foi a área que abrigou o maior número populacional. Nos últimos anos, a Planície Costeira de Santa Catarina tem demonstrado uma elevada ocupação territorial com elevado crescimento, resultando em impactos negativos à paisagem (Strohaecker, 2008).

Este trabalho apresenta os resultados das análises palinológicas realizadas a partir de um testemunho de 450 cm (poço PCSC-3), coletado em Garopaba, Planície Costeira de Santa Catarina. O modelo paleoambiental proposto é referente aos últimos 5390 anos AP.

I. 2. Síntese do conhecimento

I. 2.1. Palinologia: Conceitos e generalidades

A palinologia é um ramo da Paleontologia que se dedica ao estudo dos microfósseis de origem orgânica de tamanho muito reduzido. O termo “palinologia” foi proposto por Hyde & Williams (1945) para designar o estudo dos grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas e dos esporos das briófitas e pteridófitas. Posteriormente, o termo também incluiu outros organismos e passou a se referir ao estudo de diferentes microfósseis de parede orgânica, os palinomorfos, que são recuperados a partir de técnicas particulares (Salgado-Laboriau, 2007).

Os palinomorfos compreendem esporos de briófitas e pteridófitas, grãos de pólen de angiospermas e gimnospermas, esporos e corpos frutíferos de fungos, cistos de dinoflagelados, escolecodontes, palinoforaminíferos, quitinozoários, cistos de determinados tipos de algas e acritarcos. Todos possuem um elevado potencial de fossilização, pois são constituídos por um envoltório externo muito resistente composto por esporopolenina, quitina ou pseudoquitina (Traverse, 2007). Somado ao bom potencial de preservação, os palinomorfos refletem uma grande variedade de hábitos e habitats, o que os torna muito eficientes nas investigações paleoambientais, conforme ilustrado na figura 1. Há palinomorfos de ambientes terrestres (grãos de pólen, esporos e esporos de fungos) e outros de ambientes aquáticos (continentais, transicionais e/ou marinhos: acritarcos, dinoflagelados, quitinozoários, algas e palinoforaminíferos). Serão abordados a seguir os grupos de maior importância para as interpretações paleoambientais do Quaternário.

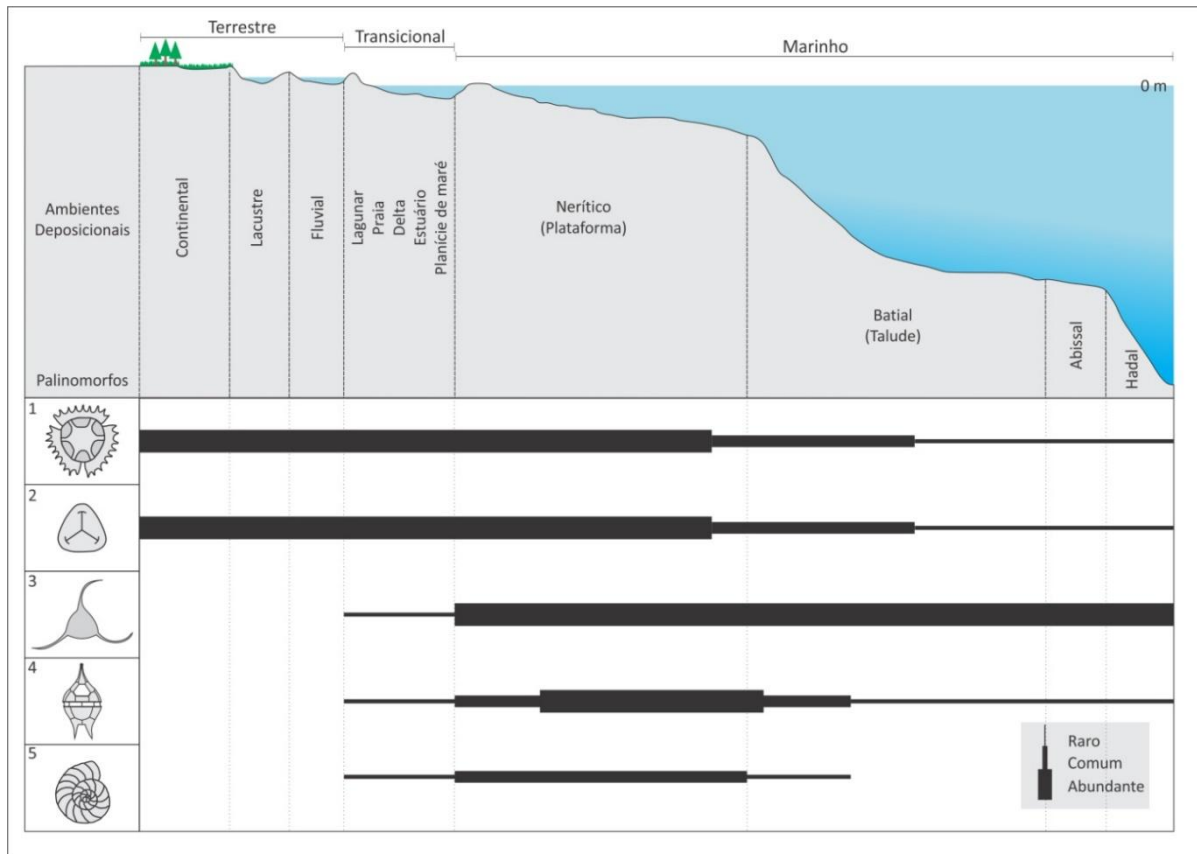


Figura 1. Distribuição ambiental dos palinóforos. 1- Grão de pólen; 2- Esporo; 3- Acritarco; 4- Dinoflagelado; 5- Palinoforaminífero (modificado de Seyve, 1990; apud, Antunes & Melo, 2001).

Palinóforos terrestres

Os palinóforos de ambiente terrestre são os esporos de briófitas e pteridófitas, os grãos de pólen de angiospermas e gimnospermas e os esporos e corpos frutíferos de fungos.

As plantas produzem grãos de pólen e esporos com a finalidade de reprodução. O grão de pólen é o gametófito masculino das angiospermas e gimnospermas gerado nas anteras das flores. O espora possui vida livre, é produzido pelas plantas criptógamas (musgos e samambaias) e desenvolve-se assexuadamente no ambiente (Salgado-Laboriau, 2007).

A parte externa dos grãos de pólen e esporos, que são constituídos de esporopolenina, denomina-se exina, que apresenta uma grande variedade de ornamentações, estruturas e aberturas. A diversidade dos grãos de pólen é o reflexo das adaptações das plantas produtoras em relação ao meio, as quais possuem diferentes maneiras de dispersar seus gametófitos: pelo vento (anemofilia), por animais (zoofilia) e pela água (hidrofilia). Quando não há sucesso na reprodução,

tanto os grãos de pólen quanto os esporos são fossilizados e se tornam uma ferramenta eficiente para os estudos geocientíficos.

Os fungos são representados no registro palinológico por hifas ou esporos. Existem diferentes tipos de esporos fúngicos, alguns são sexualmente produzidos e outros assexuadamente, alguns são unicelulares e outros são multicelulares (Treverse, 2007). Na interpretação paleopalinológica os fungos são utilizados como indicadores de condições de umidade e de locais enriquecidos de matéria orgânica. Existem, também, alguns fungos de ambientes marinhos. Em ambientes estuarinos, em bocas de rio e em sedimentos de áreas de ressurgência marinha a sua abundância foi relacionada a um grande aporte de material orgânico (Elsik, 1996).

Palinomorfos aquáticos

Existem dois tipos de ambientes aquáticos distintos, o de água doce e o marinho, ainda ocorrem os ambientes transicionais como um corpo lagunar, deltaico e estuarino. Dessa forma, os palinomorfos se distribuem nesses diferentes ambientes, alguns com ocorrência restrita a apenas um deles e outros com uma maior abrangência.

Algas clorofíceas

As algas da Divisão Chlorophyta abrangem táxons de três classes distintas: *Chlorophyceae*, *Zygnemaphyceae* e *Prasinophyceae* (Colbath, 1996). As algas da ordem Chlorococcales (classe *Chlorophyceae*) são algas verdes, constituem um grupo morfológicamente muito variado e com registro a partir do Pré-Cambriano. Existem formas que são apenas conhecidas dentro do registro fóssil, como o gênero *Quadrisporites* Hennely 1959 ex Potonié & Lele 1961, e outras que tem ocorrência até os dias atuais, como o gênero *Botryococcus* Kutzing 1849 (Félix, 2012).

Botryococcus é uma alga colonial que ocorre desde o Ordoviciano ao recente. É amplamente dispersa em regiões temperadas e tropicais. Geralmente vive em pântanos de água doce, poças temporárias, lagoas e lagos. No entanto abundâncias consideráveis são conhecidas em águas salobras. Na interpretação ambiental sua associação com vestígios de organismos marinhos indicam influência de água doce, e não como interpretação de origem marinha (Batten & Grenfell, 1996).

As algas da classe *Zygnemaphyceae* vivem em ambientes de água doce, como pântanos, próximo de margens de lagos, em águas correntes ou solos úmidos. Essa característica as torna muito importantes para as interpretações paleoambientais. É o único grupo que não possui flagelo em nenhum estágio do

ciclo de vida. Os três gêneros mais comuns, diferenciados em três morfologias distintas, são: estreladas (*Zygnema*), plana (*Mougeotia*) e espirais (*Spirogyra*) (Van Gell & Grenfell, 1996).

As algas da classe *Prasinophyceae* são unicelulares e possuem flagelos (Felix, 2012). É a classe dentro da Divisão Chlorophyta que tem como maioria de seus representantes ocorrente em ambientes marinhos. No entanto, também se tem registros em ambientes de águas doces ou salobras (Tappan, 1980). Assim como as outras duas classes de algas, as algas *Prasinophyceae* são importantes para as interpretações paleoambientais. Contudo, na recuperação palinológica do presente estudo esse grupo de alga não possui nenhum representante.

Dinoflagelados

Os dinoflagelados são organismos unicelulares eucariontes do Reino Protista. Durante o ciclo de vida possui dois estágios distintos: o móvel (plantônico), em que os organismos vivos produzem tecas (estrutura envoltória da célula, celulósica e não fossilizável), e o imóvel (bentônico). Algumas espécies, durante o período de vida imóvel, são capazes de produzir um cisto possível de ser fossilizado (Arai & Lana, 2011).

Os dinocistos (dinoflagelados fósseis) são encontrados no registro geológico desde o Triássico até o presente. O que caracteriza morfologicamente um dinoflagelado, além da sua assimetria, é a presença de um cingulo (“cintura” transversal), sulco (depressão longitudinal da face ventral) e uma abertura (arqueopilo) (Arai & Lana, 2011).

Os dinoflagelados são comuns tanto em ambientes marinhos quanto em águas doces, porém no registro sedimentar apenas dinoflagelados marinhos são fossilizáveis. Junto com as diatomáceas constituem grande parte do fitoplâncton marinho e são, portanto, importante como produtores primários. Em pesquisas quaternárias, os cistos dinoflagelados são muito úteis para a reconstrução paleoambiental e das condições paleoceanológicas, uma vez que fatores ambientais como temperatura, salinidade, luminosidade e disponibilidade de nutrientes são essenciais e condicionantes para o seu ciclo vital (Marret & Zonneveld, 2003).

Acritarcos

O termo “Acritarcha” foi criado por William Evitt em 1963 para reunir palinóforos distintos com afinidades biológicas desconhecidas. Sua classificação sistemática se baseia apenas nos caracteres morfológicos, sendo assim um grupo

artificial (Félix & Souza, 2012). São organismos eucariontes, unicelulares, de pequenas dimensões e registrados desde o Pré-Cambriano até o recente (Cruz, 2011). De acordo com Félix & Souza (2012), devido a que a maioria dos acritarcos ter sido encontrada em depósitos marinhos ou em águas salobras, o grupo possui um elevado potencial para a análise paleoambiental, uma vez que sua combinação com o registro de palinórfos de origem terrestre permite inferir a proximidade da linha da costa.

Palinoforaminíferos

Os palinoforaminíferos são testas orgânicas dos foraminíferos que resistem ao processamento palinológico. São encontrados no registro geológico desde o Permiano ao Recente. Déak (1964) propôs o termo formal para as testas de foraminíferos como supragenérico “Scytianascia” (Traverse, 2007).

Um dos problemas do estudo dos palinoforaminíferos é a sua taxonomia. Ao longo do tempo, diversas tentativas de classificação foram propostas partindo de diferentes critérios de classificação, como morfologia, tamanho e número de câmaras. No entanto, o estudo de palinoforaminíferos é muito útil para indicar o ambiente de deposição, já que são elementos de origem marinha (Stancliffe, 1996).

I. 2.2. Evolução paleoambiental na Planície Costeira de Santa Catarina no Holoceno

A evolução geológica, paleoambiental e paleogeográfica da planície costeira do sul do Brasil foi grande parte condicionada pelas mudanças paleoclimáticas identificadas no Quaternário e pelas oscilações do nível do mar delas decorrentes. Essas variações do nível do mar modelaram o litoral durante muitos eventos transgressivos e regressivos, os quais deixaram registro impressos na paisagem (Villwock, 1994; Corrêa & Villwock, 1996; Horn Filho, 2003). Estudos de natureza multidisciplinar destes registros (sedimentologia, paleontologia, estratigrafia, datações absolutas) tornam possível a reconstrução da história ambiental dessas áreas.

Muitos trabalhos de cunho paleoambiental têm sido realizados na Planície Costeira de Santa Catarina, principalmente com o objetivo de entender as variações do nível do mar a partir de depósitos marinhos antigos, evidências arqueológicas (sambaquis) e indicadores biológicos (vermitídeos, ostras e incrustações de corais). No entanto, o cenário não é o mesmo para trabalhos de palinologia, ainda escassos para o estado.

Estudos de níveis marinhos quaternários

Tendências gerais de flutuações do nível relativo do mar durante o Holoceno no litoral brasileiro tem sido alvo de muitos estudos. Estes trabalhos mostram que no Holoceno um alto nível do mar ocorreu ao longo de toda a costa brasileira, seguido por uma queda até a atualidade. No entanto, vários aspectos da história dessas variações do nível relativo do mar ainda estão em discussão. Os pontos que são debatidos são referentes aos últimos 7.000 anos e apontam significativas divergências, entre as quais estão: diferentes elevações de mar alto constatadas, presença ou ausência de oscilações do nível do mar de altas frequências e oscilações a baixo do nível do mar atual.

Suguio *et al.* (1985) elaboraram uma curva de oscilação do nível relativo do mar nos últimos 7.000 anos para região de Itajaí-Laguna (SC) a partir de sambaquis. De acordo com os autores, o mar encontrava-se em ascensão e situava-se a cerca de 1 m acima do atual em torno de 5.600 anos AP. Próximo de 5.100 anos AP ocorreu o máximo transgressivo no qual o mar estaria situado de 3 a 4 m acima do atual. A partir daí houve uma queda em sua curva, atingindo cerca de 2,6 m próximo de 3.620 anos AP. A queda continuou atingindo um abaixamento mais acentuado em 3.000 anos AP. Por fim, próximo aos 2.500 ± 170 anos AP houve uma nova elevação no nível do mar que atingiu $2 \pm 0,5$ m. Martin *et al.* (1986) acrescentam nesta curva dois períodos marcados pelo nível do mar mais baixo que o atual, identificados entre 4.100 a 3.800 anos AP e 2.900 a 2.700 anos AP.

A curva de Ângulo *et al.* (1999) para o estado de Santa Catarina, realizada a partir de datações radiocarbônicas de vermitídeos, não contradizem a existência de um máximo transgressivo a cerca de 5.100 anos AP. No entanto, os autores discordam da existência de oscilações do nível do mar negativas (Suguio *et al.*, 1985), mas indicam níveis do mar baixos de $\pm 0,7$ m e ± 2 m acima do atual.

O esclarecimento das dinâmicas do nível do mar durante o Quaternário é necessário para o correto entendimento dos processos de formação do litoral sul do Brasil. Essa compreensão é essencial, não só para identificar os modelos evolutivos dos processos sedimentares costeiros, mas também para conhecer a dinâmica das paisagens (interações e desenvolvimento da vegetação, de corpos hídricos, dos fatores edáficos e geomorfológicos) ocorridas ao longo desta evolução ambiental.

Estudos palinológicos quaternários

No Brasil, estudos paleoambientais do Quaternário Tardio a partir de registros palinológicos estiveram restritos, até o início dos anos 1980, a alguns trabalhos de idade holocênica na Amazônia. Posteriormente, trabalhos palinológicos quaternários também foram realizados em outras formações vegetacionais, como no cerrado, manguezais amazônicos, pantanal e Mata Atlântica (De Oliveira *et al.*, 2005). Apesar do grande avanço nos estudos palinológicos do Quaternário do Brasil e, conseqüentemente, a criação de muitos dados novos na literatura, muitas áreas ainda possuem sua história ecológica conhecida.

Trabalhos palinológicos no litoral brasileiro são ainda relativamente raros. Para o litoral sul do Brasil, o estado do Rio Grande do Sul destaca-se por possuir uma quantidade significativa de trabalhos e, conseqüentemente, sua evolução paleoambiental está mais esclarecida. Esses trabalhos palinológicos desenvolvidos na Planície Costeira do Rio Grande do Sul foram sumarizados por Bauermann *et al.* (2009), incluindo estudos desenvolvidos em diversas áreas (e.g., Cordeiro & Lorscheitter, 1994; Lorscheitter, 1983; Lorscheitter & Romero, 1985; Marques-Toigo *et al.*, 2002; Medeanic *et al.*, 2000a, 2000b, 2009, 2010; Medeanic, 2006; Meyer *et al.*, 2005a, 2005b) e mostraram que as mudanças ambientais costeiras foram condicionadas pelas variações do nível do mar ocorridas no Quaternário.

Em contraste com o número relativamente alto de trabalhos desenvolvidos na Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul, trabalhos palinológicos de seções quaternárias na região costeira catarinense são ainda escassos, restringidos a apenas cinco estudos (Slompo, 1997; Behling & Negrelle, 2001; Amaral *et al.*, 2012; Cancelli, 2012; Val, 2015).

Os sítios palinológicos onde foram desenvolvidos os trabalhos na Planície Costeira de Santa Catarina estão distribuídos, conforme a figura 2, em seis localidades: Florianópolis (Slompo, 1997), Volta Velha (Behling & Negrelle, 2001), Jaguaruna (Amaral *et al.*, 2012), Santa Rosa do Sul, São João do Sul (Cancelli, 2012) e Araranguá (Val, 2015).

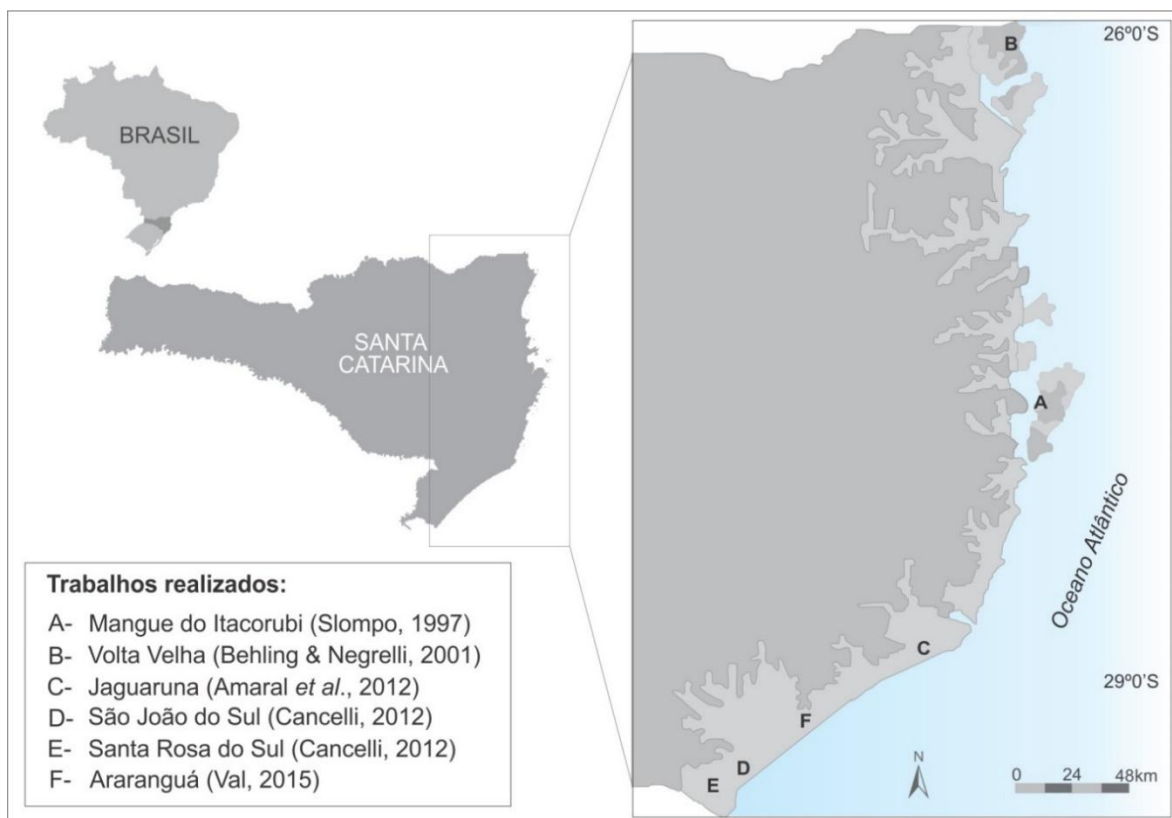


Figura 2. Mapa de localização dos trabalhos de palinologia realizados no litoral de Santa Catarina.

Os trabalhos aqui sintetizados tratam os conjuntos palinológicos identificados ao longo do perfil estratigráfico, de formas distintas. Alguns trabalhos utilizam o termo zona e outros o termo fase. A fim de homogeneizar a nomenclatura, essas etapas das sucessões ambientais identificadas através do registro palinológico serão definidas como fases. De acordo com Salgado-Labouriau (2007), zona de pólen é uma unidade bioestratigráfica e serve para a correlação entre diagramas de localidades e regiões diferentes. Fase representa muito mais uma fase ecológica do que uma zona bioestratigráfica, já que a palavra zona implica muito mais a ideia de área e não, tempo.

Sloppo (1997) com o objetivo de identificar a dinâmica do manguezal Itacorubi, ao norte da Ilha de Santa Catarina, utilizou amostras de sedimentos oriundas de três perfis verticais localizadas ao longo do rio Sertão (à jusante, intermédio e à montante). A partir da assembleia de fósseis foram identificados 5 níveis sedimentares. Na base dos testemunhos as concentrações absolutas de pólen de mangue, associadas a argilas finas, indicam que os mangues se desenvolviam em abundância. No nível imediatamente superior, observa-se um recuo do mangue e um aumento de táxons de pteridófitas. Os sedimentos arenosos

e a ausência de organismos marinhos poderiam corresponder a um ambiente mais interiorizado em relação ao nível do mar. Na etapa seguinte, a presença de acritarcos sugere uma oscilação positiva do nível do mar. Uma nova fase deposicional caracterizada por uma quantidade significativa de esporos de pteridófitas, de Gramíneas e *Compositae* e pelo recuo das angiospermas poderia estar associada a um período climático mais seco, de oscilação negativa do nível do mar. A última fase, a mais recente, indica um ambiente muito similar ao verificado na base da coluna. Estão presentes pólenes de *Avicennia*, *Rizophora* e *Combretaceae*. A presença de acritarcos revela influência marinha. Apesar de não ter sido possível obter datações absolutas, a partir dos resultados palinológicos, a autora sugere que as observações feitas poderiam estar relacionadas a pequenas oscilações do nível do mar ocorridas nos últimos 2.500 anos AP.

Behling & Negrelle (2001) identificaram seis fases ecológicas no estudo realizado na Reserva Biológica de Volta Velha, que refletem três ambientes distintos, identificados através das associações palinológicas predominantes: campos, mosaico de florestas com campos e corpos d'água com incursão marinha e Mata Atlântica.

As fases VV-I, VV-II e VV-III correspondem o predomínio de vegetação campestre, entre 37.640 e 12.220 anos AP e são caracterizadas pela dominância de ervas e baixa representatividade de arbustos, árvores e pteridófitas. A fase VV-I abrange o período antes do último máximo glacial (cerca de 37.500 a 27.500 anos AP) e a fase VV-II é relativa ao período do último máximo glacial (cerca de 27.500 a 14.500 anos AP). As fases VV-I e VV-II indicam uma vegetação dominada por *Poaceae*, *Asteraceae* e *Eriocaulon/Paepalanthus*, *Eryngium*, *Xyris* e *Moritzia dasiantha* também são relativamente comuns. A presença de *M. dasiantha* (hoje recorrente em terras altas) sugere que os campos ocupavam terras baixas. Os registros de pólen indicam que árvores tropicais típicas da atual Mata Atlântica (como *Alchornea*, *Moraceae* e *Arecaceae*) eram raras no período antes do último máximo glacial e ausentes durante o último máximo glacial. A frequência relativa de *Myrtaceae*, *Melastomataceae* e raras árvores, como *Podocarpus*, *Symplocos* e *Ilex*, sugere a existência de florestas subtropicais adaptadas a climas frios em baixas altitudes durante as fases VV-I e VV-II. A fase VV-III é referente ao último registro glacial (cerca de 14.328 a 12.220 anos AP). O registro palinológico indica a ocorrência de uma sucessão vegetacional. Essa mudança seria um breve estágio antes da expansão e desenvolvimento da Mata Atlântica, que é percebida por meio

do aumento expressivo dos elementos arbustivos, principalmente tipo *Symplocos tenuifolia*, na porção basal desta fase e de *Ilex* na porção superior. A fase VV-IV corresponde a um ambiente com mosaicos de florestas/campos e com os corpos lagunares sofrendo incursão marinha. Essa fase datada entre 12.220 e 6.700 anos AP corresponde com o momento no qual o mar ultrapassa o atual nível relativo do mar. Pteridófitas começam a se tornar frequentes, sugerindo um clima mais quente que o anterior. As elevadas porcentagens relativas de grãos de pólen de ervas (Poaceae, Cyperaceae e Asteraceae) indicam que não houve uma cobertura florestal homogênea nas áreas adjacentes daquele sítio deposicional e podem ser resultados de uma possível ingressão marinha, o que é reforçado pela presença de palinoforaminíferos.

As fases VV-V e VV-VI são correspondentes ao ambiente de Mata Atlântica. A fase VV-V abrange o Holoceno médio (de 6.720 até 4.330 anos AP) e é caracterizada pelo início da maior representatividade dos táxons da Mata Atlântica (*Myrsine*, *Arecaceae*, *Weinmannia*, *Hedyosmum*, *Sloanea* e *Clusia*). Condições climáticas mais quentes e o início da regressão marinha podem ter sido fatores para essa alteração na composição vegetacional. A fase VV-VI (de 4.330 anos AP ao recente) é referente ao Holoceno tardio. Nesta fase, o aumento nos pólenes de ervas, principalmente no início da fase, pode sugerir abertura da floresta pela atividade humana. Os percentuais de *Arecaceae* e *Weinmannia* aumentam, enquanto *Myrsine* diminui. O aumento de *Arecaceae* pode estar relacionado a condições climáticas mais úmidas.

Amaral *et al.* (2012) analisaram três testemunhos sedimentares em diferentes localidades na região de Jaguaruna (Lago Figuerinha, Vale Riachinho e Rio Sangão). Os autores utilizaram diferentes *proxys* (sedimentologia, geoquímica, palinologia e diatomáceas) para a identificação de fases ambientais quaternárias.

O poço analisado em uma turfeira próximo ao Lago Figuerinha foi o único que apresentou sedimentos pleistocênicos, no entanto as análises feitas a partir do conteúdo microfossilífero (pólenes, esporos e diatomáceas) foram possíveis apenas nas porções mais próximas do topo, a partir de aproximadamente 4.000 anos AP. Foram identificadas cinco fases ecológicas, as quais foram agrupadas em quatro fases ambientais: fase I (terraço marinho), fase II e fase III (várzea), fase IV (lago) e fase V (turfeira). A fase I e a fase II correspondem aos sedimentos pleistocênicos, com idades mais antigas que 25.000 anos AP. A fase I representa depósitos do sistema deposicional planície costeira regressiva pleistocênico, desenvolvido após a

máxima inundação marinha por volta de 120.000 anos AP. Na fase II foi registrado o início dos processos da várzea fluvial, a partir de material enriquecido em carbono e aumento de sedimentos finos. A fase III não apresenta mudanças significativas no contexto da granulometria dos sedimentos e nem dos fatores geoquímicos em rela o   fase anterior. Contudo, o aumento do aporte sedimentar pode ser reflexo do máximo transgressivo holoc nico (ca. 5.100 anos AP), fato que   corroborado por sua idade, próxima de 6.000 e 5.000 anos AP. No entanto, o testemunho poderia representar por oes marginais da laguna, onde a inunda o não chegou a induzir mudança expressiva nas condi oes da sedimenta o local. A fase IV marca o início do registro palinológico, o que indica o início da coloniza o vegetal no entorno do lago, com indícios de vegeta o aberta, dominada por Poaceae. A decomposi o do material vegetal pode ter iniciado o processo de forma o da turfeira no local, indicado pelo aumento progressivo de Cyperaceae e de táxons aquáticos t picos de vegeta o de turfeira (Eriocaulaceae, *Juncus* e *Drosera*). A fase V   identificada como um ambiente característico de turfeira com idade próxima de 500 anos AP. O aumento progressivo de táxons arbóreos e a maior diversidade de táxons herbáceos sugerem uma diversifica o na comunidade vegetal nos períodos mais recentes. No entanto, o registro   compatível com o que se observa hoje, uma vegeta o aberta e dominada por plantas herbáceas.

No estudo realizado no Vale Riachinho foram definidas três principais fases ecológicas e ambientais: lagunar, borda lagunar e mata de restinga, relacionadas respectivamente com f cies deposicionais de submar , intermaré e supramaré. Na fase A, correspondente ao ambiente lagunar, a idade   de 5.500 a 2.740/2.370 anos AP. Nesta fase, ocorre o predomínio de táxons marinhos de diatomáceas, que podem estar relacionados com o máximo transgressivo holoc nico. A transi o da fase A para a fase B (2.740 a 2.370 anos AP) foi associada ao declínio progressivo do nível relativo do mar e a conseqüente queda do nível de água dentro da laguna. Dessa forma, a fase B corresponde a um ambiente de borda lagunar, com registros de p lens de plantas aquáticas, como *Juncus*. A elevada frequência de táxons herbáceos (Poaceae, Cyperaceae e Amaranthaceae/Chenopodiaceae) relaciona-se a uma vegeta o aberta. O aumento na frequência de plantas arbóreas ( rvores, arbustos, epífitas e lianas), representadas por Moraceae, *Ilex*, *Byrsonima*, *Cecropia*, Myrtaceae e Apocynaceae, reflete o início da expansão da mata de restinga na área da coleta do testemunho. A fase C correspondente ao período entre 1.730 /1.550 anos AP ao presente. O aumento da frequência relativa de esporos no topo do

testemunho pode ser relacionado com a ação antrópica, quando pteridófitas poderiam estar colonizando áreas perturbadas.

O testemunho recuperado na localidade do Rio Sangão permitiu a identificação de apenas uma fase ambiental: a planície fluvial, com a idade mais basal datada em 2.730 ± 40 anos AP. A recuperação de palinomorfos só foi obtida nas porções mais recentes que 2.245 anos AP. O registro palinológico indica uma vegetação de planície de inundação fluvial, a qual é composta por táxons de mata de restinga arbórea e/ou arbustiva. A partir de 1.780 anos AP, a queda da concentração polínica e o aumento de proporções de espécies xerófitas (Mimosaceae, Apocynaceae, *Alchornea* e Moraceae) foram associadas a um período de menor precipitação local ou a um problema de conservação dos palinomorfos resultante das alterações granulométricas nos sedimentos (quedas dos teores de argilas). A ação antrópica na região foi identificada nas amostras do topo do perfil sedimentar, onde foi possível reconhecer um declínio nos esporomorfos das espécies nativas, enquanto espécies exóticas, como *Pinus*, aumentaram sua representatividade.

Cancelli (2012) analisou dois testemunhos sedimentares em diferentes localidades do sul de Santa Catarina: município de Santa Rosa do Sul e município de São João do Sul. Em ambos testemunhos foram identificadas três fases ambientais a partir dos registros palinológicos: lagunar, pântano e Mata Atlântica. A fase I é referente a um ambiente lagunar nas duas localidades e corresponde às porções mais basais dos perfis sedimentares. As datações radiocarbônicas dessa fase indicam que os sedimentos são de: entre 7.900 a 4.200 anos AP em Santa Rosa do Sul e entre 7.796 a 3.800 anos AP em São João do Sul. Táxons herbáceos ocorrem abundantemente, principalmente Poaceae, *Amaranthus*-Chenopodiaceae, Caryophyllaceae e Cyperaceae. No entanto, táxons arbóreos são raros, com o registro maior de *Alchornea*, Arecaceae, Fabaceae, *Ilex*, *Myrsine* e Myrtaceae. Briófitas e pteridófitas também ocorrem em baixa frequência nesta fase. Algas dulceaquícolas como *Botryococcus* sp., *Pseudoschizea rubina*, *Zygnema* sp., *Spirogyra* sp. e tipo *Mougeotia laetevirens* também estão presentes no espectro palinológico, principalmente na localidade de São João do Sul. A presença de palinoforaminíferos e de acritarcos (*Micrhystridium* sp.) indica influência marinha. O aumento progressivo da frequência de palinoforaminíferos coincide com o último máximo do nível relativo do mar documentado para o Brasil aproximadamente a 5.100 anos AP. Além do aumento de táxons de origem marinha, esse evento de

transgressão também pôde ser identificado pela diminuição de táxons de Arecaceae, Myrtaceae e *Myrsine*, característicos de vegetação ripária nas dunas, assim como pelo incremento de Poaceae e Cyperaceae, táxons melhor adaptados a condições salinas.

A fase II, pantanosa, é caracterizada nos dois testemunhos por um decréscimo da influência marinha e uma sedimentação progressiva entre 4.200 e 2.500 anos AP. A flora regional que ocupava posições mais elevadas em torno da laguna foi favorecida pelas novas condições edáficas durante esta fase, indicadas pelo aumento da taxa de frequência arbórea. Essa vegetação corresponde a um pântano salobro com ervas e arbustos. A presença de epífitas (Bromeliaceae, Loranthaceae e Cucurbitaceae) em Santa Rosa do Sul poderia ser reflexo de um estágio mais avançado dos processos de sucessão da vegetação. O aumento da frequência de táxons herbáceos (tipo *Vernonia*, tipo *Baccharis* e Poaceae) e táxons arbóreos (*Alchornea*, Arecaceae, *Celtis*, *Drimys brasiliensis*, *Ilex*, *Matayba*, Melastomataceae-Combretaceae, Meliaceae, Myrtaceae, *Myrsine*, *Sebastiania* e *Trema micrantha*) na localidade de Santa Rosa do Sul também sugere regressão da laguna e avanço da vegetação, enquanto a presença de espécies aquáticas (*Ludwigia*) indica dessalinização do solo. A última fase ambiental identificada, fase III, que vai de 2.500 anos AP até o presente, é caracterizada pela consolidação da Mata Atlântica nas duas localidades. Essa fase apresenta um aumento significativo de táxons arbóreos com componentes pioneiros da Floresta Atlântica, em especial as espécies: tipo-*Agarista*, *Alchornea*, Arecaceae, *Cecropia*, *Celtis*, *Drymis brasiliensis*, *Ilex*, Melastomataceae-Combretaceae, Meliaceae, Myrtaceae, *Myrsine*, *Sebastiania*, *Trema micranta* e *Weinmannia*. Os elementos herbáceos diminuem sua representatividade no conjunto polínico, já as epífitas (Bromeliaceae e Cucurbitaceae) aumentam progressivamente. As briófitas e as pteridófitas apresentam significativa diversidade (representadas pelos táxons tipo *Blechnum*, Cyatheaceae, *Lycopodium*, tipo *Microgramma*, tipo *Pecluma pectinata*, *Polypodium*, *Selaginella* e *Sphagnum*). As assembleias de algas indicam condições ambientais úmidas.

Val (2015) identificou três fases ambientais ao longo do testemunho em Araranguá. A fase I (de 7.995 a 6.810 anos AP) é relacionada a um ambiente estuarino/lagunar. Grãos de pólen de ervas predominam, principalmente *Amaranthus*-Chenopodiaceae, Cyperaceae, Poaceae e *Plantago*. Já grãos de táxons arbóreos são raros, entre os recorrentes destaca-se Arecaceae, Myrtaceae,

Trema micrantha e *Sebastiana*. A porcentagem de pteridófitos é baixas, bem como as algas, representadas por *Botryococcus* e *Spirogyra*. Nesta fase ocorre influência marinha, indicada pela presença de cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos. A fase II é subdividida em duas subfases: IIa e IIb. A fase IIa corresponde a um ambiente transicional lagunar/pântano (entre 6.810 a 4.000 anos AP), caracterizado por uma vegetação herbácea, principalmente por Cyperaceae e Poaceae e um aumento de *Ludwigia*. Grãos de pólen de Arecaceae, *Ilex*, Myrtaceae e *Sebastiana* ocorrem em baixa concentração. As pteridófitas continuam pouco abundantes. A influência marinha também é registrada nesta fase com a ocorrência de dinoflagelados e palinoforaminíferos, o que possivelmente coincide com o máximo transgressivo documentado a cerca de 5.100 anos AP. A fase IIb (de 4.000 a 2.798 anos AP) indica um ambiente transicional de pântano costeiro. As taxas de elementos herbáceos continuam constantes como na subfase anterior, no entanto os elementos arbóreos tem um aumento progressivo. O aparecimento de um novo táxon de pteridófitas, Cyatheaceae, pode estar relacionado a um aumento gradual da massa vegetal. Nessa fase os palinoforaminíferos desaparecem e os dinoflagelados diminuem sua representatividade. A fase III (de 2.797 anos AP ao presente) é marcada pela expansão da floresta, quando se observa, além do aumento da frequência, a diversificação de táxons característicos da Mata Atlântica (Arecaceae, *Ilex*, *Daphnopsis racemosa*, Myrtaceae, *Myrsine* e *Sebastiana*). A presença de epífitas da família Curcubitaceae também é um indicador do desenvolvimento dos elementos arbóreos da floresta. As herbáceas, apesar de menos representativas nesta etapa, aumentam sua diversidade. O incremento nas porcentagens de pteridófitas e a presença de algas dulciaquícolas (*Botryococcus* e *Spirogyra*) indicam condições úmidas. No entanto, a ausência de cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos revela ausência de influência marinha.

I.3. Localização e aspectos fisiográficos da área de estudo

I. 3.1. O litoral de Santa Catarina

O estado de Santa Catarina está inserido dentro da região sul do Brasil. A sua costa abrange 7%, dos 442.000 km² do litoral brasileiro, o que corresponde a uma faixa de 538 km de extensão (Horn Filho, 2003). A planície costeira catarinense faz fronteira ao norte com o estado do Paraná e ao sul com o estado do Rio Grande do Sul. Os limites leste e oeste são o Oceano Atlântico e a o embasamento cristalino, respectivamente.

Em relação aos aspectos geomorfológicos, sedimentológicos e à evolução geológica, o litoral brasileiro pode ser diferenciado em 5 setores: Costa Norte, Nordeste, Leste, Sudeste e Sul (Villwock, 1994). Dentro desta diferenciação o litoral catarinense abrange dois compartimentos: a Costa Sudeste, do Cabo Frio (RJ) até o Cabo de Santa Marta (SC), e a Costa Sul, do Cabo de Santa Marta até o Arroio Chuí (RS).

Segundo Villwock (1994), a costa sudeste é marcada pela Serra do Mar, que caracteriza um conjunto de terras altas constituídas pelo embasamento cristalino granito-gnáissico. As suas escarpas chegam até o mar constituindo os promontórios rochosos, muitas vezes associados a elas estão a desembocadura dos principais sistemas fluviais que chegam ao oceano. Também ocorrem pequenas planícies costeiras compostas por sistemas laguna/barreira ou por sistemas de cordões litorâneos regressivos, pleistocênicos e/ou holocênicos, parcialmente retrabalhados pelo vento. As barreiras arenosas, por isolar corpos lagunares, possibilitam o desenvolvimento de manguezais. A costa sul é caracterizada por uma ampla planície costeira com cerca de 700 km de comprimento e até 120 km de largura, onde o sistema múltiplo e complexo de barreiras arenosas aprisionam um gigantesco sistema lagunar (Lagunas dos Patos e Mirim), e uma série de outros corpos d'água isolados ou interligados com o mar por intermédios de canais estreitos e rasos. São identificados sistemas laguna/barreira que constituem uma sucessão de antigos terraços marinhos e lagunares onde falésias, cristas de praia, pontais arenosos suspensos e campos de dunas marcam antigas linhas de costa, pleistocênicas e holocênicas (Willwock, 1994).

Trabalhos de compartimentação geológico-geomorfológico também foram elaborados para o litoral de Santa Catarina. Diehl & Horn Filho (1996) identificaram oito compartimentos para o litoral de Santa Catarina, os quais posteriormente foram

agrupados por Horn Filho (2003) em apenas três: Norte, Central e Sul (Figura 3). O setor Norte engloba os compartimentos Setentrional e Nordeste, o Central agrupa os compartimentos Centro-Norte, Central e Centro-Sul e o setor Sul, os compartimentos Sudeste, Sul e Meridional. O setor Norte e Sul são os mais largos, já o setor central devido às ocorrências de maciços rochosos que afloram próximo da costa, constituindo a porção mais estreita do litoral catarinense. Esse setor, apesar de ser o mais estreito, é a porção mais extensa, com 262 km de comprimento, e é o qual a área de estudo está inserida. O setor sul distingue-se por apresentar depósitos quaternários de ambientes sedimentares marinhos, típicos do sistema deposicional laguna-bareira, muito semelhantes aos encontrados no Rio Grande do Sul. Os depósitos holocênicos estão distribuídos igualmente nos três compartimentos, predominando os sedimentos praias, eólicos e lagunares.

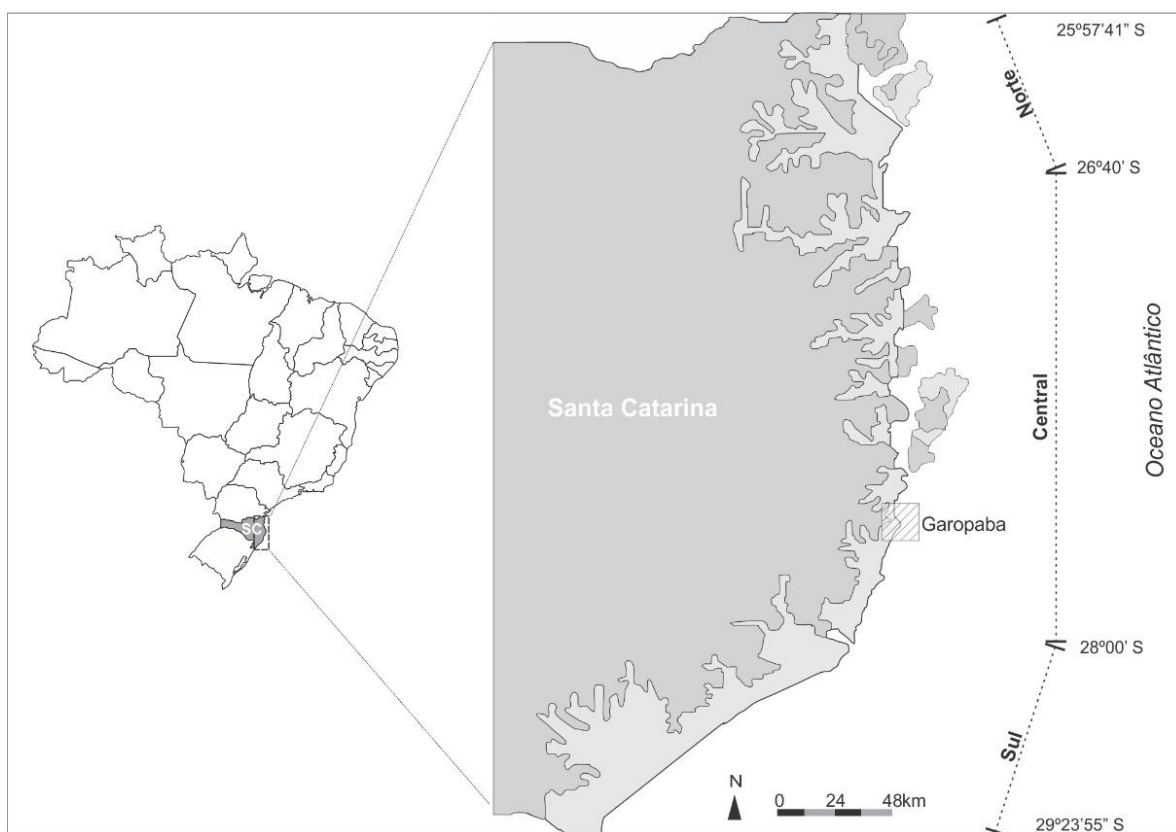


Figura 3. Mapa dos setores da Planície Costeira de Santa Catarina segundo Horn Filho (2003) (modificado de Horn Filho et al., 2006).

I. 3.2. Geologia e geomorfologia

O sítio onde foi desenvolvido o presente estudo localiza-se uma área de mata paludosa localizada no município de Garopaba ($28^{\circ}02'11,95''$ S; $48^{\circ}37'41,73''$ W), na Planície Costeira de Santa Catarina (Figura 4). A área de coleta fica aproximadamente a 2 km do Oceano Atlântico e sua elevação é cerca de 2 m acima do nível relativo do mar. Conforme a diferenciação proposta por Horn Filho (2003), Garopaba encontra-se dentro da porção central do litoral catarinense, que compreende as áreas litorâneas desde Itapema ($27^{\circ}05'00''$ S) até Praia Grande ($28^{\circ}27'00''$ S).

A Planície Costeira de Santa Catarina é caracterizada por duas grandes unidades geológicas: o Embasamento, a oeste, e as bacias sedimentares marginais de Pelotas e Santos. A Plataforma de Florianópolis é o limite geográfico entre essas duas bacias: a Bacia de Pelotas estende-se em direção sul, enquanto a Bacia de Santos a norte. O município de Garopaba está inserido dentro da Bacia de Pelotas, porém muito próximo ao limite com a Bacia de Santos.

O Embasamento é composto por rochas pré-cambrianas do Escudo Catarinense, rochas sedimentares paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná, basaltos e diabásicos jurássicos do Planalto da Serra Geral (Diehl & Horn, 1996). Os depósitos sedimentares da planície costeira são oriundos de dois sistemas deposicionais: o continental e o costeiro. O sistema continental corresponde a depósitos coluviais, leques aluviais e fluviais. São também denominados por Sistema Depositional de Encosta, uma vez que esses depósitos são advindos de porções mais elevadas. O sistema costeiro, ou Sistema Depositional Laguna-Barreira, compreende depósitos pleistocênicos e holocênicos associados às variações relativas do nível do mar ocorridas durante o Quaternário (Horn Filho, 2003).

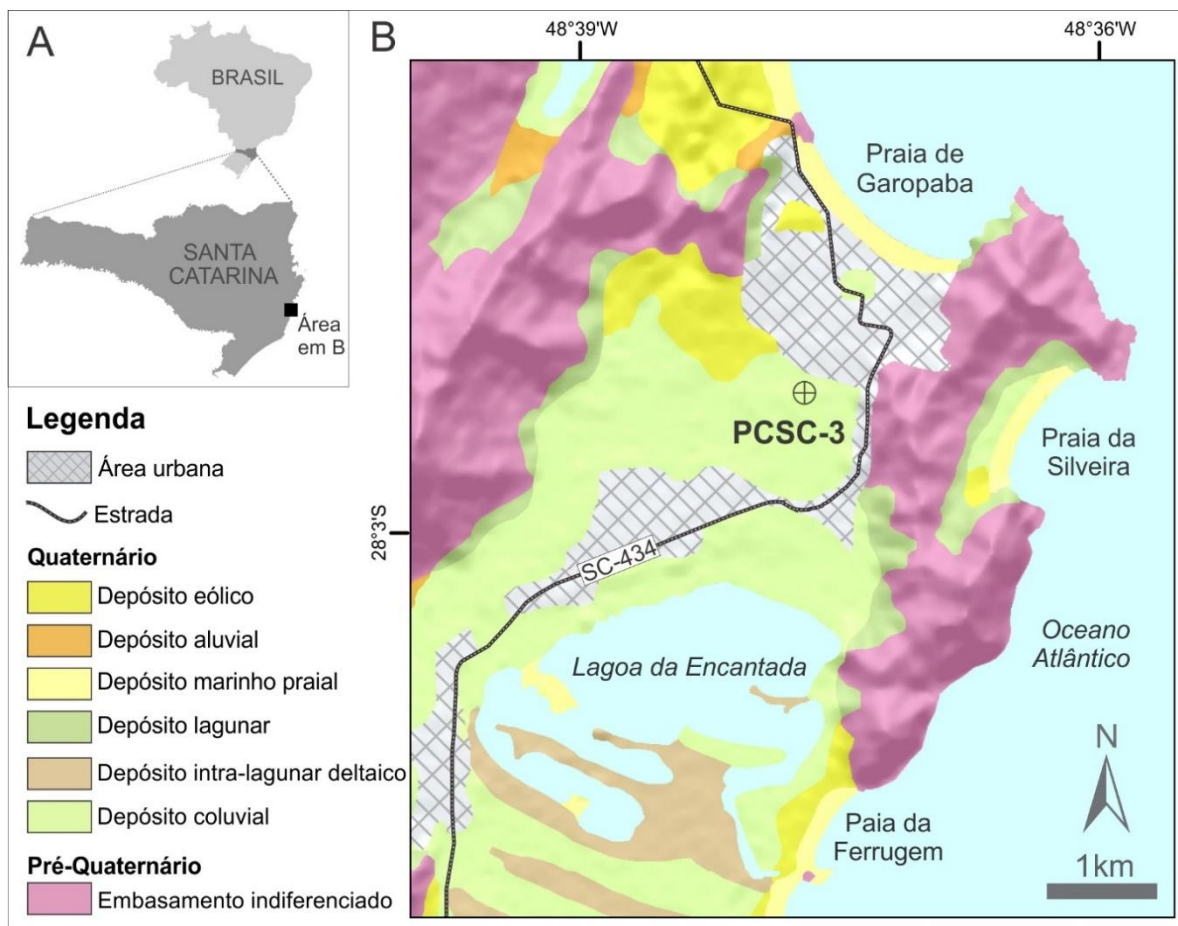


Figura 4. Mapa de localização da área de estudo (modificado de Horn Filho *et al.*, 2012).

I. 3.3. Caracterização climatológica

A Região Sul do Brasil apresenta um clima muito homogêneo no que se refere ao seu regime pluviométrico e ao seu caráter estacional. A sua posição nas latitudes médias e a presença de uma grande superfície líquida na face leste influenciam as condições climáticas. Seu posicionamento coloca a região como alvo tanto por sistemas atmosféricos de baixas latitudes, quanto por sistemas originários em latitudes médias e elevadas, já o oceano Atlântico atua no clima da região com o efeito da maritimidade.

Dessa forma, não diferente dos demais estados da região sul, o estado de Santa Catarina possui como principais condicionantes da dinâmica meteorológica dois sistemas de alta pressão: o Anticiclone Migratório Polar e o Anticiclone Semifixo do Atlântico. O Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul é gerador da Massa Tropical Marítima e possui, geralmente, temperaturas elevadas e amenas e forte umidade específica (Nimer, 1990). Já o Anticiclone Migratório Polar, origina a Massa Polar Atlântica que é caracterizada por ser fria e seca. A massa tropical gera

predominantemente ventos de nordeste, já a massa de ar polar produz ventos do sudoeste (Dieh & Horn, 1996). Segundo Viana (2009), a alternância dos anticiclones atlântico e polar cria centros de alta e baixa pressão onde se configuram as frentes de contato que são responsáveis por parte da precipitação no litoral.

De acordo com a classificação de Köppen (1936), o estado de Santa Catarina abrange o tipo climático "Cf", temperado, com chuvas em todos os meses. Dentro do tipo "Cf" ocorre dois subtipos: "Cfa", subtropical, com temperatura média das máximas superior a 22°C e a média das mínimas variando entre -3 e 18°C; "Cfb", subtropical, com a média das máximas inferior a 22°C e a média das mínimas oscilando entre -3 e 18°C (Alvares, 2013). O município de Garopaba, apresenta o tipo "Cfa", que corresponde ao clima mesotérmico brando ou "clima subtropical úmido sem estação seca e com verões quentes". Na área de estudo as temperaturas médias anuais são maiores que 20°C e as precipitações totais anuais é entre 1500 a 1700 mm (EPAGRI, 2002).

I. 3.4. Contexto vegetacional

O Brasil é formado por seis biomas de características distintas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. O estado de Santa Catarina abriga em sua totalidade o bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004).

A área delimitada pela Mata Atlântica contempla um conjunto de formações florestais, como a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista (também denominada de mata de araucárias), Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual. Além de formações florestais, também ocorrem ecossistemas associados, como os campos de altitude e as áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais (MMA, 2010).

O litoral de Santa Catarina compreende, nas porções mais interiorizadas, a formação florestal da Floresta Ombrófila Densa que é caracterizada por um clima ombrófilo sem período biologicamente seco durante o ano e as temperaturas médias oscilam entre 22°C e 25°C (IBGE, 2004). Na porção mais próxima da linha da costa, ao longo do litoral, nas planícies fluviais e ao redor das depressões aluviais (pântanos, lagoas e lagoas), encontra-se o ecossistema de restinga. Essa vegetação é condicionada a fatores edáficos e de caráter de primeira ocupação, cujos terrenos são renovados pelas sucessivas deposições de areias marinhas (IBGE, 2012).

I. 4. Objetivos

I. 4.1. Objetivo geral

Contribuir com o conhecimento sobre o paleoambiente durante o Quaternário na porção central da região costeira de Santa Catarina, através da análise palinológica de uma seção sedimentar no litoral do município de Garopaba, com ênfase nas variações do nível relativo do mar.

I. 4.2. Objetivos específicos

- a) Realizar análises palinológicas em amostras quaternárias de um poço raso na Planície Costeira de Santa Catarina (Garopaba);
- b) Investigar as sucessões dos ambientes deposicionais ao longo do tempo com base nos diagramas palinológicos, bem como variações da florística local;
- c) Comparar os resultados obtidos com dados prévios visando aprimorar as interpretações paleoambientais da Planície Costeira de Santa Catarina.

I. 5. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram realizadas atividades em campo e em laboratório. Todas as etapas foram feitas utilizando a infraestrutura do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT/IG/UFRGS), com exceção as análises de granulometria que foram desenvolvidas no Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/IG/UFRGS).

I. 5.1. Coleta do testemunho de sondagem

Foi coletado um testemunho de sondagem em ambiente deposicional com característica redutora para garantir a abundância e a boa preservação dos palinóforos. O testemunho foi coletado até o material sedimentar apresentar resistência, atingindo uma profundidade de 4,5 m.

Com o aparelho coletor “*Russian Peat Borer*” foram retiradas 7 seções de 50 cm de comprimento. Cada seção foi armazenada em tubos de policloreto de vinila (PVC) com as mesmas dimensões da cápsula do aparelho coletor e identificadas com a profundidade e indicação topo/base. Os tubos foram embalados com filme plástico e papel alumínio para o transporte ao laboratório onde as amostras foram retiradas para análises palinológicas e o material restante foi acondicionado em baixa temperatura.

I. 5.2. Datação radiocarbônica (^{14}C)

Com o objetivo de identificar o posicionamento geocronológico foram realizadas três datações radiocarbônicas: uma do nível da amostra fértil mais profunda (430 cm), uma na porção central (360 cm) e outra próxima ao topo (80 cm). Foram retirados 30 g de sedimento seco de cada profundidade do poço e encaminhado para o Laboratório CAIS pelo método AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*). A calibração das idades absolutas foi realizada utilizando o *software Calib 7.10 (Radiocarbon Calibration Program)*.

I. 5.3. Análises granulométricas

Foram retiradas 16 amostras representativas ao longo do perfil sedimentar, com cerca de 8 g cada, tendo sido processadas no Laboratório do CECO/IG/UFRGS com o aparelho “*Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950*”

(HORIBA) que analisa o dimensionamento das partículas presentes em cada amostra.

I. 5.4. Recuperação palinológica em sedimentos quaternários

Amostras com volume de 1 cm³ foram extraídas ao longo do poço espaçadas a cada 10 cm e colocadas em tubos plásticos de centrifuga de 50 ml. Cada amostra foi identificada com o respectivo nível estratigráfico e foi adicionada uma pastilha de carbonato de cálcio contendo esporos de *Lycopodium clavatum* L. (número de partida 18.584 ± 371), os quais serviram para análise de concentração polínica (Stockmarr, 1971).

Para a recuperação dos palinomorfos as amostras foram tratadas quimicamente segundo metodologia usual para sedimentos quaternários (Ybert, 1992), com modificações. O tratamento químico consiste na utilização de uma série de ácidos e bases com o objetivo de concentrar os palinomorfos e remover outros componentes do sedimento não desejados para as análises palinológicas.

Dessa forma, iniciou-se o tratamento químico com 10 mL de ácido fluorídrico (HF), concentrado a 48%, para a retirada dos silicatos. Em um segundo momento, foi adicionado 10 mL de ácido clorídrico (HCL), concentrado a 10%, para eliminar os carbonatos. Posteriormente, para a eliminação dos ácidos húmicos, lignina e restos orgânicos adicionou-se 10 ml hidróxido de potássio (KOH) concentrado a 10%. Com o objetivo de desidratar as amostras para que na etapa seguinte (acetólise) não ocorresse a reação química, explosiva, com a água presente nas amostras, foi colocado 10 mL de ácido acético glacial (CH₃COOH). Estando as amostras já desidratadas, foi realizada a “acetólise”, que consiste no uso de uma mistura de nove partes de anidrido acético (CH₃CO) e uma parte de ácido sulfúrico (H₂SO₄), para eliminar a celulose e o conteúdo citoplasmático dos grãos de pólen e esporos. Após cada etapa de uso dos reagentes químicos citados anteriormente, as amostras foram centrifugadas e os ácidos e bases descartados, sendo então lavadas com água destilada e submetidas novamente à centrifugação para posterior descarte da água. Por fim, o material restante de cada amostra foi peneirado em malha metálica para concentração do resíduo menor que 250 µm.

I. 5.5. Montagem de lâminas palinológicas

As lâminas palinológicas foram montadas a partir da técnica descrita por Salgado-Labouriau (1973). Para cada unidade amostral foram confeccionadas

quatro lâminas palinológicas, as quais foram incorporadas na Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, na coleção estratigráfica, com o prefixo “MP-P”.

I. 5.6. Fotomicrografias

Os táxons identificados foram registrados, em cada lâmina, segundo as coordenadas das lâminas *England Finder*. Os espécimes mais representativos foram selecionados e fotodocumentados (Anexo I). As fotomicrografias dos materiais foram realizadas em microscopia óptica sob aumento 1000x, usando-se equipamento de captura de imagem acoplado ao microscópio óptico Olympus BX-61. Posteriormente, as imagens foram submetidas a tratamento em *softwares* especializados.

I. 5.7. Análises qualitativas e quantitativas

Os palinomorfos foram quantificados para realização de análises estatísticas, as quais serviram de fundamentação para as inferências paleoambientais. Em cada amostra foram contados no mínimo 300 grãos de pólen, conforme Mosimann (1965), enquanto os demais palinomorfos e constituintes da matéria orgânica particulada foram contados a parte. Quando não foi possível atingir os 300 grãos de pólen em uma amostra, a leitura se deu até atingir 300 esporos de *Lycopodium clavatum* L. Posteriormente, os táxons foram agrupados conforme suas afinidades ecológicas em hábito e/ou hábitat. As contagens foram feitas em microscopia óptica em aumento de 400x; as leituras foram realizadas em transecções verticais de cima para baixo e da esquerda para direita com espaçamento entre as linhas de aproximadamente um campo visual para evitar a recontagem dos palinomorfos (Salgado-Labouriau, 2007).

As identificações taxonômicas foram realizadas por comparação com os equivalentes modernos, através dos materiais depositados na coleção de referência (MP-Pr) do LPMMT/IG/UFRGS e também por consulta a atlas, catálogos e bibliografia especializada, tais como Hooghiemstra (1984), Neves & Lorscheitter (1992), Herrera & Urrego (1996), Lorscheitter (1998), Colinvaux *et al.* (1999), Leal & Lorscheitter (2006), Macedo *et al.* (2009) e Cancelli *et al.* (2012).

I. 5.8. Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos das análises qualitativas e quantitativas foram apresentados através de diagramas palinológicos de porcentagem e de análise de

agrupamento (Anexo II). Tais procedimentos permitem evidenciar de forma mais clara as mudanças a respeito das sucessões vegetacionais. Para a elaboração destes diagramas palinológicos foi utilizado o *software Tilia* versão 1.7.16 (Grimm, 1987).

A baixa quantidade de grãos pólen recuperados nas amostras não permitiu realizar o cálculo da soma polínica total. Sendo assim, foi calculado uma soma total de palinomorfos (100%), a qual inclui táxos referentes a: macrófitas aquáticas, ervas, árvores e arbustos, esporos de pteridófitas e briófitas, esporos de fungos, algas, cistos de dinoflagelados, acritarcos e palinoforaminíferos. A porcentagem de cada táxon foi calculada a partir de sua frequência em relação à soma polínica total. A análise de agrupamento foi realizada a partir da análise CONISS usando como coeficiente de dissimilitude Edwards & Cavalli-Sforza's distância curta e foram utilizados três grupos de palinomorfos: soma polínica, algas e palinomorfos marinhos.

CAPÍTULO II. RESULTADOS

Nos itens que seguem serão apresentados, separadamente, os dados palinológicos, granulométricos e de datações absolutas, bem como diagramas confeccionados. A interpretação e a análise destes dados e a consequente proposição de um modelo ambiental compõem o Anexo II que trata do artigo submetido desta dissertação de mestrado.

II. 1. Granulometria e datações radiocarbônicas

O poço PCSC-3 consiste em 4,5 m de sedimento inconsolidado rico em matéria orgânica. As análises granulométricas realizadas ao longo do perfil sedimentar constataram a intercalação de silte fino e areia fina, em espessuras variáveis, conforme observado na figura 5. Os resultados das datações radiocarbônicas por AMS, apresentados na Tabela 1, mostram que a deposição do testemunho estudado ocorreu a partir da metade do Holoceno. A idade da amostra fértil mais antiga é referente aos 5390 anos AP (430 cm), enquanto que a amostra de 360 cm de profundidade foi datada em 3756 anos AP. A datação realizada no nível mais recente (80 cm de profundidade) revelou uma idade de 858 anos AP.

Tabela 1. Idades radiocarbônicas e calibradas de amostras selecionadas do poço PCSC-3.

Número da amostra*	Profundidade (cm)	Idade (^{14}C anos AP)	Idade calibrada (anos AP) média da probabilidade
UGAMS#26651 (38)	80	1010 \pm 26	858
UGAMS#26650 (10)	360	3520 \pm 25	3756
UGAMS#26539r (3)	430	4650 \pm 25	5390

*Número de série do CAIS (Laboratório da Universidade de Geórgia) e nosso número de controle (em parênteses).

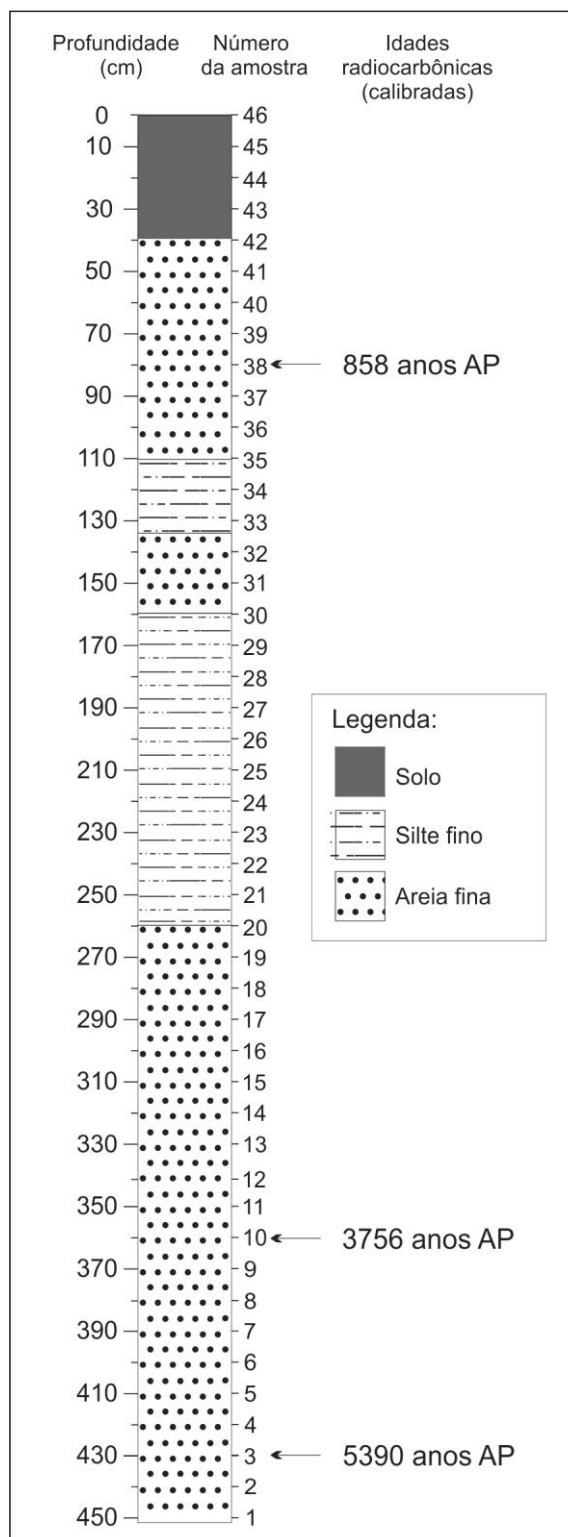


Figura 5. Perfil sedimentar esquemático do poço PCSC-3 mostrando a variação da granulometria, localização das amostras extraídas para as análises palinológicas e as datações radiocarbônicas obtidas.

II. 2. Registro palinológico

Das 46 amostras palinológicas analisadas, apenas três (amostra 1, 2 e 43) foram consideradas estéreis em palinomorfos, sendo descartadas para as interpretações. Um total de 84 palinomorfos distintos foi identificado a partir das amostras férteis, incluindo táxons angiospermas (38), gimnospermas (3), pteridófitas (8), licófitas (1), briófitas (2), fungos (8), algas (3), acritarcos (3), cistos de dinoflagelados (2) e palinoforaminíferos (1), bem como 16 tipos de esporos e grãos de pólen não determinados. A tabela 2 apresenta todos os palinomorfos registrados divididos por grupos, bem como suas lâminas de referências, coordenados *england finder* e as localizações de suas ilustrações. Nas figuras 6 a 13 são ilustrados os palinomorfos mais representativos encontrados no testemunho.

A partir das mudanças nas assembléias de palinomorfos três fases palinológicas foram definidas: Fase I, Fase II e Fase III. A Fase I corresponde a porção mais basal do testemunho, 430 a 295 cm de profundidade (amostra 3 a 16), e sua idade vai de 5390 anos AP a 3135 anos AP. A Fase II abrange a porção mediana do perfil, 295 a 85 cm de profundidade (amostra 17 a 37), e sua idade é de 3032 anos AP a 962 anos AP. A Fase III é referente ao topo da seção, de 85 a 0 cm de profundidade (amostra 38 a 46), e sua idade é de 858 anos AP ao atual.

Os diagramas palinológicos (figura 14, 15 e 16) foram feitos a partir da porcentagem dos táxons em relação à soma total de palinomorfos. A figura 14 apresenta o diagrama palinológico no qual é possível identificar a distribuição dos palinomorfos agrupados de acordo com suas afinidades ecológicas (hábito ou habitat) por amostras, bem como as fases ambientais. A ocorrência de cada táxon ao longo das amostras pode ser observada nas figuras 15 e 16.

Tabela 2. Lista dos táxons registrados, com identificação das lâminas (Codificação da Palinoteca da UFRGS), coordenadas *England Finder* e localização das micrografias das espécies ilustradas.

Táxon	Lâmina	Coordenada	Figuras
Angiospermas			
<i>Alchornea</i> Sw.	9982	E56/ L41-2	6.A e 1.B
<i>Allophylus edulis</i> Radlk. Ex Warm.	9975	X48-4	8.L
<i>Alnus</i> Mill.	9944	L37-1	9.H
<i>Amaranthus</i> /Chenopodioideae	9982	M60-4	6.C
Anacardiaceae	9962	W52	8.F
Apiaceae	9906	R55-3	6.D
Arecaceae	9986	H51	6.E
Asteraceae subf. Asteroideae	9947	U60-2	6.K e 6.L
Asteraceae subf. Chicoroideae	9971	F59	6.J
<i>Celtis</i> L.	9918	F63-1	7.D
Cucurbitaceae	9955	D58-3	7.A e 7.B
<i>Cuphea</i> P.Browne	9944	G49-3	
Cyperaceae	9920	U47	7.E
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	9975	L41	9.E e 9.F
<i>Drymis brasiliensis</i> Miers.	9913	L60-2	8.C
Ericaceae	9914	N59-1	7.F
<i>Faramea</i> Aubl.	9986	R52-2	8.K
<i>Gomphrena</i> L.	9907	R54	9.G
<i>Ilex</i> L.	9975	T58-3	6.F e 6.G
<i>Matayba</i> Aubl.	9984	C43	8.J
Mimosoideae	9917	R41-1	8.I
<i>Mimosa</i> Ser. Lepidotae	9929	O53	8.H
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verd.	9980	O41	8.G
<i>Myrsine</i> L.	9914	H40-1	7.G
Myrtaceae	9971	U47	6.H
<i>Nothofagus</i> Blume.	9985	K54	9.L
Onagraceae	9986	R52-3	
Oxalidaceae	9931	Q55	7.C
Poaceae	9960	N49	6.I
<i>Polygonum</i> L.	9920	A52-4	8.A
Proteaceae	9975	X48-4	8.D
Rubiaceae	9957	W59	7.L
<i>Sapium</i> Jacq.	9904	O58	7.J
<i>Sebastiania</i> Spreng.	9910	L48	7.H e 7.I
<i>Tocoyena</i> Aubl.	9907	N43-3	7.K
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume.	9971	J53	9.B
<i>Tripodanthus acutifolius</i> (Ruiz & Pav.) Tiegh.	9958	G53	9.A
<i>Utricularia</i> L.	9937	H64-1	9.C e 9.D
Gminospermas			
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	9986	E34	9.J
<i>Ephedra tweediana</i> C.A.Mey.	9990	Z43	9.I
<i>Podocarpus</i> L' Hér. Ex Pers.	9938	O47	9.K
Grãos de pólen não determinados			
Não determinado 7	9982	N62	10.A e 10.B
Não determinado 19	9975	H45-1	
Não determinado 22	9966	K69	
Não determinado 28	9938	S51	10.C e 10.D
Não determinado 29	9938	X39-4	10.E e 10.F
Não determinado 31	9985	K59	10.G e 10.H
Não determinado 35	9981	T61-1	10.I e 10.J
Não determinado 36	9981	E57	10.K e 10.L

Licófitas

Lycopodiella alapeкуроoides (L.) Cranfill 9957 F54 11.A e 11.B

Briófitas

Phaeoceros Prosk. 9918 C63-2 11.D

Sphagnum L. 9946 V54-4 11.C

Pteridófitas

Aspleniaceae/Dryopteridaceae 9986 K47-1

Blechnum L. 9905 K40-4 11.I

Cyathea J. Sm. 9943 E48-1 11.K

Dicksonia L' Hér 9975 Y45-2 11.E e 11.F

Huperzia Bernh. 9945 O46-1 12.A e 12.B

Lycopodium clavatum L. 9987 X50 11.L

Polypodiaceae 9975 Q39-4 11.G e 11.H

Osmunda L. 9917 W61-1 11.J

Esporos não determinados

Não determinado 1 9982 P50-2 12.C

Não determinado 3 9971 F55

Não determinado 4 9988 R54

Não determinado 12 9938 X54-2 11.D

Não determinado 16 9928 O52-2

Não determinado 24 9914 N46-3

Não determinado 25 9914 J55-2

Não determinado 26 9914 N46-3 11.E

Fungos

Athelia Pers.

Hifa 9959 Z54-4 12.H

Gelasinospora calospora (Mouton) C. Moreau & M. Moreau 9913 Q64-1

Gelasinospora reticulispora (Greis & Greis-Dengler) C. Moreau & M. Moreau 9919 F68

Glomus Tus. & C. Tus. 9979 N42 12.I

Neurospora 9924 B61-1 12.K

Nigrospora Zimm. 9983 O46 12.L

Tetraploa Berk. & Br. 9959 W55-4 12.J

Algas

Botryococcus Kütz. 9957 S59 13.A

Pseudoschizaea rubina Rossignol ex Christopher 9926 E61-2 13.B

Spirogyra Link. 9944 N43-1 13.C

Dinoflagelados

Operculodinium Wall, 1967 9972 F65 13.D e 13.E

Spiniferites Mantell, 1850 9982 P38-4 13.F

Acritarcos

Acritarco sp. 1 9937 T51-2 13.H e 13.I

Acritarco sp. 2 9981 U37-3 13.J

Micrhystridium (Deflandre) emend. Serjeant & Stancliffe 1994 9981 N41-1 13.G

Palinoforaminíferos 9977 e 9988 U43 e U58 13.K e 13.L

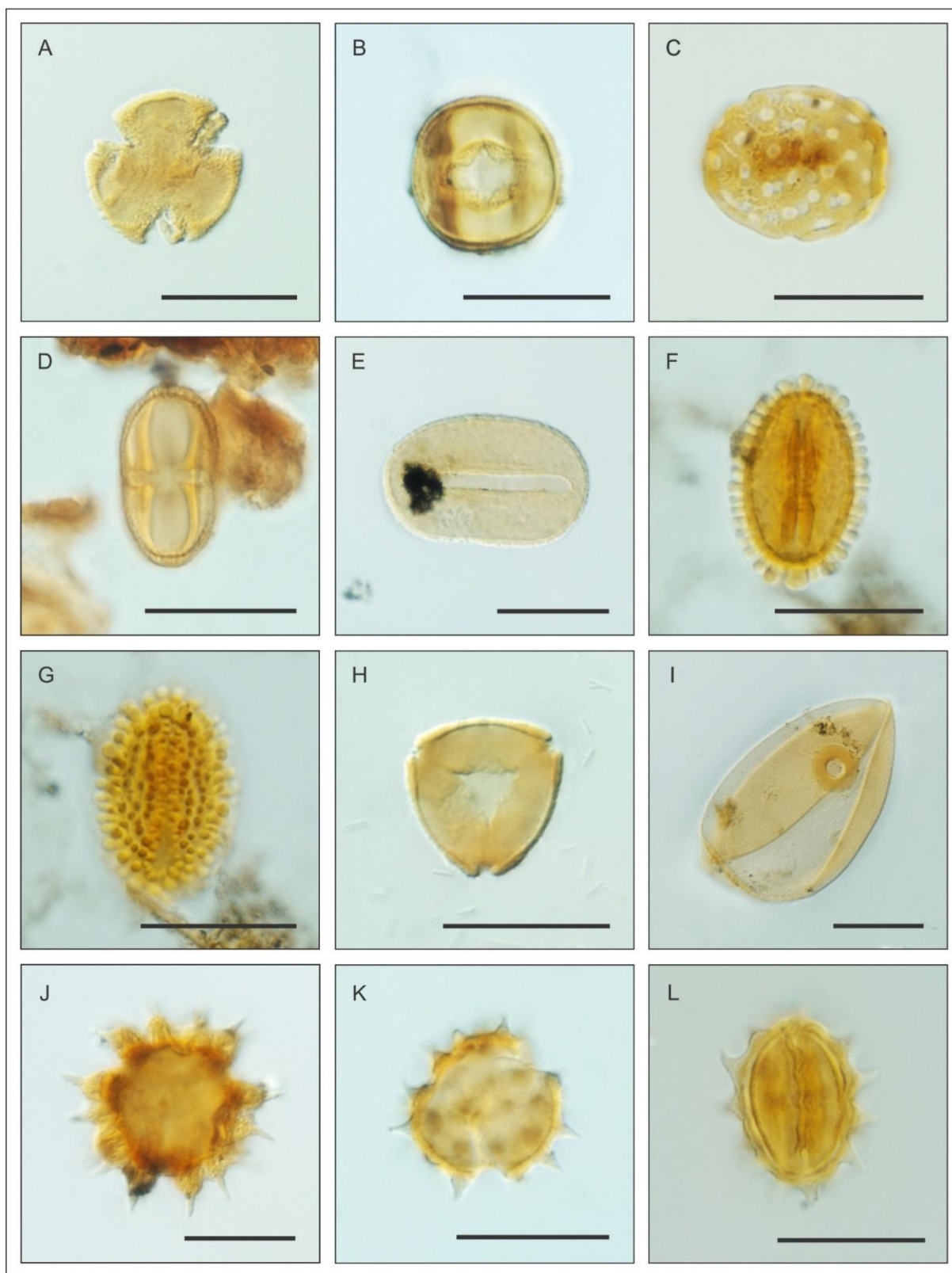


Figura 6. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A-B) *Alchornea*, (C) *Amaranthus/Chenopodiaceae*, (D) *Apiaceae*, (E) *Arecaceae*, (F-G) *Ilex*, (H) *Myrtaceae*, (I) *Poaceae*, (J) *Asteraceae* subf. *Cichorioideae*, (K-L) *Asteraceae* subf. *Asteroideae*.

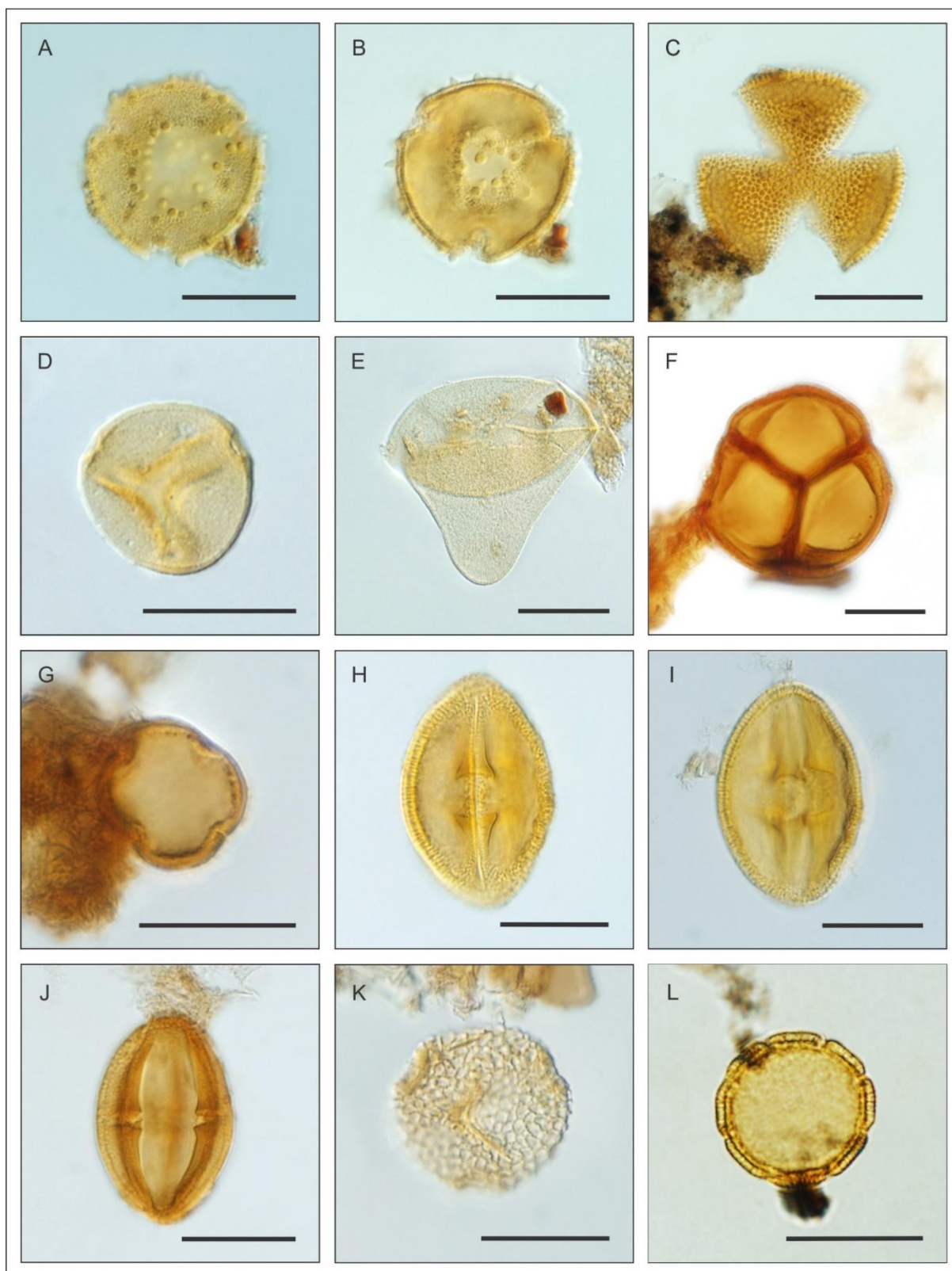


Figura 7. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A-B) Cucurbitaceae, (C) Oxalidaceae, (D) *Celtis*, (E) Cyperaceae, (F) Ericaceae, (G) *Myrcine*, (H-I) *Sebastiania*, (J) *Sapium*, (K-L) Rubiaceae, (K) *Tocoyena*.

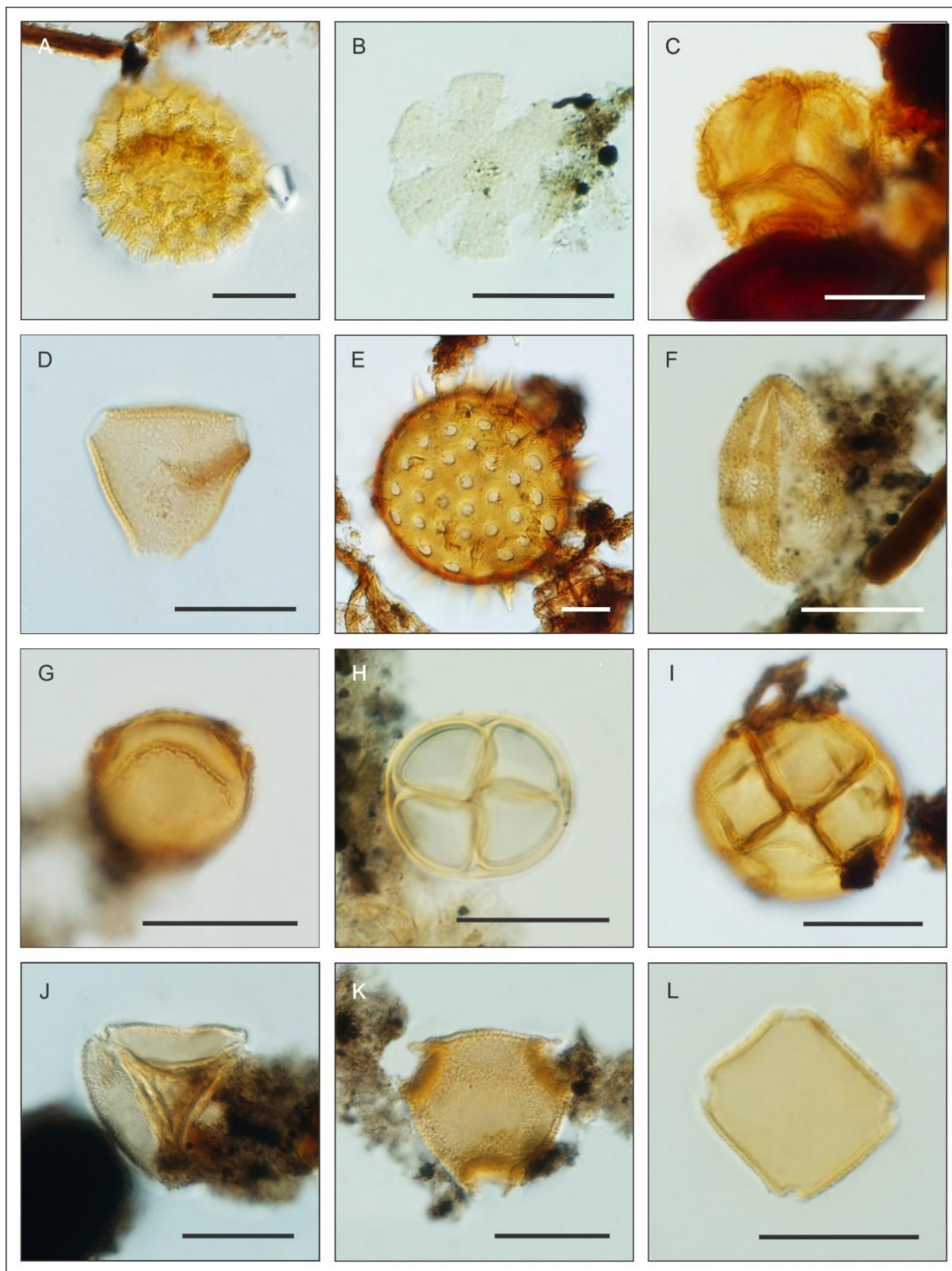


Figura 8. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A) *Polygonum*, (B) Lamiaceae, (C) *Drymis brasiliensis*, (D) Proteaceae, (E) Malvaceae, (F) Anacardiaceae, (G) *Myriophyllum aquaticum*, (H) *Mimosa* serie Lepidoteae, (I) Mimosoideae, (J) *Matayba*, (K) *Faramaea*, (L) *Allophylus edulis*.

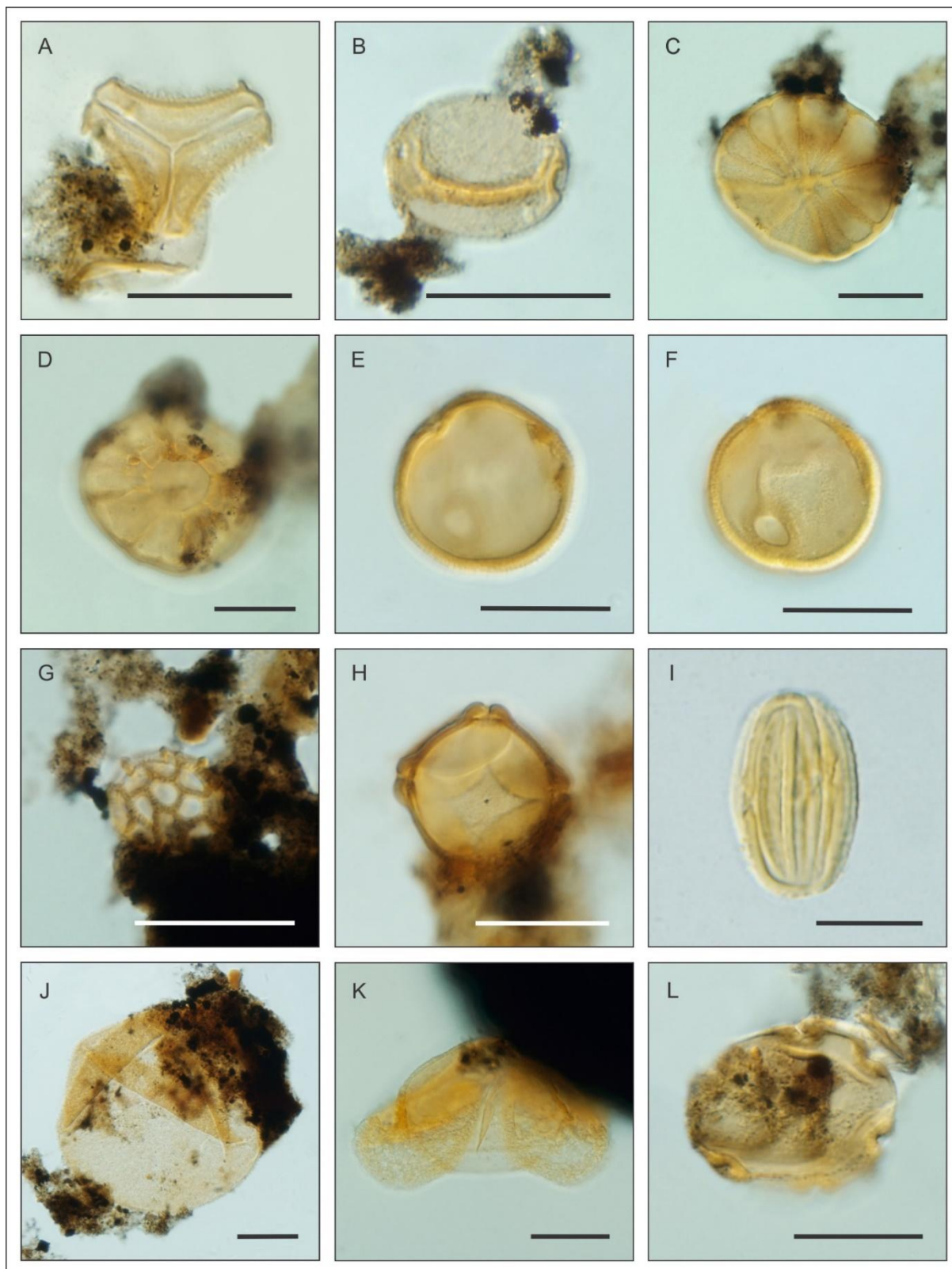


Figura 9. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen determinados: (A) *Tripodanthus acutifolia*, (B) *Trema michranta*, (C-D) *Utricularia*, (E-F) *Dodonea viscosa*, (G) *Gomphrena*, (H) *Alnus*, (I) *Ephedra sellowiana*, (J) *Araucaria augustifolia*, (K) *Podocarpus*, (L) *Nothofagus*.

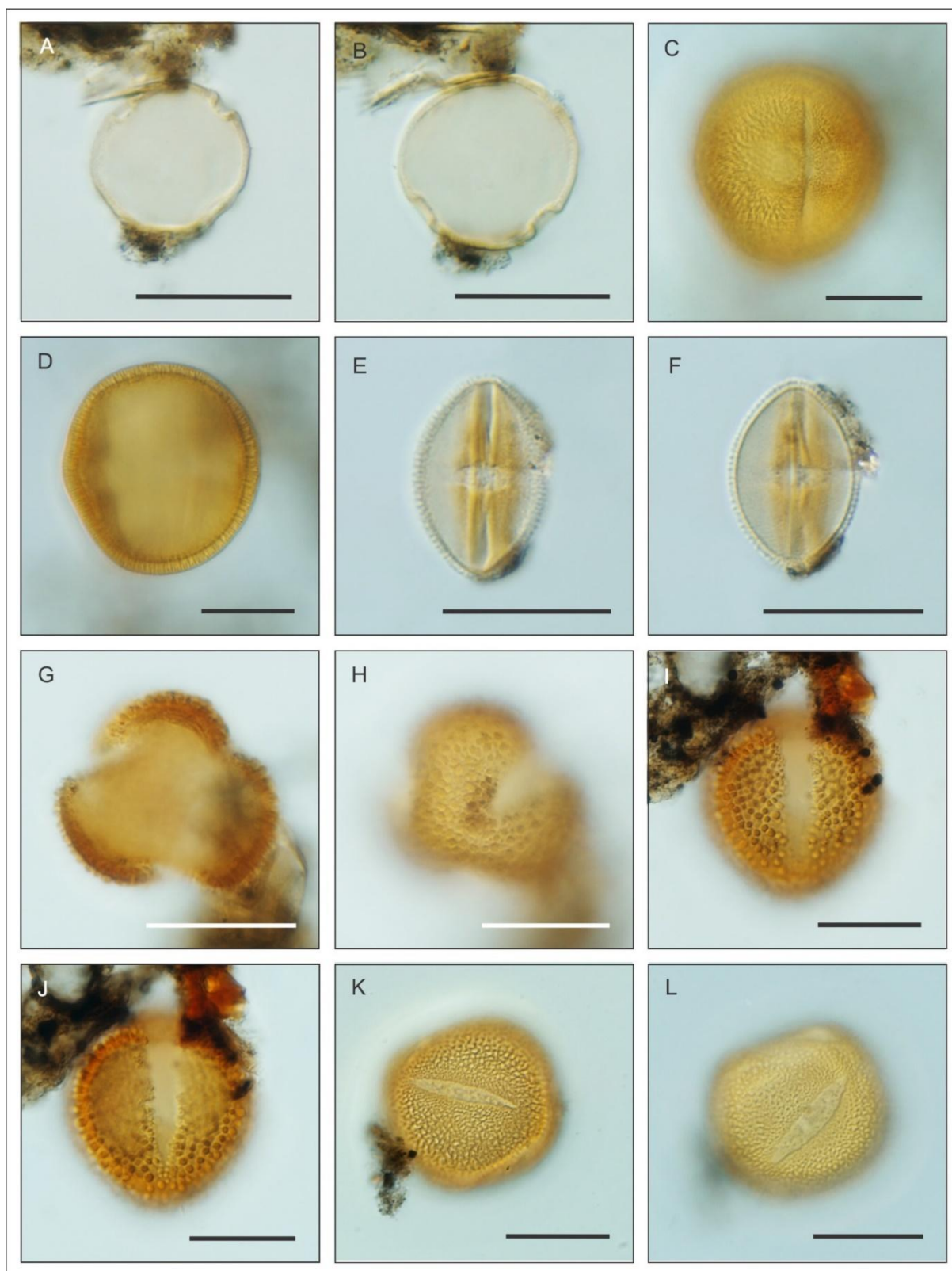


Figura 10. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Grãos de pólen não determinados: (A-B) não determinado 7, (C-D) não determinado 28, (E-F) não determinado 29, (G-H) não determinado 31, (I-J) não determinado 35, (K-L) não determinado 36.

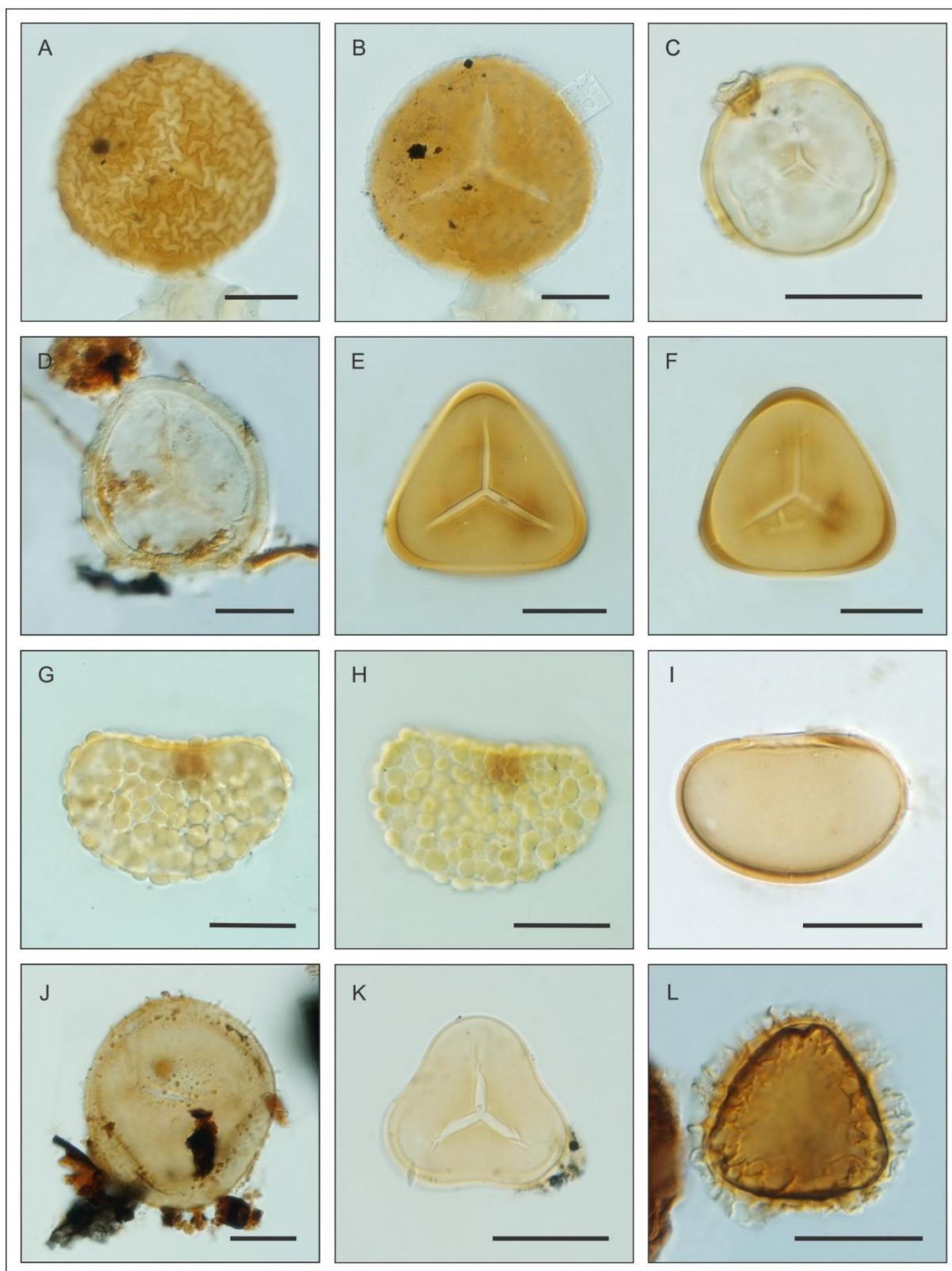


Figura 11. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Esporos determinados: (A-B) *Lycopodiella alopecuroides*, (C) *Sphagnum*, (D) *Phaeoceros*, (E-F) *Dicksonia*, (G-H) Polypodiaceae, (I) *Blechnum*, (J) *Osmunda*, (K) *Cyathea*, (L) *Lycopodium clavatum*.

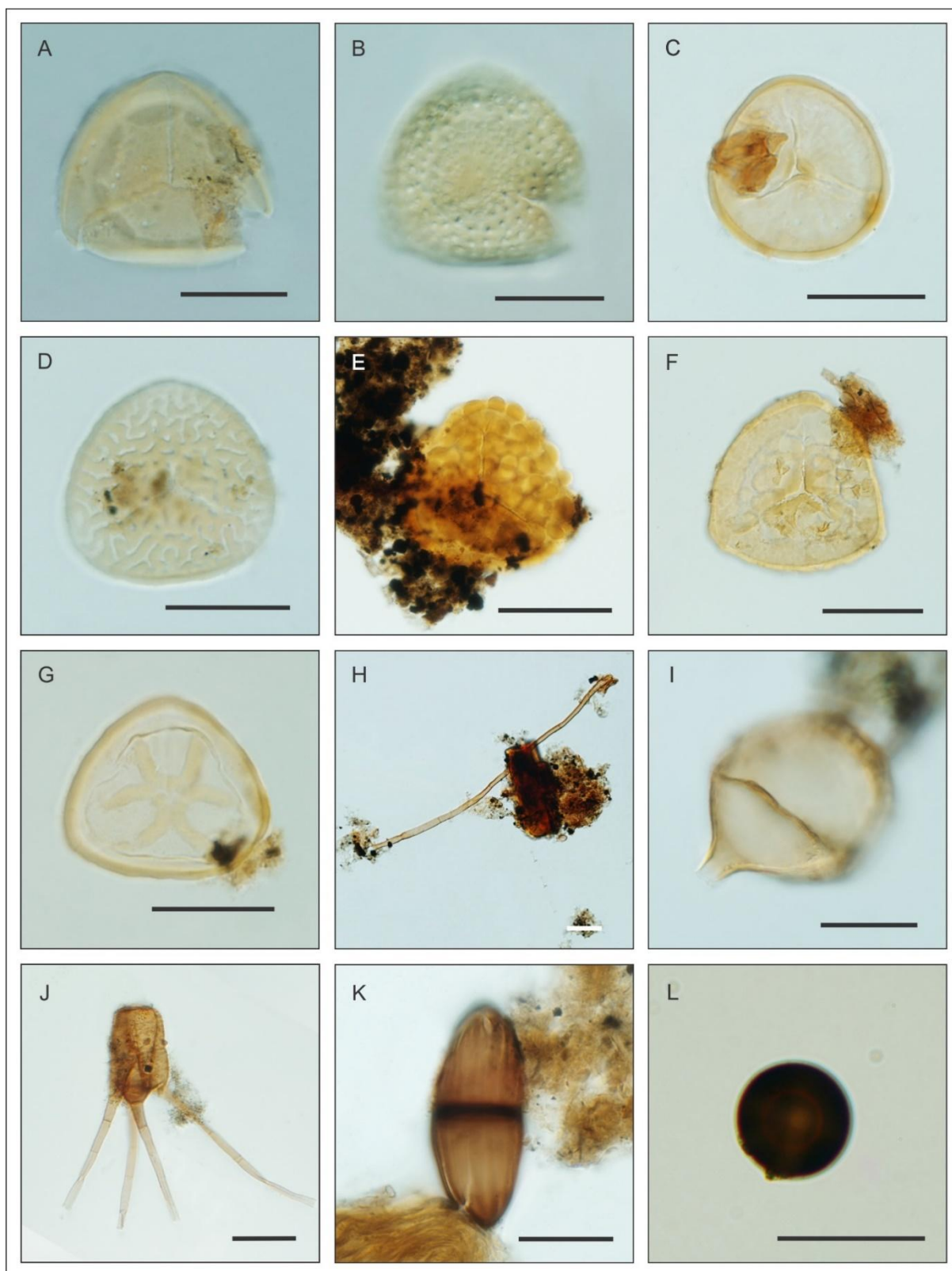


Figura 12. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Esporos determinados: (A-B) *Huperzia*. Esporos não determinados: (C) não determinado 1, (D) não determinado 12, (E) não determinado 26, (F) não determinado 4, (G) não determinado 25. Fungos determinados: (H) Hifa de fungo, (I) *Glomus*, (J) *Tetraploa*, (K) *Neurospora*, (O) *Nigrospora*.

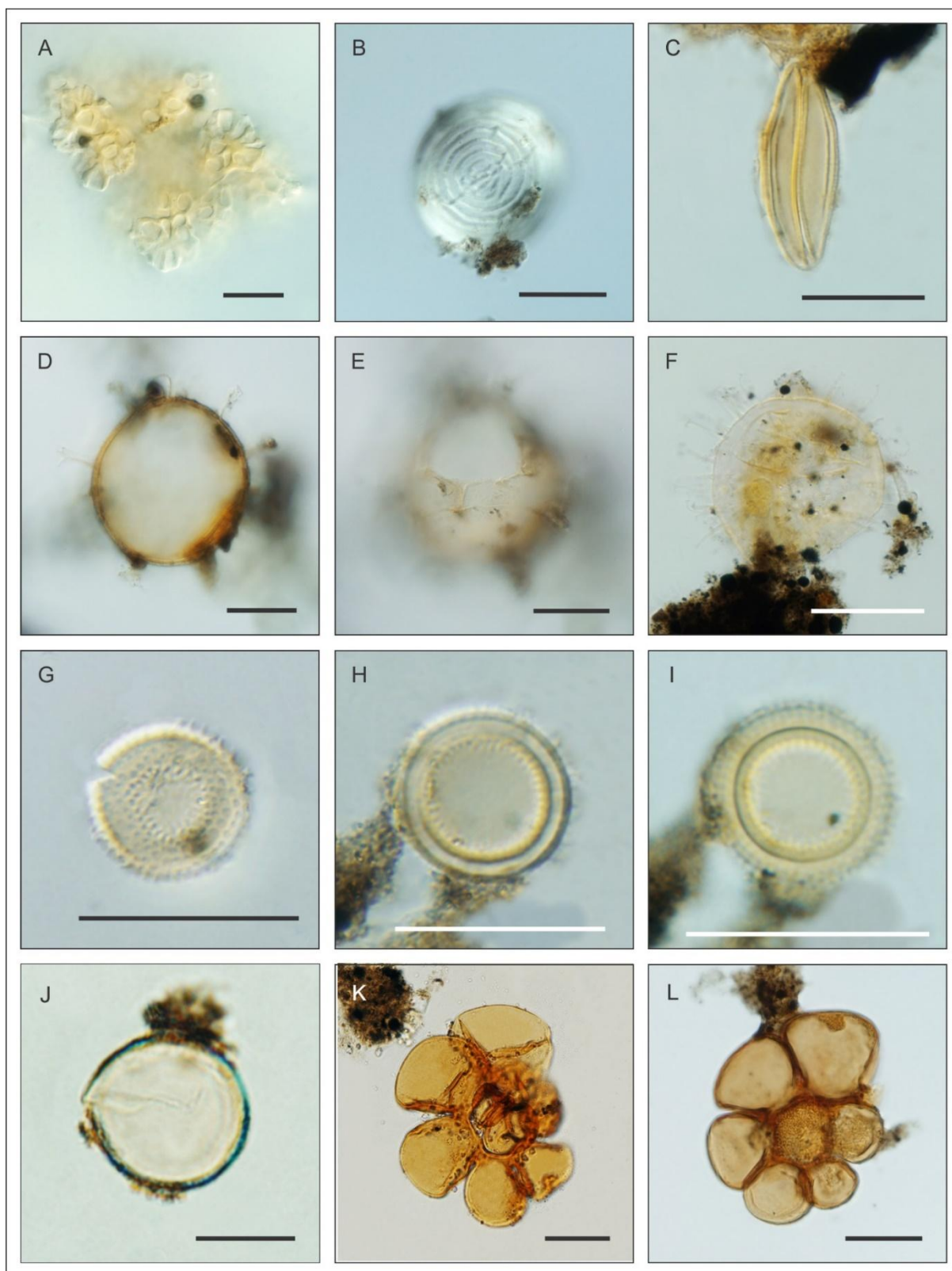


Figura 13. Fotomicrografias dos palinomorfos recuperados no poço PCSC-3. Algas determinadas: (A) *Botryococcus*, (B) *Pseudoschizaea rubina*, (C) *Spirogyra*. Dinoflagelados determinados: (D-E) *Spiniferites*, (F) *Operculodinium*. Acritarcos determinados: (G) *Mirchrystridium*, (H-I) *Acritarco* sp. 1, (J) *Acritarco* sp. 2. (K-L), Palinoforaminíferos.

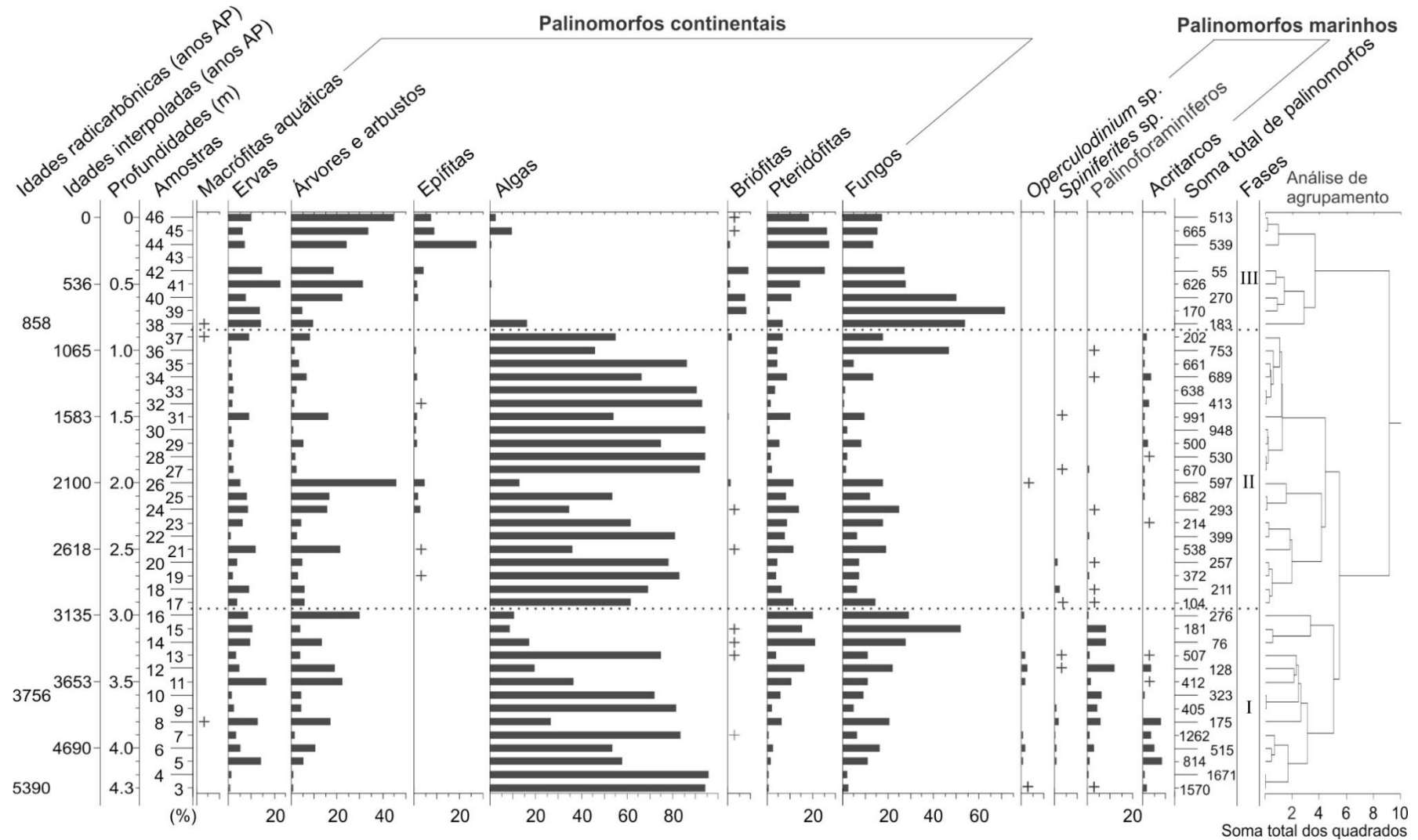


Figura 14. Diagrama de porcentagem dos grupos de palinórmofos de acordo com suas afinidades ecológicas (hábito ou habitat) do poço PCSC-3, bem como a identificação das fases e a análise de agrupamento. O símbolo (+) representa uma ocorrência dos palinórmofos.

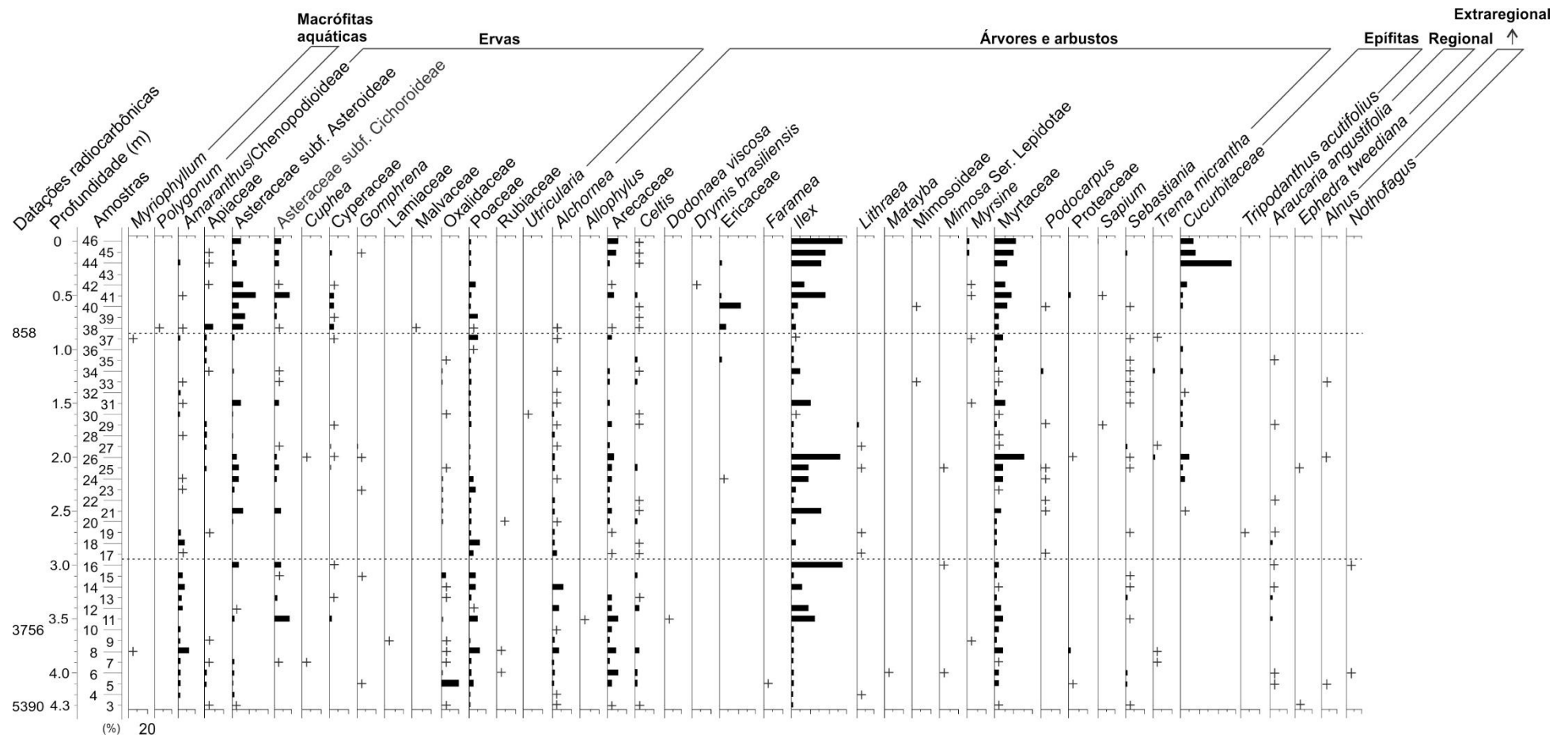


Figura 15. Diagrama de porcentagem dos palinomorfos do poço PCSC-3. Ocorrência dos grãos de pólen ao longo do perfil. O símbolo (+) representa apenas uma ocorrência dos palinomorfos.

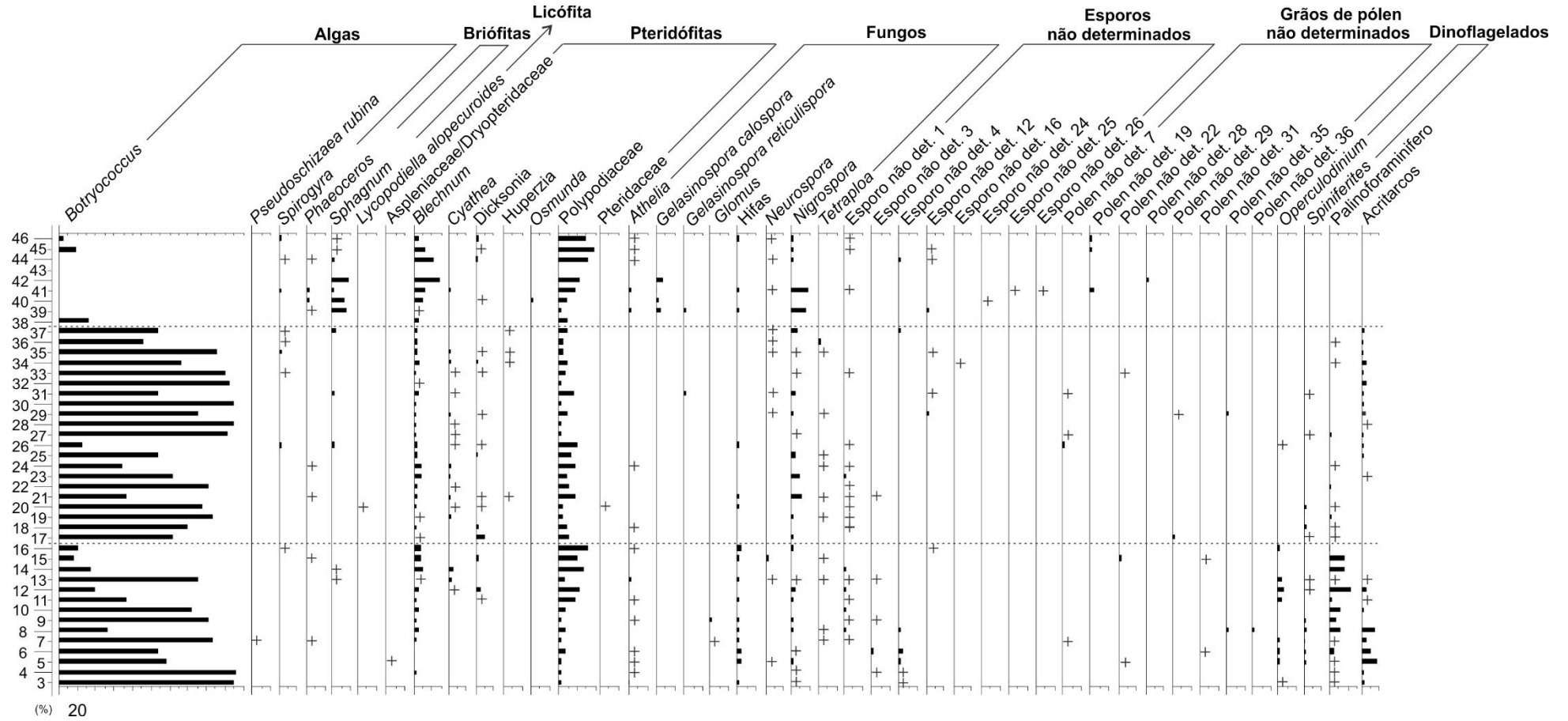


Figura 16. Diagrama de porcentagem dos palinórfos do poço PCSC-3. O símbolo (+) representa apenas uma ocorrência dos palinórfos.

CAPÍTULO III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

III. 1. Conclusões

As análises palinológicas do testemunho (poço PCSC-3) de 450 cm de comprimento na Planície Costeira de Santa Catarina (Garopaba) levaram ao reconhecimento de três fases ambientais, de 5390 anos de idade até os dias atuais. Essas fases foram caracterizadas pela presença e pela relativa frequência entre elementos marinhos (cistos de dinoflagelados, acritarcos e palinoforaminíferos), algas de água doce (*Botryococcus*) e palinomorfos continentais (táxons de esporos, pólen e fungos).

Os registros de elementos marinhos e de algas de água doce indicam que durante a Fase I e a Fase II o ambiente compreendia um corpo lagunar. A Fase I revela maior influência marinha, enquanto a Fase II apresenta diminuição da porcentagem de elementos marinhos e aumento do registro de algas de água doce, sugerindo menor influência marinha no corpo lagunar. A Fase III é marcada pelo fechamento da conexão da lagoa com o mar, com a predominância de sedimentação subaquosa, sob condições de pântano, por meio da colonização da vegetação na localidade nos últimos 856 anos BP. Nossas conclusões estão de acordo com outras reconstruções paleoambientais para as oscilações do nível do mar em certas porções da planície costeira do Brasil, em particular no estado de Santa Catarina

III. 2. Comentários adicionais

As análises palinológicas realizadas a partir de um testemunho holocênico coletado na Planície Costeira de Santa Catarina mostraram-se eficientes para o estudo e entendimento das mudanças ambientais ocorridas durante os últimos 5390 anos AP na região de estudo. Tanto o controle geocronológico, quanto o granulométrico foram importantes para auxiliar as interpretações das fases ambientais identificadas. Somado aos trabalhos de palinologia já realizados no litoral catarinense e trabalhos que vem sendo desenvolvidos pelos membros do grupo de pesquisa em Quaternário do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tais como Rodrigo Rodrigues Cancelli *et al.* (em desenvolvimento) e Wagner Guimarães da Silva (em desenvolvimento), este trabalho contribui com dados importantes para o entendimento da evolução ambiental nessa porção do litoral brasileiro. No entanto,

ainda é necessário que mais estudos palinológicos sejam realizados em outras localidades do litoral como, por exemplo, na Ilha de Santa Catarina, a fim de conhecer as dinâmicas paleoambientais gerais, ocorridas em toda a Planície Costeira de Santa Catarina, e as específicas, restritas apenas a algumas localidades. Além disso, trabalhos de palinologia realizados a partir de sedimentos superficiais coletados em diferentes ambientes podem ser muito úteis. O conhecimento do registro palinológico dos ambientes atuais encontrados na Planície Costeira de Santa Catarina pode fornecer dados importantes para embasar as interpretações ambientais obtidas a partir de testemunhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Amaral, P.G.C., Fonseca P.C.G., Sylvestre, F. & Pessenda, L.C.R. 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*, 27: 181-191.
- Angulo, R.J., Giannini, P.C.F., Suguio, K. & Pessenda, L.C.R. 1999. Relative sea-level changes in the last 5.500 years in southern Brazil Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State based on vermetid ¹⁴C ages. *Marine Geology*, 159: 323-339.
- Antunes, R.L. & Melo, J.H.G. 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de sequências. In: Hélio J.P.S.R. (org.). *Estratigrafia de sequências: fundamentos e aplicações*. São Leopoldo, Ed. Unisinos, p. 137-218.
- Arai, M; Lana, C.C. 2011. Dinoflagelados. In: Carvalho, I. S. (org.). *Paleontologia: microfósseis, paleoinvertebrados*. Rio de Janeiro, Interciência, v. 3, p.137-166
- Batten, D.J. & Grenfell, H.R. 1996. Chapter 07d. Green and blue-green algae: Botryococcus. In: Jansonius, J.; MC Gregor, D.C. (Ed.). *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. v. 1, p. 205-214.
- Bauermann S.G., Behling H. & Macedo R.B. 2009. Biomas e evolução da paisagem no Rio Grande do Sul com base em paleopalinologia. In: Ribeiro AM, Bauermann SG and Scherer CS (Eds), *Quaternário do Rio Grande do Sul: Integrando Conhecimentos*. Porto Alegre: Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 81-93.
- Behling, H. & Negrelle, R.R.B. 2001. Tropical rain forest and climate dynamics of the atlantic lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. *Quaternary Research*, 56: 383–389.
- Cancelli, R.R. 2012. *Evolução paleoambiental da Planície Costeira sul-catarinense (Lagoa do Sombrio) durante o Holoceno, com base em dados palinológicos*. Porto Alegre. 159p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do

Sul.

- Cancelli, R.R., Souza, P.A. & Neves, P.C.P. 2012. Grãos de pólen de angiospermas do Holoceno (7908±30 anos AP-atual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 26(4), 866-885.
- Colbath, G.K. 1996. Chapter 07. Green and blue-green algae: Introduction . *In*: Jansonius, J.; MC Gregor, D.C. (Ed.). *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. v. 1, p. 171-172.
- Colinvaux, P., De Oliveira, P.E. & Patiño, J.E.M. 1999. Manual e atlas palinológico da Amazônia. *Harwood Academic Publishers*, The Netherlands. 332p.
- Cordeiro S.H. & Lorscheitter M.L. 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Paleolimnology*, 10: 35-42.
- Corrêa, I.C.S. & Willwock, J.A. 1996. Continental Shelf and Coastal Plain Sediments of the Southeast and South Coast of Brazil. *In*: CORRÊA, I.C.S. & MARTINS, L.R. (Ed.). *Exploratory text of Atlas: Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdés (Argentina)*. CECO. p. 41-54.
- Cruz, N.M.C. 2011. Acritarcos. *In*: Carvalho, I.S. (org.). *Paleontologia: microfósseis, paleoinvertebrados*. Rio de Janeiro, Interciência, v.3, p. 221-228.
- De Oliveira, P.E., Behling, H., Ledru, M.P., Barberi, M., Bush, M., Salgado-Laboriau, M.L., Garcia, M.J., Medeanic, S., Barth, O.M., Barros, M.A. & Schell-Ybert, R. 2005. Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. *In*: Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, M.A.S. & De Oliveira, P.E. (Eds), *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, p. 52-74.
- de Vernal, A. 2009. Marine palynology and its use for studying nearshore environments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 5. IOP Publishing, From Deep-sea to Coastal Zones: Methods and Techniques for Studying Paleoenvironments.
- de Vernal, A. & Giroux, L. 1991. Distribution of organic walled microfossils in recent sediments from the estuary and Gulf of St. Lawrence: some aspects of the organic matter fluxes. *In*: Therriault JC (Ed) *The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary?* Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 113: 189-199.

- Diehl, L.F. & Horn Filho, N.O. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. *Notas Técnicas*, 9: 39-50.
- Elsik, W.C. 1996. Chapter 10. Fungi. *In: Jansonius, J. & MC Gregor, D.C. (Ed.). Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. v. 1, p. 259-288.
- Félix, C.M. 2012. *Nova abordagem para o tratamento taxonômico de determinadas espécies de palinófitos do paleozoico superior do Gondwana, com ênfase na Bacia do Paraná, Brasil*. Porto Alegre, 206p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Félix, C.M. & Souza, P.A. 2012. Acritarcos (Grupo Acritarcha Evitt 1963): Conceitos gerais, aplicações e importância na análise estratigráfica do intervalo Pennsylvânico e Permiano da Bacia do Paraná. *Revista do Instituto Geológico*, 33(1): 71-88.
- Grimm, E.C. 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by method of the incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13: 13-35.
- Herrera, L.F. & L.E. Urrego. 1996. Atlas de polen de las plantas útiles y cultivadas de la Amazonia Colombiana. *El Cuaternario de Colombia*, (23): 462p.
- Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogota, Colombia: A continuous record of the last 3.5 million years. *In: Van der Hammen, T. (Ed.). El Cuaternario de Colombia*, CRAMER, 10, 368 p.
- Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da província costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, 18 (35): 71-98.
- Horn Filho, N.O. Diehl, F.L., Amin Jr., A.H., Meireles, R.P. & Abren, J.G.N. 2006. Coastal geology of the central-northern coast of the state of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39: 1723-1726.
- Horn Filho, N.O., Leal, P.C., Damasio, M. Leal, R.A., Machado, V.C., Silva, A.F., Covello, C., Puhl, P.R., Oliveira, J.S., Olinger, J.O., Oliveira M.S.C., Nunes,

- M.G., Nóbrega, M.R., Pereira, M.A. & Bexiga, G.M.S. 2012. Mapa geológico da planície costeira das folhas Paulo Lopes (SG-22-Z-D-V-4) e Imbituba (SH-22-X-B-II-2), Santa Catarina, Brasil. *In*: Horn Filho, N.O. (org.) *Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários*. Série mapas IBGE – Mapa nº7m, escala 1:100.000. Florianópolis: UFSC/CFH (Departamento de Geociências e Programa de Pós-graduação em Geografia), CNPq.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. Mapa da vegetação do Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, escala 1: 5 000 000
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2. ed., Rio de Janeiro, IBGE, 274p. (Manuais técnicos em geociências, 1).
- Leal, M.G. & Lorscheitter, M.L. 2006. Pólen, esporos e demais palinórfos de sedimentos holocênicos de uma floresta paludosa. Encosta Inferior do Nordeste, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, 61(1-2), 13-47.
- Lorscheitter, M.L. 1983. Evidences of sea oscillations of the Late Quaternary in Rio Grande do Sul, Brazil, provided by palynological studies. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 1: 53-61.
- Lorscheitter, M.L., Ashraf, A.R., Bueno, R.M. & Mosbrugger, V. 1998. Pteridophyte spores of Rio Grande do Sul flora, Brazil. Part I. *Palaeontographica*, 246: 1-113.
- Lorscheitter, M.L. & Romero, E.J. 1985. Palynology of Quaternary sediments of the core T15, Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 1: 55-92.
- Macedo, R.B., Souza, P.A. & Bauermann, S.G. 2009. Catálogo de pólenes, esporos e demais palinórfos em sedimentos holocênicos de Santo Antonio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, 62(2), 43-78.
- Marques-Toigo, M., Medeanic, S. & Ashraf, A.R. 2002. Paleoambiental changes in the Maquiné River Valley, RS, Brazil, during the Holocene according to palynological data. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 3: 36-47.
- Marret, F. & Zonneveld, K.A.F. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 125: 1-200.
- Martins, L.R. Urien, C.M., Corrêa, I.C.S. & Martins, I.R. 1996. Late Quaternary

Processes along the Rio Grande do Sul Continental Shelf (Southern-Brazilian). *Notas Técnicas*, 9: 62-68.

- Medeanic, S. 2006. Freshwater algal palynomorph records from the Holocene deposits in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141(1/2): 83-101.
- Medeanic, S., Hirata, F. & Dillenburg, S.R. 2010. Algal palynomorphs response to environmental changes in Tramandaí Lagoon, Southern Brazil, and climatic oscillations in the 20 th century. *Journal of Coastal Research*, 26(4): 726-735.
- Medeanic, S., Marques-Toigo, M. & Ashraf, A.R. 2000a. The use of fossil algae for the palaeoenvironmental reconstruction during the Late Holocene in the Maquiné River Valley, RS, Brazil. *Geociências*, n. especial, p.168-172.
- Medeanic, S, Toldojunior, E.E. & Dillenburg, S.R. 2000b. Evidência palinológica de ingressão marinha na Lagoa dos Patos durante o Holoceno tardio. *Geociências*, n. especial, p.141-145.
- Medeanic, S., Torgan, L.C., Clerot, L.C.P. & Santos, C.B. 2009. Holocene marine transgression in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil: palynomorph and diatom evidence. *Journal of Coastal Research*, 25(1): 224-233.
- Meyer, K.E.B., Mendonça Filho, J.G., Ashraf, A.R., Souza, P.A. & Reichhart, K. 2005a. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da Lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 8(1): 57-72.
- Meyer, K.E.B., Reichhart, K., Ashraf, A.R., Marques-Toigo, M. & Mosbrugger, V. 2005b. Holocene Evolution of Itapeva lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs and Corg, N, S Records. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(2): 181-192.
- MMA/SBF. 2010. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Mata Atlântica: patrimônio nacional dos brasileiros. Campanili M and Schaffer WB (Org), Biodiversidade 34, Brasília, 408p
- Mosimann, J.E. 1965. Statistical methods for the pollen analyst: multinomial and negative multinomial techniques. *In: Kummel, B. & Raup, D. (Ed). Multinomial and negative multinomial techniques*. San Francisco, W.H. Freeman, p. 636-673.

- Mourelle, D., Prieto, A.R., Pérez, L., García-Rodríguez, F. & Borel, C.M. 2015. Mid and late Holocene multiproxy analysis of environmental changes linked to sea-level fluctuation and climate variability of the Río de la Plata estuary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 421: 75-88.
- Mudie, P.J., Leroy, S.A.G., Marret, F., Gerasimenko, N.P., Kholeif, S.E.A., Sapelko, T. & Filipova-Marinova, M. 2011. Nonpollen palynomorphs: indicators of salinity and environmental change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean corridor. *In: Buynevich IV, Yanko-Hombach V, Gilbert AS and Martin RE (eds). Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis*. Geological Society of America Special Paper 473, p. 89–115.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1992. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições taxonômicas, parte I: fungos, algas, briófitos, pteridófitos, palinóforos outros e fragmentos de invertebrados. *Acta Geologica Leopoldensia*, 15: 83-114.
- Nimer, E. 1990: Clima. *In: Geografia do Brasil: Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE. Vol 2. p. 151-187.
- Quattrocchio, M.E., Borrromei, A.M., Deschamps, C.M., Grill, S.C. & Zavala, C.A. 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): Evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quaternary International*, 181: 123-138.
- Richards, K., Bolickhoavkaya, N.S., Hoogendoorn, R.M., Kroonenberg, S.B., Leroy, S.A.G. & Athersuch, J. 2014. Reconstructions of deltaic environments from Holocene palynological records in the Volga delta, northern Caspian Sea. *The Holocene*, 24(10): 1226–1252.
- Salgado-Labouriau, M.L. 1973. *Contribuição à palinologia dos cerrados*. São Paulo, Edgar Blücher, 387p.
- Salgado-Laboriau, M.L. 2007. *Crítérios e técnicas para o Quaternário*. São Paulo, Edgard Blucher, 387p.
- Slompo, C.T.J. 1997. Estudo palinológico dos sedimentos do Mangue do Itacorubi, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, 45: 67-79.

- Stancliffe, R.P.W. 1996. Chapter 13 Microforaminiferal linings. In: Jansonius, J. & MC GREGOR, D.C. (Ed.). *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v.1, p.293-305.
- Stockmarr, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13: 615-621.
- Strohaecker, T.M. 2008. Dinâmica populacional. In: Zamboni A and Nicolodi JL (Org), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, Brasília: MMA, p. 59-73.
- Suguo, 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*, 15(4): 273-286.
- Tappan, H. 1980. *Palaeobiology of plant protists*. San Francisco, Freeman, 1028p.
- Traverse, A. 2007. *Paleopalynology*. Dordrecht, Springer, 813p.
- Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary Organic Matter: organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall, London. p. 615.
- Val, C. 2015. *Ocupação pré-histórica e mudanças paleoambientais na planície costeira sul-catarinense: abordagem integrada com base em dados palinológicos*. Vila Real, Portugal, 147p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto Politécnico de Tomar, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Van Gell, B. & Grenfell, H.R. 1996. Chapter 7A. Spores of *Zignemataceae*. In: Jansonius, J.; MC Gregor, D.C. (Ed.). *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. v. 1, p. 259-288.
- Viana, D.R. 2009. *Comportamento espaço temporal da precipitação na região sul do Brasil utilizando dados TRMM e SRTM*. 162 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Vilanova, I., Prieto, A.R. & Espinosa M. 2006. Palaeoenvironmental evolution and sea-level fluctuations along the southeastern Pampa grasslands coast of Argentina during the Holocene. *Journal of Quaternary Science*, 21(3): 227-242.

- EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina). 2002. Atlas climatológicos do estado de Santa Catarina. Dados e informações biofísicas da unidade de planejamento regional sul catarinense-UPR7. 2002.
- Willcock, J.A. 1994. A costa brasileira: geologia e evolução. *Notas Técnicas*, 7: 38-49.
- Ybert, J.P., Salgado-Labouriau, M.L, Barth, O.M., Lorscheitter, M.L., Barros, M.A., Chaves, S.A.M., Luz, C.F.P., Ribeiro, M., Scheel, R. & Vicentini, K.F. 1992. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do Quaternário. *Boletim Instituto de Geologia da Universidade de São Paulo*, São Paulo, 13(2): 47-49.

ANEXO I

ANEXO Ia. Carta de recebimento do artigo "*Paleoenvironmental evolution of the coastal plain of southern Brazil: Palynological data from a Holocene core in Santa Catarina state*" submetido na revista Anais da Academia Brasileira de Ciências

Annals of the Brazilian Academy of Sciences - Manuscript ID AABC-2016-0895

Anais da Academia Brasileira de Ciências

20 de dezembro de 2016

<onbehalf+dlopes+abc.org.br@manuscriptcentral.com>

16:58

Responder a: dlopes@abc.org.br

Para: lidiaak.lak@gmail.com

Cc: lidiaak.lak@gmail.com, paulo.alves.souza@ufrgs.br, rodrigocancelli@gmail.com, wagner.guimaraes.silva@gmail.com, macedorb@yahoo.com

20-Dec-2016

Dear Miss Kuhn:

Your manuscript entitled "PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: PALYNOLOGICAL DATA FROM A HOLOCENE CORE IN SANTA CATARINA STATE" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Annals of the Brazilian Academy of Sciences.

Your manuscript ID is AABC-2016-0895.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences.

Sincerely,

Annals of the Brazilian Academy of Sciences Editorial Office

ANEXO Ib. Carta de aceite e revisão do artigo "*Paleoenvironmental evolution of the coastal plain of southern Brazil: Palynological data from a Holocene core in Santa Catarina state*" submetido na revista Anais da Academia Brasileira de Ciências.

Annals of the Brazilian Academy of Sciences - Decision on Manuscript ID AABC-2016-0895

Anais da Academia Brasileira de Ciências <onbehalfof+editor-in-chief+abc.org.br@manuscriptcentral.com>
Responder a: editor-in-chief@abc.org.br
Para: lidiaak.lak@gmail.com

5 de janeiro de 2017
18:26

05-Jan-2017

Dear Miss Kuhn:

Manuscript ID AABC-2016-0895 entitled "PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTHERN BRAZIL: PALYNOLOGICAL DATA FROM A HOLOCENE CORE IN SANTA CATARINA STATE" which you submitted to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences, has been reviewed. The comments of the reviewer(s) are included at the bottom of this letter.

The reviewer(s) have recommended publication, but also suggest some minor revisions to your manuscript. Therefore, I invite you to respond to the reviewer(s)' comments and revise your manuscript.

To revise your manuscript, log into <https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo> and enter your Author Center, where you will find your manuscript title listed under "Manuscripts with Decisions." Under "Actions," click on "Create a Revision." Your manuscript number has been appended to denote a revision.

You may also click the below link to start the revision process (or continue the process if you have already started your revision) for your manuscript. If you use the below link you will not be required to login to ScholarOne Manuscripts.

*** PLEASE NOTE: This is a two-step process. After clicking on the link, you will be directed to a webpage to confirm. ***

https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo?URL_MASK=be7b6d0bc24743388b3d9d81333c0ab3

You will be unable to make your revisions on the originally submitted version of the manuscript. Instead, revise your manuscript using a word processing program and save it on your computer. Please also highlight the changes to your manuscript within the document by using the track changes mode in MS Word or by using bold or colored text.

Once the revised manuscript is prepared, you can upload it and submit it through your Author Center.

When submitting your revised manuscript, you will be able to respond to the comments made by the reviewer(s) in the space provided. You can use this space to document any changes you make to the original manuscript. In order to expedite the processing of the revised manuscript, please be as specific as possible in your response to the reviewer(s).

IMPORTANT: Your original files are available to you when you upload your revised manuscript. Please delete any redundant files before completing the submission.

Because we are trying to facilitate timely publication of manuscripts submitted to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences, your revised manuscript should be submitted by 05-Feb-2017. If it is not possible for you to submit your revision by this date, we may have to consider your paper as a new submission.

Once again, thank you for submitting your manuscript to the Annals of the Brazilian Academy of Sciences and I look forward to receiving your revision.

Sincerely,
Dr. Alexander Kellner
Editor-in-Chief, Annals of the Brazilian Academy of Sciences
editor-in-chief@abc.org.br

Associate Editor

Comments to the Author:
Please make sure that you revise the language before submission of a new version.

Entire Scoresheet:
Reviewer: 1

Recommendation: Accept

Comments:

Eu considero o trabalho muito importante, bem escrito e fundamentado que contribuirá para o conhecimento da palinologia de Santa Catarina. Tenho algumas sugestões que podem ser consideradas.

* A subdivisão da Fase I em duas, parece que tem maior relação com uma tendência forte de diminuição (subfase Ia) e aumento (Subfase Ib) das algas, elemento mais importante. Obviamente os elementos marinhos são importantes.

*Eu tenderia dividir a seção em três fases (o dendrograma mostra isso): Fase I (Ia) – tendência de diminuição de fluxo de água doce acompanhada de aumento significativo de elementos marinhos- FASE MARINHA. Fase II (Ib) – aumento de input de água doce, porém com presença de elementos marinhos – FASE TRANSICIONAL. Fase III (II) – ausência de elementos marinhos, diminuição drástica de elementos aquáticos (algas) e aumento de elementos terrígenos- FASE CONTINENTAL

* mesmo com controvérsias, faria uma interpolação linear para ter uma ideia das idades de cada amostra, bem como da taxa de sedimentação.

* Sugiro um gráfico ternário dividido por fases para ilustrar "Continental terrestres—Algas—marinhos .

Additional Questions:

Does the manuscript contain new and significant information to justify publication?: Yes

Does the Abstract (Summary) clearly and accurately describe the content of the article?: Yes

Is the problem significant and concisely stated?: Yes

Are the methods described comprehensively?: Yes

Are the interpretations and conclusions justified by the results?: Yes

Is adequate reference made to other work in the field?: Yes

Is the language acceptable?: Yes

Please rate the priority for publishing this article (1 is the highest priority, 10 is the lowest priority): 3

Length of article is: Adequate

Number of tables is: Adequate

Number of figures is: Adequate

Please state any conflict(s) of interest that you have in relation to the review of this paper (state "none" if this is not applicable).: none

Rating:

Interest: 1. Excellent

Quality: 1. Excellent

Originality: 2. Good

Overall: 1. Excellent

ANEXO II

**PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF THE COASTAL PLAIN OF
SOUTHERN BRAZIL: PALYNOLOGICAL DATA FROM A HOLOCENE CORE IN
SANTA CATARINA STATE**

Lidia Aumond Kuhn - Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. lidiaak.lak@gmail.com; Telephone: 55 (51) 3308-7386.

Paulo Alves de Souza - Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil, E-mail: paulo.alves.souza@ufrgs.br; Telephone: 55 (51) 3308-7386.

Rodrigo Rodrigues Cancelli - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. rodrigocancelli@gmail.com.

Wagner Guimarães da Silva - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS, Campus Osório, Rua Santos Dumont, 2127, 95520-000 Osório, RS, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. wagner.guimaraes.silva@gmail.com; Telephone: 55 (51) 3308-7386.

Renato Backes Macedo - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. macedorb@yahoo.com; Telephone: 55 (51) 3308-7386

ABSTRACT

This paper presents a paleoenvironmental reconstruction from palynological analyses of a sedimentary core of Holocene age, drilled at municipality of Garopaba (Santa Catarina), southern Brazil. A total of 46 samples was collected for palynological analyses in the 450 cm-long core PCSC-3, as also three samples for radiocarbon dating and granulometric analyses. The palynological content includes 84 taxa related to pollen grains of angiosperms (46) and gymnosperm (3), spores of pteridophyta (16) and bryophyta (2), spores of fungi (8), algae (3), acritarchs (3), dinoflagellate cysts (2) and microforaminiferal linings (1). Three specimens of acritarchs are described and illustrated in detail. Three palynological phases were defined based on changes in assemblages: Phase I, Phase II and Phase III. The Phase I is characterized as a lagoonal paleoenvironment with marine influence from the beginning of the sedimentation (5390 cal yr BP), based on occurrences of acritarchs, dinoflagellate cysts and microforaminiferal linings. The Phase II (3032 yr BP until 858 cal yr BP) also is characterized by a lagoonal paleoenvironment, however presented decrease in percentage of marine elements and increase in freshwater algae record, suggesting less marine influence in the lagoonal body. In Phase III (last 856 years), underwater sedimentation prevailed, under swamp-like conditions.

Key words: coastal plain, environmental evolution, Holocene, palynology, Santa Catarina

INTRODUCTION

The paleoclimatic variations and the sea level oscillations modelled the coastal areas worldwide in the Quaternary, resulting in significant sedimentary changes on the southern Coastal Plain of Brazil. The sedimentary deposits formed during this time span comprise coastal plain important records on the evolution of southern of Brazil, providing data set for local and regional analysis of the geological and vegetational history. In recent years, the Coastal Plain of Santa Catarina has shown an intense human occupation, resulting in negative impacts on the natural scenery, especially near the coastline (Strohaecker 2008).

Several palynological studies in southern and southeastern Brazil based on palynomorph analysis have demonstrated the coastal environmental changes in response to Holocene sea-level variation (De Oliveira et al. 2005). However, little is known about the paleoenvironmental history of Santa Catarina Coastal Plain (e.g., Slompo 1997, Behling and Negrelle 2001, Amaral et al. 2012), when compared to nearby areas, especially Rio Grande do Sul (see summary in Bauermann et al. 2009) and Rio de Janeiro states (e.g., Luz et al. 2006, Freitas and Carvalho 2012, Souza et al. 2016). Palynological data constitute an important tool for paleoclimatic, paleoecological and paleoenvironmental analysis because microfossil assemblages present high potential of preservation. Microfossils are generally abundant in pelitic deposits, and are distributed in a wide variety of habits and habitats, within marine and transitional to continental basins. Thus, the record of certain marine palynomorphs and the analysis of their frequency and relative abundance in comparison with continental palynomorphs are commonly used as proxies for the delimitation of transgressive and regressive sea level events. This has been done for Brazilian (e.g., Cordeiro and Lorscheitter 1994, Behling and Negrelle 2001, De Oliveira et al. 2005, Meyer et al. 2005a, 2005b), southern South American (e.g., Vilanova et al. 2006, Borremei and Quattrocchio 2007, Quattrocchio et al. 2008, Mourelle et al. 2015) and other continents (e.g., de Vernal and Giroux 1991, de Vernal 2009, Mudie et al. 2011, Richards et al. 2014), in many cases

integrated with other tools of analysis, such as the sedimentology and geochronological calibration.

This study presents the results of a palynological analysis performed from the 450 cm-long core PCSC-3 collected in the Coastal Plain of Santa Catarina. A paleoenvironmental model is proposed for the last 5390 cal yr BP, based on the palynological associations, mainly taxa of spore-pollen, algae cysts, dinoflagellate cysts, microforaminiferal linings and acritarchs.

STUDY AREA

This study was performed on a peat deposit (PCSC-3) located in Garopaba (coordinates 28°02'11.95"S; 48°37'41.73"W), Santa Catarina state, southern Brazil, about 70 km from the state capital and ca. 2 km from the Atlantic Ocean coastline (Fig. 1).

The Coastal Plain of Santa Catarina has two main geological units: the Basement (Precambrian, Paleozoic and Mesozoic units) to the west, and the Pelotas and Santos sedimentary marginal basins (Cretaceous to Quaternary) to the east. The municipality of Garopaba is in the onshore portion of the Pelotas Basin. The basement is composed of Precambrian rocks of the Catarinense Shield, and Paleozoic and Mesozoic sedimentary rocks, including Jurassic/Cretaceous magmatic rocks of the Serra Geral Formation (Diehl and Horn Filho 1996) of the Paraná Basin. The marginal sedimentary deposits comprise continental systems, corresponding to colluvial deposits, alluvial and fluvial fans, in the higher portions. The coastal system has the barrier-lagoon system, and comprises Pleistocene and Holocene deposits associated with the relative sea level variations developed during the Quaternary (Horn Filho 2003).

The climate of Santa Catarina state, similar to the entire southern Brazil, is influenced by the South Atlantic Anticyclone and the Polar Migratory Anticyclone. The South Atlantic Anticyclone produces the tropical warm and humid air masses, which predominate during

spring and summer, while the Polar Migratory Anticyclone is more active during the autumn and winter, producing the Atlantic polar mass, which is characterized by low temperatures (Nimer 1990). The climate of Coastal Plain of Santa Catarina is tropical humid (Cfa) in the Köppen classification, with maximum average temperature of more than 22°C, minimum average between -3 and 18°C, and rains distributed evenly along the year (Alvares et al. 2013).

The Atlantic Forest biome covers the entire Santa Catarina state, and forms fragments of dense ombrophylous forest and a mixed ombrophylous forest (Araucaria forest), integrating the Atlantic Forest. This forest is composed of areas of deciduous forest, steppe (altitude fields) and pioneering formations, such as mangroves and “restingas” (MMA/SBF 2010). In the most internal portion, the dense ombrophylous forest dominates in Santa Catarina, characterized by an ombrophilous climate with no dry period during the year and average temperatures between 22°C and 25°C (IBGE 2004). A “restinga” ecosystem lies along the coast, in the river plains and around alluvial depressions (marshes, lakes and lagoons). This vegetation is conditioned by edaphic factors of first occupation character, where the soils are renewed by successive deposition of marine sand (IBGE 2012).

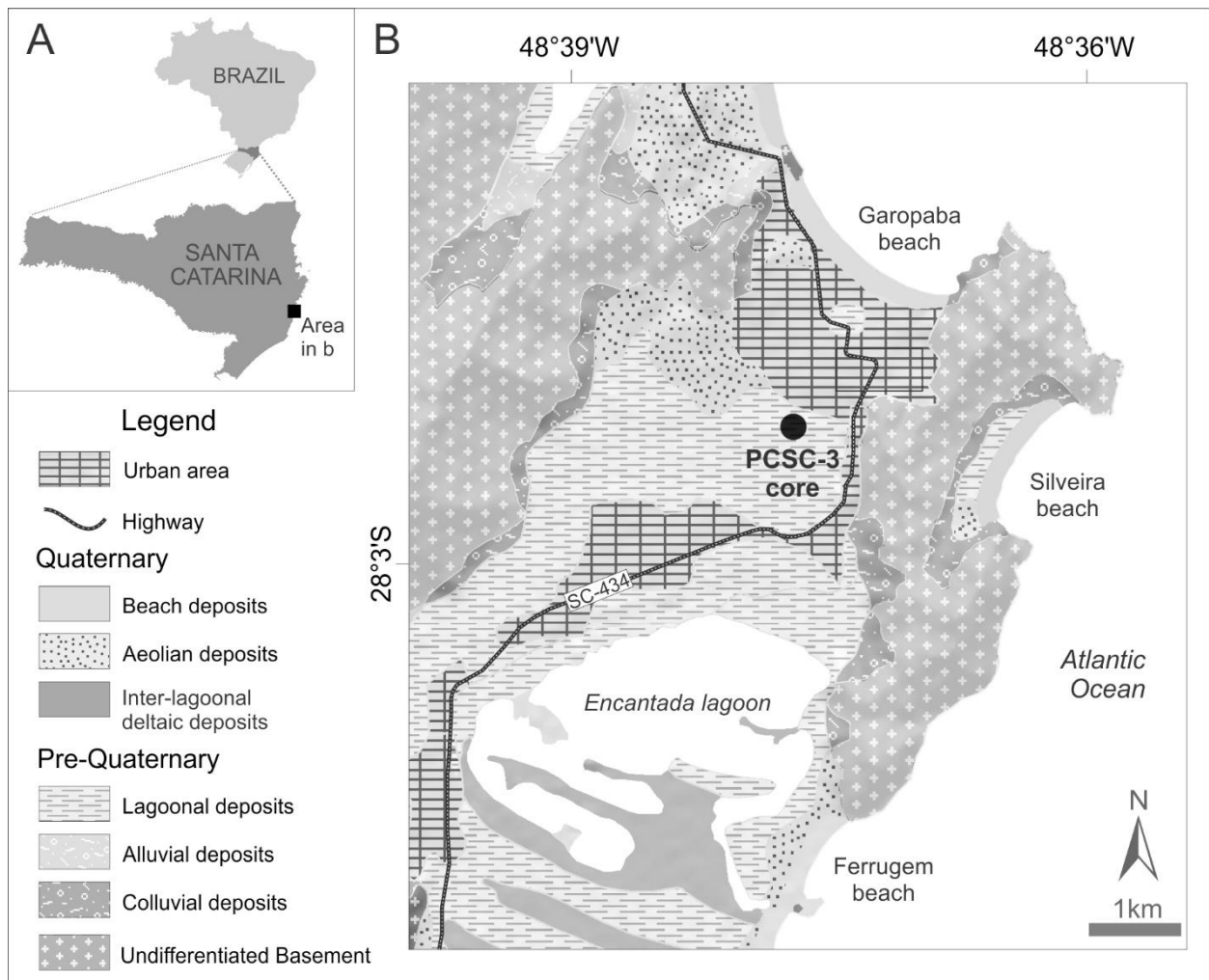


Figure 1. General location of Santa Catarina in Brazil (A), the PCSC-3 core (Garopaba municipality), (B) including the main Quaternary and pre-Quaternary deposits (modified from Horn Filho et al. 2012).

MATERIALS AND METHODS

SAMPLING AND PALYNOLOGICAL PREPARATION

The 450 cm-long core PCSC-3 is constituted by fine silts and sands rich in organic matter and was collected using a Russian Peat Borer. The core wrapped in plastic and aluminum film, taken to the laboratory and stored under refrigeration. All processing techniques were performed in the Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LPMMT/IG/UFRGS). Sampling of the core was at 10 cm spacing, totalling 46 samples of 1 cm³ each. The samples were submitted to the standard techniques of preparation for pollen analyses of Quaternary sediments (Ybert et al. 1992), modified by using sequentially HF, HCl, KOH, acetolysis, and followed by filtering through a 250 µm mesh sieve. One tablet containing spores of

Lycopodium clavatum L. (18.584 ± 371 spores) was added to each sample to control processing and pollen concentration (Stockmarr 1971). Four permanent slides of each sample were prepared using Entellan, presently housed in the stratigraphical slide collection of the LPPMT/IG/UFRGS under code “MP-P”.

GRANULOMETRY AND RADIOCARBON DATING

Granulometrical analysis were made of 16 samples selected along the core, using the Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950, of the Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos (CECO/IGeo/UFRGS). Radiocarbon dating of three selected samples were done at the CAIS Laboratory of the University of Georgia (USA), using Accelerator Mass Spectrometry (AMS). Calibration of radiocarbon dating used the program CALIB Radiocarbon Calibration version 7.1 (Stuiver et al. 2016), considering the “The Southern Hemisphere SHCal13 radiocarbon calibration curve” (Hoog et al. 2013). Interpolated ages were calculated using linear interpolation on Tilia software version 1.7.16.

PALYNOLOGICAL ANALYSIS

A minimum of 300 pollen grains were counted for each sample, whenever possible. When not possible, quantitative analysis was finalized after reaching the count of 300 spores of *L. clavatum*. Levels with less than 300 pollen grains were also considered for the percentage and cluster analysis. The taxonomic determinations of palynomorphs retrieved were performed by comparison with modern equivalents in pollen reference collections (“MP-Pr” slides of the LPMMT/IGeo/UFRGS) and by comparison with specialized literature of Quaternary palynology, mainly those from South America (e.g., Hooghiemstra 1984, Neves and Lorscheitter 1992, Herrera and Urrego 1996, Lorscheitter et al. 1998, Colinvaux et al. 1999, Borel and Gómez 2006, Leal and Lorscheitter 2006, Macedo et al. 2009, Cancelli et al. 2012).

Percentage diagram and cluster analyses were constructed using the Tilia versions 1.7.16 (Grimm 2011). The low concentration of pollen grains did not allow the plot of percentages of "pollen sum". Thus, a total sum of palynomorphs (100%) was calculated for each level, including pollen grains, spores of bryophyta and pteridophyta, fungi, algae, acritarchs, dinoflagellate cysts and microforaminiferal linings. The calculation of the percentage of each group was performed using the total sum of palynomorphs. The results of analyses of palynomorphs are presented in percentage diagrams.

RESULTS

SEDIMENTOLOGY AND RADIOCARBON DATA

The studied core consists of unconsolidated sediments composed by intercalations of fine silt and fine sand layers, of variable thickness (Fig. 2), rich in organic matter. Between 450 and 275 cm, the sediments are predominately grey, and between 275 and 125 cm they are dark. Completely decomposed organic material occurs from the base to 125 cm of depth, while between 125 and 40 cm, sediments are dark brown with a mixture of decomposed organic matter and roots. The uppermost 40 cm are composed of dark brown sediments with abundant plant debris, mainly modern roots.

Three radiocarbon dates from the 450 cm-long core yield chronological control. The results of the AMS radiocarbon dating are presented in Table 1, showing that the deposition of the studied core occurred entirely in the late middle Holocene. The lowermost level (430 cm) has the age 5390 cal yr BP, while the sample at 360 cm depth was dated at 3756 cal yr BP. The uppermost level (80 cm depth) revealed an age of 858 cal yr BP. Figure 2 shows the detailed grain size variation and the location of samples extracted for palynological analyses and radiocarbon dating.

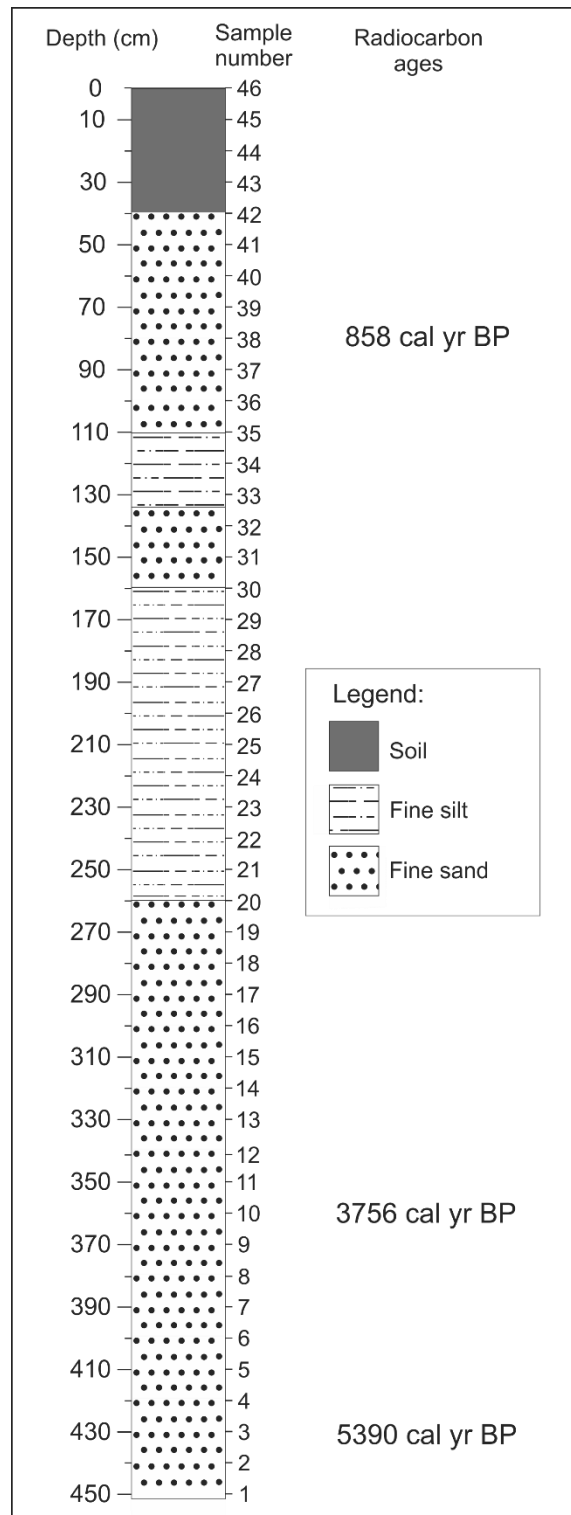


Figure 2. Schematic sedimentary column of the PCSC-3 core showing the grain size variation, location of samples extracted for palynological analyses.

Table 3. Radiocarbonic and calibrated ages of selected samples from the PCSC-3 core.

Sample number*	Depth (cm)	Age (^{14}C yr BP)	Calibrated age
			(cal yr BP) probability average
UGAMS#26651 (38)	80	1010 \pm 26	858
UGAMS#26650 (10)	360	3520 \pm 25	3756
UGAMS#26539r (3)	430	4650 \pm 25	5390

*Serial number of CAIS Laboratory of University of Georgia and our number control (in parenthesis).

FOSSIL POLLEN RECORD

Among the 46 samples, only three (samples 1, 2 and 43) were considered barren in palynomorphs, and thus discarded for analysis. A total of 84 distinct palynomorphs was identified from the other samples, including taxa of angiosperms (38), gymnosperms (3), spores of pteridophytes (8), bryophytes (2) and fungi (8), algae (3), acritarchs (3), dinoflagellate cysts (2), microforaminiferal linings (1), as well as 16 unknown types of spores and pollen grains (Table 2).

Along the core, the palynological diagrams show the distribution of palynomorphs, grouped according to their ecological affinities (habit or habitat). Three palynological phases are defined (Fig. 3) from changes in the palynomorph assemblages: Phase I, Phase II and Phase III. These are described in sequence in ascending stratigraphical order. The main criteria for the establishment of the phases are the relationship between terrestrial, aquatic and marine elements (Fig.4). Three taxa are referred to as open nomenclature among the acritarchs as described and illustrated herein (Fig. 5) due to their importance for paleoenvironmental interpretations and comparisons with other palynological assemblages.

Phase I (5390 cal yr BP- 3135 yr BP)

This phase is the basal portion of the core, including samples 3 to 16 (430 to 295 cm of depth). Aquatic macrophytes are present (0.6%) with only one taxa (*Myriophyllum*

aquaticum). The pollen record of herbs represents 0.4 to 16.5% of the total palynomorphs, highlighting *Amaranthus*/Chenopodiaceae, Poaceae, Oxalidaceae *Asteraceae* subf. Cichorioideae, *Asteraceae* subf. Asteroideae. Trees and shrubs have a varied occurrence (0.2-29.7%), especially *Ilex*, Arecaceae, *Alchornea* and Myrtaceae, followed by *Sebastiania*, *Celtis*, Proteaceae, *Trema micrantha*, *Mimosa* serie Lepidotae, including species with only one occurrence: *Allophylus*, *Dodonaea viscosa*, *Faramea*, *Lithraea* and *Matayba*. Regional (1.3%) and extraregional flora (0.4%) are present at this phase, with occurrence of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ephedra tweediana* C.A. Mey., *Alnus* Mill. and *Nothofagus* Blume. Spores of mosses have low frequency (<1.3%); spores of fern are more frequent (0.5-21.1%), comprising Polypodiaceae, *Blechnum*, *Cyathea* and *Dicksonia*. A high percentage of algae is observed (between 8.3-95.5%), especially dominated by *Botryococcus*. Fungi spores are also abundant in this phase (2.1-51.9%). Marine palynomorphs are represented by microforaminiferal linings, cysts of dinoflagellate cysts (*Operculodinium* sp. and *Spiniferites* sp.) and acritarchs (*Micrhystridium* sp., *Acritarch* sp. 1 and *Acritarch* sp. 2) which are well recorded, especially in samples 8 and 12 (380 and 340 cm of depth), reaching up to 18%.

Phase II (3032 yr BP- 858 cal yr BP)

This phase comprises 21 samples (295 to 85 cm of depth). Percentages of pollen from aquatic plants are also low, with the occurrence of only one species (*Myriophyllum*). This phase is characterized by decrease of herb pollen (0.8-11.5%) and by a relative increase of pollen sum of forest taxa (0.5-46.1%), when compared to the Phase I. Herbs pollen are represented mainly by Poaceae, *Asteraceae* subf. Asteroideae, *Asteraceae* subf. Cichorioideae, *Amaranthus*/Chenopodiaceae, as well as other less frequent taxa, such as Apiaceae, Cyperaceae, *Gomphrena*, Oxalidaceae and others with only one occurrence: *Cuphea*, Rubiaceae and *Utricularia*. Tree and shrub pollen are mainly recorded by *Ilex*, Myrtaceae, Arecaceae, *Sebastiania*, *Alchornea* and other less representative taxa, such as

Celtis, *Lithraea*, *Mimosa* serie Lepidoteae, *Myrsine*, *T. micrantha* and others with first appearance in the core: Ericaceae, Mimosoideae, *Podocarpus* and *Sapium*. Regional (*A. angustifolia* and *E. tweediana*) and extraregional (*Alnus*) flora taxa are also present, reaching up to 0.9 and 0.2%, respectively. Epiphyte pollen are recorded, despite the low occurrence (<4.2%). Although the record of spore mosses increases in the section (1.5%), they have a irrelevant account. Spores of pteridophytes reach up to 1.3-14%. Polypodiaceae, *Blechnum*, *Cyathea* and *Dicksonia* were also recorded and other ones occurred for the first time in the core (*Huperzia* and Pteridaceae). The high percentage of algae (12.7-94.4%) and fungi (0.7-46.5%) persists in this phase. Marine elements decrease (<3.3%), represented by all taxa recorded in the Phase I.

Phase III (858 cal yr BP until the present)

This phase was recognized from eight samples between 85 cm of depth to the top of the core. The aquatic macrophytes have only one taxa in the register (*Polygonum*). This phase is marked by the increase of herb pollen (5.9-22.7%), represented by *Asteraceae* subf. Asteroideae, *Asteraceae* subf. Cichorioideae, Poaceae other less frequent taxa, such as Apiaceae, Cyperaceae, *Amaranthus*/Chenopodiaceae, *Gomphrena* and Malvaceae. Tree and shrub pollen are also recorded in high percentages (reaching 44.8% in the sample from the top of the core), mainly represented by *Ilex*, Ericaceae, Myrtaceae, Arecaceae and *Myrsine*. Other forest taxa, such as *D. brasiliensis*, *Alchornea*, Mimosoideae, *Podocarpus*, *Sebastiania*, Proteaceae and *Sapium* also occur in lower proportions. Epiphytic taxa reach 26.9%, with the occurrence of Cucurbitaceae. Moss spores increase (<9.1%), with the presence of *Sphagnum* and *Phaeoceros*, as well as fern spores (1.2-26.9%), mainly represented by Polypodiaceae and *Blechnum*; *Dicksonia*, *Osmunda* and *Cyathea*. Algae taxa show a marked decrease at this phase (<15.8%), while fungi spores present high percentage (13.5-71%); marine palynomorphs were not detected.

Table 4. Palynomorphs identified in the PCSC-3 core according to their habitat and habit.

Habitat our habit of groups	Taxa
Macrophytes aquatic	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verd., <i>Polygonum</i> L.
Herbs	<i>Amaranthus</i> /Chenopodiaceae, Apiaceae, Asteraceae subf. Asteroideae, Asteraceae subf. Cichorioideae, <i>Cuphea</i> P. Browne, Cyperaceae, <i>Gomphrena</i> L., Lamiaceae, Malvaceae, Oxalidaceae, Poaceae, Rubiaceae, <i>Utricularia</i> L.
Trees and shrubs	<i>Alchornea</i> Sw., <i>Allophylus</i> L., Arecaceae, <i>Celtis</i> L., <i>Dodonaea viscosa</i> Jacq., <i>Drymis brasiliensis</i> Miers., Ericaceae, <i>Faramea</i> Aubl., <i>Ilex</i> L., <i>Lithraea</i> Miers ex Hook. & Arn., <i>Matayba</i> Aubl., Mimosoideae, <i>Mimosa</i> serie Lepidotae Benth., <i>Myrsine</i> L., Myrtaceae, <i>Podocarpus</i> L' Hér. ex Pers., Proteaceae, <i>Sapium</i> Jacq., <i>Sebastiania</i> Spreng., <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume.
Epiphytes	Cucurbitaceae, <i>Tripodanthus acutifolius</i> (Ruiz & Pav.) Tiegh.
Bryophytes and Pteridophytes	<i>Phaeoceros</i> Prosk., <i>Sphagnum</i> L., Aspleniaceae/Dryopteridaceae, <i>Blechnum</i> L., <i>Cyathea</i> J. Sm., <i>Dicksonia</i> L' Hér, <i>Huperzia</i> Bernh., <i>Osmunda</i> L., Polypodiaceae, Pteridaceae.
Marine palynomorphs	<i>Operculodinium</i> Wall, 1967, <i>Spiniferites</i> Mantell, 1850, <i>Micrhystridium</i> (Deflandre) emend. Serjeant & Stancliffe 1994, <i>Acritarch</i> sp. 1, <i>Acritarch</i> sp. 2, Microforaminiferal linings.
Algae	<i>Botryococcus</i> Kütz., <i>Pseudoschizaea rubina</i> Rossignol ex Christopher, <i>Spirogyra</i> Link.

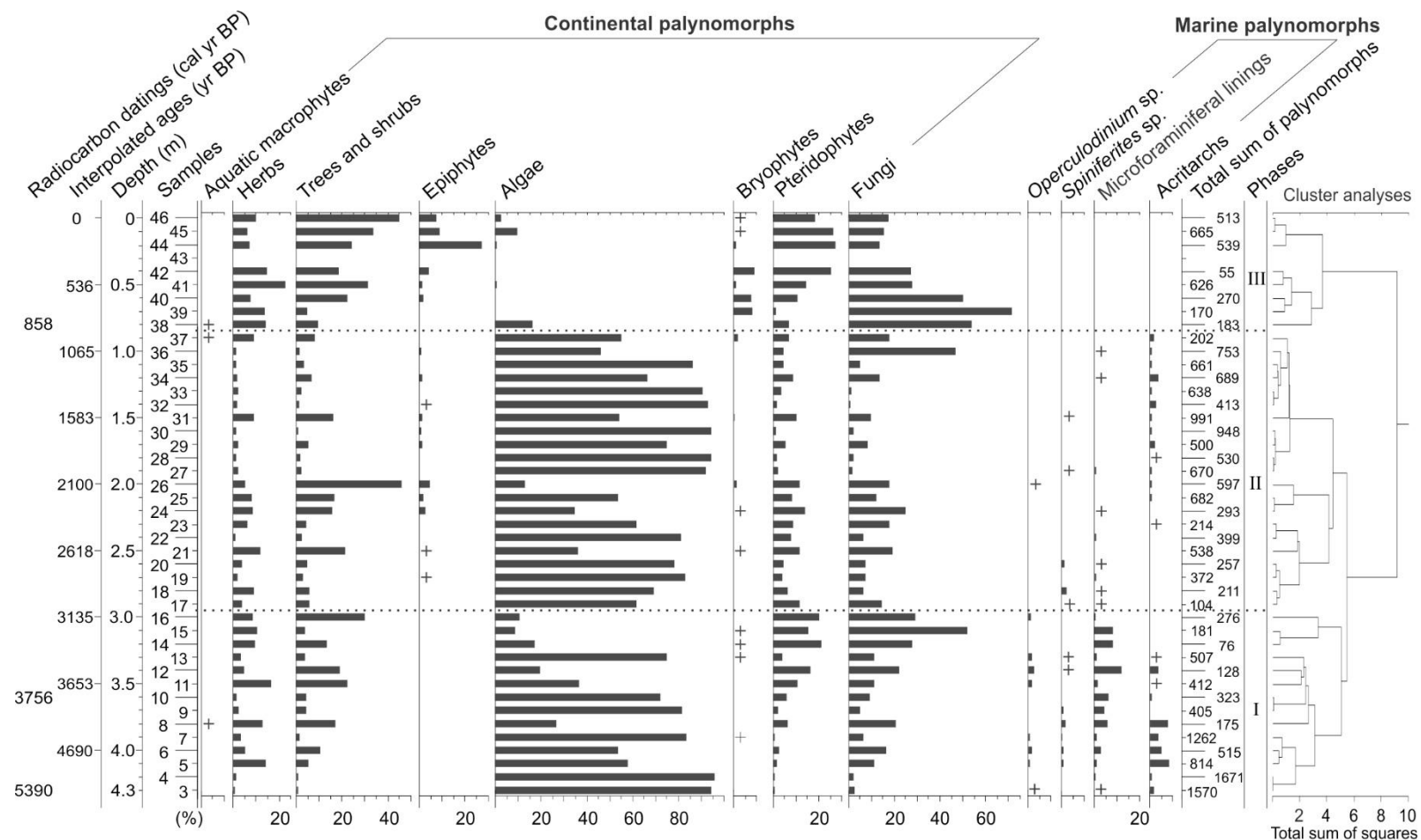


Figure 3. Percentage diagram of the palynomorphs grouped according to their ecological affinities (habit or habitat) from the PCSC-3 core, as well as the identified phases and cluster analysis. The symbol (+) represents an occurrence of palynomorphs.

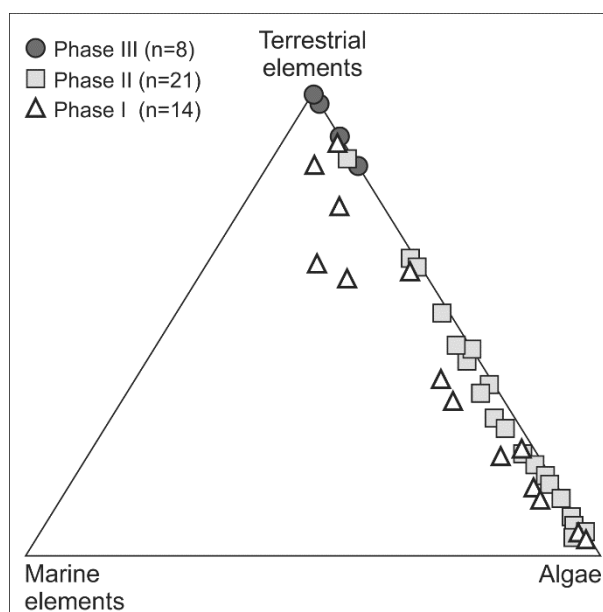


Figure 4. Samples divided by phases shown on ternary diagram with main palynomorphs groups (terrestrial elements: spore-pollen taxa and fungi; marine elements: dinoflagellate cysts, acritarchs and microforaminiferal linings; algae: *Botryococcus*, *Spirogyra* and *Pseudoschizaea rubina*).

SYSTEMATIC PALYNOLOGY

Group ACRITARCHA Evitt, 1963

Genera *Micrhystridium* (Deflandre) *emend.* Serjeant & Stancliffe 1994

Micrhystridium sp.

(Figure 4.A and 4.B)

Description (20 specimens measured): Hyaline and spheroidal palynomorphs; overall diameter: 10-14 μm , exine thickness: 1 μm , spine: 1 μm of height. Some specimens show small openings in the form of a straight breach.

Comparisons: Cancelli et al. (2012) identified specimens assigned to the genera *Micrhystridium* from Holocene sediments of the southern coast of Santa Catarina, described with the same shape and ornamentation; however those taxa show slightly larger size (ca. 18 μm of diameter). In Rio Grande do Sul, Neves and Bauermann (2003) described certain specimens of *Micrhystridium* as having globular cysts, hyaline and with tiny spines, but the specimens also present differences in the range of overall diameter (18 to 22 μm). Several

studies from the Coastal Plain of Rio Grande do Sul record the genera *Michrystidium* from Holocene deposits. However, the available descriptions are illustrated in some cases but are insufficient for a deeper comparison (e.g. Cordeiro and Lorcheitter 1994; Medeanic et al. 2000a, 2001, 2007, 2009, 2010; Medeanic 2006a, 2006b; Neves and Bauermann 2001; Weschenfelder et al. 2008).

The genus *Michrystidium* has been also found in Holocene sediments in Uruguay (Mourelle et al. 2015) and in Argentina (Borel and Gómez 2006, Borel 2007). Borel and Gómez (2006) described a taxon with the same characteristics as found in our material, named as *Michrystidium* sp., with 0.5-1 μm of exine thickness, spines of 1-2 μm of height and 9-19 μm of overall diameter, as well as openings in tear forms in some species.

***Acritarch* sp. 1**

(Figure 4.C)

Description (six specimens measured): Hyaline, thick walled and spheroidal palynomorphs; overall diameter: 12-15 μm , exine thickness: 1.5-2 μm , spine: 1 μm of height.

Comparisons: Medeanic et al. (2010) identified similar specimens to this species from a Holocene deposit in Rio Grande do Sul, named as *Michrystidium*. However, a more precise analysis is limited due to the absence of description and the poor quality of the photomicrograph.

***Acritarch* sp. 2**

(Figure 4.D and 4.E)

Description (20 specimens measured): Hyaline, psilate ornamentation and spheroidal palynomorphs; overall diameter: 10-14 μm , exine thickness: 1 μm , spine: 1 μm of height. Some specimens show small openings in the form of straight tear.

Comparisons: Specimens similar to *Acritarch* sp. 2 were recorded by Borel and Gómez (2006) and Borel (2007) from Holocene sediments in Argentina. These similar specimens were identified as *Acritarch* sp. F, described as spheroidal, thick-walled palynomorphs, psilate, with some species showing tear-shaped openings. According to Borel and Gómez (2006), in their life cycle, some species (*Pyramimonas*) of freshwater algae or tidal environments form small benthic spores with morphology similar to these acritarchs.

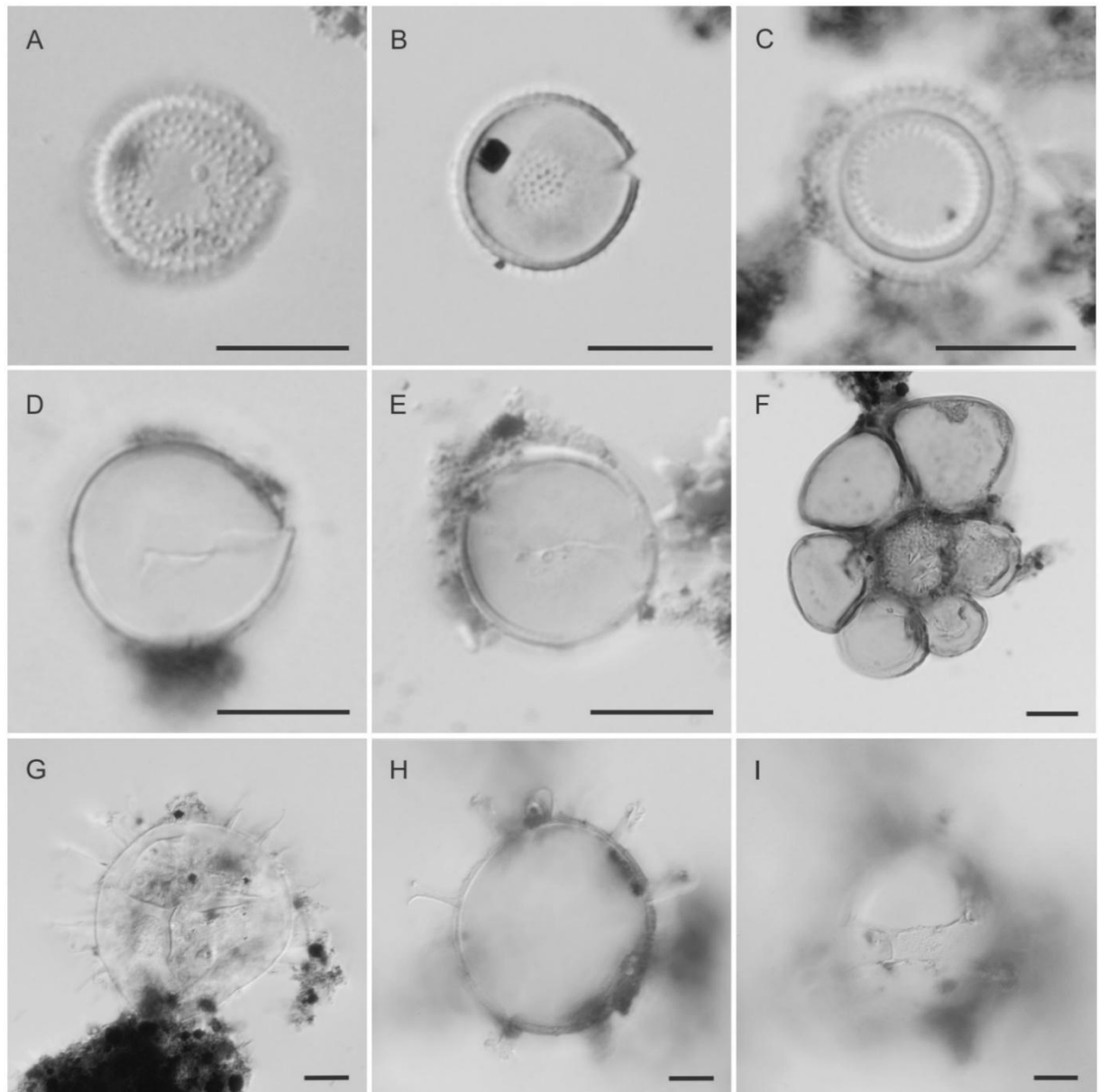


Figure 5. Photomicrographs of marine palynomorphs retrieved from the PCSC-3 core. A-B: *Michrhystridium* sp. (Slide MPP-9981, England Finder coordinate N41-1); (A: high focus, B: intermediate focus); C: *Acritarch* sp. 1 (MPP-9937, T51-2); D-E: *Acritarch* sp. 2 (MPP-9981, U39-3 and D44-1); F: Microforaminiferal linings (MPP- 9976, U43); G: *Operculodinium* sp. (MPP-9972, F65); H-I: *Spiniferites* sp. (MPP-9982, P38-4); (H: intermediate focus and I: high focus). Scale = 10 μ m.

DISCUSSION

The results obtained from the palynological analysis of the core indicate paleoenvironmental changes during the late Middle Holocene to the Recent, represented by three phases. Phase I (5390 cal yr BP – 3135 yr BP) is marked by the presence of marine palynomorphs, suggesting the proximity to marine water. High percentages of freshwater algae reveal an input of freshwater in the environment.

In Phase I, the algae of genera *Botryococcus* dominate the palynological association (Fig. 3). Percentage of spores of fungi vary throughout this phase. Pteridophytes spores show a relative increase towards the top of the phase. Pollen grains (herbs, shrubs and trees) have low percentage. Aquatic macrophytes have isolated occurrences. In this phase, the marine palynomorphs reach the highest percentage in relation to the subsequent phases.

High percentage of algae of genera *Botryococcus* indicate an input of freshwater in the depositional site. The occurrence of spores of pteridophytes reinforces the interpretation of the presence of fresh water, because these elements depend on water for their reproductive cycle. The low abundance of pollen grains suggest a long distance between the source area and depositional site.

The occurrence of the acritarchs (*Michrystidium* sp., *Acritarch* sp. 1 and *Acritarch* sp. 2), dinoflagellate cysts (*Operculodinium* sp. and *Spiniferites* sp.), as well as microforaminiferal linings, indicates the influence of marine water. The *Acritarch* sp. 2, similar to specimens of the Sphaeromorphitae subgroup, and the specimens assigned to the genera *Michrystidium* are characteristic of shallow coastal water associations (Montenari and Leppig 2003, Félix and Souza 2012). The genera of dinoflagellate cysts *Spiniferites* and *Operculodinium* correspond to gonyaulacoids forms, which have a cosmopolitan character, being recorded in a wide range of environments, from internal neritic to open ocean, revealing tolerance to a large range of salinity, luminosity, nutrients and temperature (de Vernal et al.

2001, Marret and Zonneveld 2003). Microforaminiferal linings are abundant in estuarine marshes of variable salinity (Batten 1996).

The high percentage of *Botryococcus* added with the presence of marine elements indicates that the sedimentation environment was lagoonal. The occurrence of spores of fungi throughout this phase can be explained by the erosion of the river banks that transported organic matter to the lagoonal body, in agreement with Muller (1959) taking into account Recent sediments from Orinoco river. The frequent herbs taxa, mainly represented by *Amaranthus*/Chenopodiaceae and Poaceae, can be related to dry sandy soils (including halophytes taxa), as also interpreted by Lorscheitter (2003) from Holocene samples of Serra Velha and Guaíba. The beginning of sedimentation of Phase I coincides with the last sea-level maximum documented for the Brazilian coast between 5000 and 5800 cal yr BP (Angulo et al. 2006). Two samples in the middle of this phase (380 and 340 cm of depth), close to 3756 cal yr BP, presented higher percentage of marine palynomorphs, these data suggest that the depositional site had marine influence. Other works in Santa Catarina state demonstrated which between 3000 yr BP and 3800 yr BP the sea level was above the present sea level (Suguio et al. 1985 and Angulo et al. 1999).

Marine influence was also observed in Volta Velha, northern Santa Catarina, due to the presence of microforaminiferal linings between 6720 to 4330 yr BP (Behling and Negrelli 2001). Amaral et al. (2012) also registered marine influence in the Jaguaruna region, south-central portion of the Coastal Plain of Santa Catarina, between approximately 5000 to 2580 yr BP, based on diatoms and isotopes. Several palynological studies (e.g. Cordeiro and Lorscheitter 1994, Lorscheitter and Dillenburg 1998, Medeanic et al. 2001, Meyer et al. 2005a) recorded the transgressive event (at approximately 5000 yr BP) in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul by means of palynological indicators, as dinoflagellate cysts (*Spiniferites* and *Operculodinium*), microforaminiferal linings and acritarchs (*Michrystidium*).

In studies of Holocene sediments in Argentina (Bahía Blanca and Arroyo La Ballanera) and Uruguay (Río de La Plata northeastern coast), marine input was identified from associations of acritarchs with the dinoflagellate cysts *Spiniferites* and *Operculodinium* (Borel and Gómez 2006, Borel 2007, Mourelle et al. 2015). Borel and Gómez (2006) and Borel et al. (2007) identified, in addition to *Michrystridium* sp., an acritarch named *Acritarch* sp. F. This form is very similar to *Acritarch* sp. 2 (Figure 4.4 and 4.5), described herein, because it has psilate, spheroidal and hyaline wall, of small size.

In the Phase II, *Botryococcus* continues to dominate the palynological association, with a more homogeneous distribution. Spores of pteridophytes and fungi show a small decline in their percentages. Pollen grains (herbs, shrubs and trees) continue to have low representation in the palynological association; epiphytes make their first appearance at this phase. Marine palynomorphs decrease compared to the previous phase.

The continuous high percentages of algae of genera *Botryococcus* indicate that input of fresh water was not interrupted between Phase I and Phase II. The presence of taxa that are water-dependent for their reproductive cycle, spores of pteridophytes and fungi, suggests the presence of fresh water in the environment. The low abundance of pollen grains indicates that the vegetation was not close to the depositional site. However, the first appearance of epiphytes (little expression) indicates the presence of forest fragments developed in adjacent areas. The record of marine elements indicates marine water influence. However, the decrease of these elements in relation to Phase I suggests a reduction in the saline water supply.

The high percentage of *Botryococcus* added to the presence of marine elements indicates that the sedimentation environment was still a lagoonal body. Nevertheless, the low occurrence of marine palynomorphs, with the dominance of acritarchs in the assemblage (with a few specific occurrences of dinoflagellate cysts and microforaminiferal linings), reveals that the connection to the sea was already closed, limiting the seawater input. The decrease of *Amaranthus*/Chenopodiaceae throughout this phase may reflect the desalination of the soil

contiguous to the body of water. Predominance of silt layers indicates a decrease in the energy of the sedimentary environment, corresponding to diminishing marine influence in the lagoonal body. The Phase II is characterized by a transitional paleoenvironment between the Phase I and Phase III.

Phase II corresponds to the last 858 cal yr BP, when algae abruptly decrease and fungi and arboreal taxa increase. The drastic decline of algae indicates a depletion in the water column in the depositional site and the absence of marine palynomorphs reveals the end of seawater input.

The high percentage of fungi in the first samples of this phase indicates the beginning of soil development, since the abundance of fungal fragments is indicative of aerobic biodegradation of plant remains (Sebag et al. 2006). Dominance of pollen of herbs and spores of bryophytes (*Sphagnum* and *Phaeoceros*) indicates the beginning of vegetation colonization. Both spores of bryophytes and fungi at the lower portion of this phase reflect wet conditions.

The progressive increase of pteridophytes, epiphytes and arboreal taxa (Arecaceae, Ericaceae, *Ilex*, *Myrsine* and Myrtaceae), added to the appearance of new taxa (*D. brasiliensis*), reveals the beginning of the development of the Atlantic Forest in the site. However, low richness of the arboreal taxa can be related to the early stage of evolution of this forest in the site.

The lowering and stabilization of relative sea level led to the desalination of the coastal plain lands. These ancient coastal lagoonal and fluvial plains were gradually colonised by the Atlantic Forest. The forest development after coastal regression was also identified in other palynological studies in the Santa Catarina (Behling and Negrelli 2001, Amaral et al. 2012) and Rio Grande do Sul coastal plains (Cordeiro and Lorscheitter 1994, Neves and Lorscheitter 1995, Meyer et al. 2005a, 2005b, Medeanic 2006a, Macedo et al. 2007, Medeanic et al. 2009).

CONCLUSIONS

The palynological analyses of the 450 cm-long core PCSC-3 in Santa Catarina State (Garopaba) led to the recognition of three phases from 5390 cal yr BP (late Middle Holocene) to close to modern days. These phases were characterized by the presence and the relative frequency of marine (dinoflagellates, acritarchs and microforaminiferal linings), freshwater (*Botryococcus*) versus continental palynomorphs (spore-pollen taxa, fungi).

Records of marine and freshwater elements indicate that during Phase I and the Phase II the environment comprised a lagoonal body. Phase I reveals higher marine influence, while Phase II presents decrease of percentage of marine elements and increase of freshwater algae record, suggesting less marine influence into the lagoonal body. Phase III is marked by the closing of the connection of the lagoon with the sea, with prevalence of subaerial sedimentation, under swamp-like conditions, by means of the vegetation colonization in the locality for the last 856 yr BP. Our conclusions are in agreement with other paleoenvironmental reconstructions for the sea level oscillations of certain portions of the coastal plain of Brazil, in particular to the Santa Catarina state.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Léo A. Hartmann for contributing with comments during the writing of the article, and Eduardo Barboza for making possible the particle size analysis. This contribution was performed with support grants from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq proc. 132260/2015-8, 454804/2014-8) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS proc. APG1012119).

RESUMO

Este artigo apresenta uma reconstrução paleoambiental a partir de análises palinológicas de um testemunho sedimentar com idade holocênica, perfurado no município de Garopaba (Santa Catarina), sul do Brasil. Um total de 46 amostras foi coletado ao longo dos 450 cm do poço PCSC-3, bem como realizadas três datações radiocarbônicas e análise granulométrica. O conteúdo palinológico inclui 84 táxons: grãos de pólen de angiospermas (46) e gimnospermas (3), esporos de pteridófitas (16) e briófitas (2), esporos de fungos (8), algas (3), acritarcos (3), cistos de dinoflagelados (2) e palinoforaminíferos (1). Três espécimes de acritarcos são particularmente descritos e ilustrados. Três fases palinológicas foram definidas baseadas nas mudanças nas assembléias: Fase I, Fase II e Fase III. A Fase I é caracterizada por um paleoambiente lagunar com influência marinha desde o início de sua sedimentação (5390 anos AP), com base em ocorrências de acritarcos, cistos dinoflagelados e palinoforaminíferos. A Fase II (3032 anos AP até 858 anos AP) também é caracterizada por um paleoambiente lagunar, no entanto apresentou diminuição na porcentagem de elementos marinhos e aumento no registro de algas de água doce, sugerindo menor influência marinha no corpo lagunar. Na Fase III (últimos 856 anos) prevaleceu a sedimentação subaquosa, sob condições pantanosas.

Palavras-chaves: planície costeira, evolução ambiental, Holoceno, palinologia, Santa Catarina

REFERENCES

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM and Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Z* 22 (6): 711-728.
- Amaral PGC, Fonseca PCG, Sylvestre F and Pessenda LCR. 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *J Quaternary Sci* 27: 181-191.
- Angulo RJ, Giannini PCF, Suguio K and Pessenda LCR. 1999. The relative sea-level changes in the last 5500 years southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid ^{14}C ages. *Mar Geol* 159: 327-339.
- Angulo RJ, Guilherme CL and Souza MC. 2006. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Sci Rev* 25:486-506.
- Batten DJ. 1996. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In: Jansonius J. and McGregor DC. (Eds), *Palynology: Principles and Applications*, vol. 3, Dallas: Am Assoc Strat Palynol, p. 1011–1064.
- Bauermann SG, Behling H and Macedo RB. 2009. Biomas e evolução da paisagem no Rio Grande do Sul com base em paleopalinologia. In: Ribeiro AM, Bauermann SG and Scherer CS (Eds), *Quaternário do Rio Grande do Sul: Integrando Conhecimentos*. Porto Alegre: Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 81-93.
- Behling H and Negrelle RRB. 2001. Tropical rain forest and climate dynamics of the atlantic lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. *Quaternary Res* 56: 383–389.
- Borel CM. 2007. Algas no silíceas y acritarcos de depósitos costeiros holocenos em el Arroyo La Ballenera, Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 44(2): 359-366.
- Borel CM and Gómez EA. 2006. Palinología del Holoceno del Canal del Medio, estuario de Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 43(2): 399-412.
- Borremei AM and Quattrocchio M. 2007. Holocene sea-level change inferred from

palynological data in the Beagle Channel, southern Tierra del Fuego, Argentina. *Ameghiniana* 44(1): 161-171.

Cancelli RR, Souza PA and Neves PCP. 2012. Grãos de pólen de angiospermas do Holoceno (7908±30 anos AP-atual) da Planície Costeira sul-catarinense, Brasil. *Acta Bot Bras* 26 (4): 866-885.

Colinvaux P, De Oliveira PE and Moreno JE. 1999. Amazon Pollen Manual and Atlas. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 332 p.

Cordeiro SH and Lorscheitter ML. 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. *J Paleolimnol* 10: 35-42.

De Oliveira PE et al. 2005. Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: Souza CRG, Suguio K, Oliveira MAS and De Oliveira PE (Eds), Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos, p. 52-74.

de Vernal A. 2009. Marine palynology and its use for studying nearshore environments. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 5. IOP Publishing, From Deep-sea to Coastal Zones: Methods and Techniques for Studying Paleoenvironments.

de Vernal A. and Giroux L. 1991. Distribution of organic walled microfossils in recent sediments from the estuary and Gulf of St. Lawrence: some aspects of the organic matter fluxes. In: Therriault JC (Ed) The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary? *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 113: 189-199.

de Vernal et al. 2001. Dinoflagellate cyst assemblages as traces of sea-surface conditions in the northern North Atlantic, Arctic and sub-Arctic seas: the new $n = 677$ data base and its application for quantitative palaeoceanographic reconstruction. *J Quaternary Sci* 16(7): 681-698.

Diehl LF and Horn Filho NO. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. *Notas Técnicas* 9: 39-50.

Félix C and Souza PA. 2012. Acritarcos (Grupo Acritarcha Eviit 1963): conceitos

gerais, aplicações e importância na análise estratigráfica do intervalo Pennsylvânico e Permiano da Bacia do Paraná. *Rev Inst Geol* 33(1): 71-88.

Freitas AG and Carvalho MA. 2012. Análise morfológica e inferências ecológicas de grãos de pólen e esporos (últimos 8.000 anos) da lagoa da Ferradura, Armação dos Búzios, RJ. Brasil. *Rev bras paleontol* 15(3): 300-318.

Grimm EC. 2011. Tilia version 1.7.16 (Computer Software). Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield, USA.

Herrera LF and Urrego LE. 1996. Atlas de polen de plantas úteis y cultivadas de la Amazonia Colombiana. Estudios em La Amazonia Colombiana. Bogotá: Tropenbos, 462p.

Hogg AG et al. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4):1889-1903.

Hooghiemstra H. 1984. Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá, Colombia: A continuous Record of the Last 3.5 Million Years. In: Hammen TVD (Ed.). *The Quaternary of Colombia*, Vaduz: J. CRAMER, 10, 368 p.

Horn Filho NH. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul* 18(35):71-98.

IBGE. 2004. Mapa da Vegetação Brasileira (escala 1:5 000 000). Rio de Janeiro, MPOG. Diretoria de Geociências, 3 ed.

IBGE. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, MPOG. Diretoria de Geociências, 271 p.

Leal MG and Lorscheitter ML. 2006. Pólen, esporos e demais palinófitos de sedimentos holocênicos de uma floresta paludosa, Encosta Inferior do Nordeste, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Ser Bot* 61 (1-2), 13-47.

Lorscheitter ML. 2003. Contribution to the Holocene history of Atlantic rainforest in the Rio Grande do Sul State, southern Brazil. *Rev Mus Argent Cienc Nat* 5(2): 261–271.

Lorscheitter ML, Ashraf AR, Bueno, R.M. and Mosbrugger V. 1998. Pteridophyte spores of Rio Grande do Sul flora, Brazil. Part I. *Palaeontographica* 246: 1-113.

Lorscheitter ML and Dillenburg SR. 1998. Holocene paleoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. *Quat S Am Antarct Penins* 11: 73–97.

Luz CFP, Barth OM and Silva CG. 2006. Dinâmica temporal na lagoa do Campelo, região norte do Estado do Rio de Janeiro baseada em estudos palinológicos. *Rev bras paleontol* 9(1): 127-136.

Macedo RB, Cancelli RR, Bauermann SG, Bordignon SAL and Neves PCP. 2007. Palinologia de níveis do Holoceno da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Localidade de Passinhos), Brasil. *Gaea* 3: 68-74.

Macedo RB, Souza PA and Bauermann SG. 2009. Catálogo de pólenes, esporos e demais palinomorfos em sedimentos holocênicos de Santo Antonio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Ser Bot* 62(2): 43-78.

Marret F and Zonneveld KAF. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Rev Palaeobot Palyno* 125(1):1-200.

Medeanic S. 2006a. Freshwater algal palynomorph records from Holocene deposits in the coastal plain Rio Grande do Sul, Brazil. *Rev Palaeobot Palynol* 141: 83-101.

Medeanic S. 2006b. The palynomorphs from surface sediments of intertidal marshes in the estuarine part of the Patos lagoon. *Iheringia Ser Botanica* 61(1-2): 49-62.

Medeanic S, Dillenburg SR and Toldo Jr EE. 2001. Novos dados palinológicos da transgressão marinha pós-glacial em sedimentos da Laguna dos Patos, RS, Brasil. *Geociências* (6): 64-76.

Medeanic S, Corrêa ICS and Weschenfelder J. 2007. Palinomorfos nos Sedimentos do Fundo da Laguna dos Patos-RS: Aplicação nas Reconstruções Paleoambientais. *Gravel* 5:89-

Medeanic S, Hirata F and Dillenburg SR. 2010. Algal Palynomorphs Response to Environmental Changes in Tramandaí Lagoon, Southern Brazil, and Climatic Oscillations in the 20th Century. *J Coastal Res* 26(4): 726-735.

Medeanic S, Toldo Jr EE and Dillenburg SR. 2000. Palynological evidence of marine ingression in the lagoa dos Patos Lagoon during the late Holocene. *Geociências* p.141-145.

Medeanic S, Torgan LC, Clerot LCP and Santos CB. 2009. Holocene Marine Transgression in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorph and diatom evidence. *J Coastal Res* 25(1): 224-233.

Meyer KEB, Mendonça Filho JG, Ashraf AR, Souza PA and Reichhart K. 2005a. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da Lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev bras paleontol* 8(1): 57-72.

Meyer KEB, Reichhart K, Ashraf AR, Marques-Toigo M and Mosbrugger V. 2005b. Holocene Evolution of Itapeva lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs and Corg, N, S Records. *J S Am Earth Sci* 19(2): 181-192.

MMA/SBF. 2010. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Mata Atlântica: patrimônio nacional dos brasileiros. Campanili M and Schaffer WB (Org), Biodiversidade 34, Brasília, 408p.

Montenari M and Leppig U. 2003. The Acritarcha: their classification morphology, ultrastructure and palaeoecological/palaeogeographical distribution. *Paläontologische Zeitschrift* 77: 173–194.

Mourelle D, Prieto AR, Pérez L, García-Rodríguez F, Borel CM. 2015. Mid and late Holocene multiproxy analysis of environmental changes linked to sea-level fluctuation and climate variability of the Río de la Plata estuary. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 421: 75-88.

Mudie PJ, Leroy SAG, Marret F, Gerasimenko NP, Kholeif SEA, Sapelko T and

Filipova-Marinova M. 2011. Nonpollen palynomorphs: indicators of salinity and environmental change in the Caspian–Black Sea–Mediterranean corridor. In: Buynevich IV, Yanko-Hombach V, Gilbert AS and Martin RE (eds). *Geology and Geoarchaeology of the Black Sea Region: Beyond the Flood Hypothesis: Geological Society of America Special Paper 473*, p. 89–115.

Muller J. 1959. Palynology of Recent Orinoco Delta and shelf sediments. *Micropaleont* 5:1–32.

Neves PCP and Bauermann SG. 2001. Feições de uma mata de restinga em Capão do Leão, Planície Costeira Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesq Bot* 51:73-86.

Neves PCP and Bauermann SG. 2003. Catálogo palinológico de coberturas quaternárias no estado do Rio Grande do Sul (Guaíba e Capão do Leão), Brasil. *Descrições taxonômicas – Parte I: Fungos, Algas, Palinomorfos outros e fragmentos de invertebrados. Pesq Bot* 53: 121-149.

Neves PCP and Lorscheitter ML. 1992. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. *Descrições taxonômicas, parte I: fungos, algas, briófitos, pteridófitos, palinomorfos outros e fragmentos de invertebrados. Acta Geol Leopold* 15: 83-114.

Nimer E.1990. Clima. In: *Geografia do Brasil. Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, p. 151-187.

Quattrocchio ME, Borromei, AM, Deschamps CM, Grill SC and Zavala CA. 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): Evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quatern Int* 181: 123-138.

Richards K, Bolickhoavkaya NS, Hoogendoorn RM, Kroonenberg, SB, Leroy SAG and Athersuch J. 2014. Reconstructions of deltaic environments from Holocene palynological records in the Volga delta, northern Caspian Sea. *Holocene* 24(10): 1226–1252.

Sebag D, Copard Y, Di-Giovanni C, Durand A, Laignel B, Ogier S and Lallier-Vergès E. 2006. Palynofacies as useful tool to study origins and transfers of particulate organic matter in recent terrestrial environments : synopsis and prospects. *Earth Sci Rev* 79: 241-259

Slompo CTJ. 1997. Estudo palinológico dos sedimentos do mangue de Itacorumbi, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Bol Paranaense Geocienc* 45: 67-79.

Souza TCS, Carvalho MA, Dias FF, Ferreira B, Freitas AS and Castro WA. 2016. Analysis of Particulate Organic Matter in Holocene Sediments of Coastal Plain from Pero Beach, Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brazil, *Journal of Sedimentary Environments* 1(2): 249-260.

Strohaecker TM. 2008. Dinâmica populacional. In: Zamboni A and Nicolodi JL (Org), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, Brasília: MMA, p. 59-73.

Stockmarr J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen Spores* 13: 615-621.

Stuiver M, Reimer PJ and Reimer RW. 2016. CALIB 7.1 [WWW program]. Belfast: 14CHRONO Centre, Queen's University Belfast, accessed 30 November 2016.

Suguio K, Martin L, Bittencourt ACSP, Dominguez JML, Flexor JM and Azevedo AEG. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev Bras Geocien* 15(4): 273-286.

Vilanova I, Prieto AR and Espinosa M. 2006. Palaeoenvironmental evolution and sea-level fluctuations along the southeastern Pampa glasslands coast of Argentina during the Holocene. *J Quaternary Sc* 21(3): 227-242.

Weschenfelder J, Medeanic S, Corrêa ICS and Aliotta S. 2008. Holocene Paleoinlet of the Bojuru Region, Lagoa dos Patos, Southern Brazil. *J Coastal Res* 24(1): 99-109.

Ybert JP, Salgado-Labouriau ML, Barth OM, Lorcheitter ML, Barros MA, Chaves SAM, Luz CFP, Ribeiro M, Scheel R and Vicentini KF. 1992. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do Quaternário. *Rev Inst Geol* 3: 47-49.