

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



**PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA  
ANÁLISE PALEOAMBIENTAL E POSICIONAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO  
DE DEPÓSITOS DO CRETÁCEO DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

**FERNANDO HECK MICHELS**

Porto Alegre, 2014

**FERNANDO HECK MICHELS**

**ANÁLISE PALEOAMBIENTAL E POSICIONAMENTO  
BIOESTRATIGRÁFICO DE DEPÓSITOS DO CRETÁCEO DA BACIA DO  
ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia junto à disciplina de Projeto Temático III, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Porto Alegre, 2014

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Michels, Fernando Heck

Análise paleoambiental e posicionamento bioestratigráfico de depósitos do Cretáceo da Bacia do Espírito Santo, Brasil . / Fernando Heck Michels. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.  
[60 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es): Paulo Alves de Souza

1. Palinologia. 2. Bacia do Espírito Santo  
.3. Paleoambiente. 4. Bioestratigrafia. I. Título.

CDU 56

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grun      CRB 10/1113

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**ANÁLISE PALEOAMBIENTAL E POSICIONAMENTO BIOESTRATIGRÁFICO DE DEPÓSITOS DO CRETÁCEO DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**” elaborado por “**FERNANDO HECK MICHELS**”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Juliano Kuchle**

---

**Geol. Ms. Eduardo Premaor**

---

**Geol. Dr. Anderson Maraschin**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Egon e Helga por serem o grande elemento apoiador para a concretização de meus desafios e estarem sempre ao meu lado, apesar da distância.

Ao orientador Paulo Alves de Souza pela paciência e disponibilidade em todo o processo de orientação.

Aos colegas do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo pela amizade e resolução de dúvidas pontuais ao longo do trabalho. Em especial ao aluno de doutorado Wagner por ter me auxiliado com opiniões muito importantes.

Aos amigos que conquistei ao longo da minha vida acadêmica, obrigado pela parceria e pelos momentos agradáveis vividos.

Aos amigos que conquistei no intercâmbio. Com certeza este período marcou minha vida e grande parte desta importância se deve a vocês.

Ao meu irmão Guilherme e minha irmã Érica. Apesar da diferença de idade, vocês são meus grandes exemplos de vida. Obrigado por tentarem estar sempre próximos e dedicar tempo para conversas e trocas de experiências.

Aos integrantes do Hostel 203/204 pelo compartilhamento de situações diárias sempre com bom humor, apesar dos problemas enfrentados por cada um.

“A vida, que parece uma linha recta, não o é. Construimos a nossa vida só uns cinco por cento, o resto é feito pelos outros e às vezes contra os outros. Mas essa pequena percentagem, esses cinco por cento, é o resultado da sinceridade consigo mesmo.”

José Saramago

## RESUMO

Depósitos de bacias sedimentares da margem continental brasileira referentes ao processo de separação do supercontinente Gondwana, mais precisamente ao estágio final da fase rifte, tem especial importância aos estudos estratigráficos devido ao potencial econômico em termos de formação e armazenamento de hidrocarbonetos. A proposta de estudo visa realizar uma determinação palinológica nas amostragens de depósitos de siltitos e folhelhos localizados nos intervalos entre os níveis salinos da Bacia do Espírito Santo gerando dados relevantes atribuídos ao paleoambiente do Cretáceo nesta bacia, assim como informações referentes às incursões marinhas no registro através do estudo de ocorrência de fósseis marinhos e estabelecimento de idades através de um posicionamento bioestratigráfico proposto. Neste estudo foram utilizadas amostras pré-selecionadas de dois poços (BES-01 e BES-02) perfurados na porção emersa da Bacia do Espírito Santo referentes ao Cretáceo na Formação Mariricu e Formação São Mateus, parte da megassequência pós-rifte da bacia. As amostras foram submetidas ao processamento palinológico padrão. Condições de deposição em ambiente marinho foram registradas apenas para o poço BES-01, sendo este composto por apenas seu nível basal continental indicando um evento de transgressão. A associação de espécies de dinoflagelados indica uma condição de deposição de um mar epicontinental característico das primeiras incursões marinhas na bacia com grande aporte continental devido à alta presença de elementos da matéria orgânica particulada continental nas amostras. A distribuição da matéria orgânica particulada através do poço BES-02 indica ambiente deposicional continental em todas as amostras, na maioria das vezes com indicativos de proximidade da área deposicional com a planta-mãe (presença de políades). O gênero de grão de pólen *Classopollis*, abundante ao longo do perfil, revela condições paleoclimáticas quentes e áridas. A seção estudada do poço BES-01 é datada para o andar Albiano, enquanto que a seção do poço BES-02 foi relacionada aos andares Aptiano e Albiano, sem diferenciação determinada.

**Palavras-Chave:** Palinologia, Bacia do Espírito Santo, Paleoambiente, Bioestratigrafia.

## ABSTRACT

Deposits of the Brazilian continental margin basins related to the Gondwana supercontinent separation process (specifically on the final rift phase) reveal a quite big importance to the stratigraphic studies because of the economic potential on hydrocarbons related attendance. The study aims to construct a palynological determination working on the siltstone and shales samples localized between salinity levels of the Espírito Santo Sedimentary Basin. The proposal try to determine relevant data about paleoenvironmental interpretations of the Cretaceous, as well as search informations about the marine incursions by the marine microfossils occurrence and establish relative ages by a biostratigraphic conclusion. The selected material are from core drills of two perforated wells on the onshore portion of Espírito Santo Sedimentary Basin. These samples are from Cretaceous transitional sequence of the basin, more specifically from the Mariricu and São Mateus sedimentary formations. The samples were submitted to the standart palynological processing. Marine environment conditions were recorded for the BES-01 well. On this well just the basal sample has continental deposition indicating a marine transgression event. The dinocysts species assemblage indicates a epicontinental marine deposition conditions marking the first marine incursions in this basin. The continental input is evidenced by the presence of continental microfossils on the samples. The kerogen distribution in the BES-02 well reveals a continental deposition in all samples with indications of proximal conditions (polyads) in most of slides. The pollen grain genus *Classopollis* is abundant and reveals warm and arid paleoclimatic conditions. The BES-01 sedimentary section is dated from the Albian age, while the BES-02 sedimentary section were related to the Aptian and Albian age, without greater determination.

**Keywords:** Palynology, Bacia do Espírito Santo, Paleoenvironment, Biostratigraphy.



## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura I. Mapa da área de estudo na Bacia do Espírito Santo, com a localização dos dois poços utilizados para análise (BES-01 e BES-02) (Base de dados: BDEP, 2008). .....	5
Figura II. Perfil estratigráfico dos poços selecionados para o estudo (BES-01 e BES-02), com respectiva numeração das amostragens palinológicas coletadas e processadas. ....	6
Figura III. Coluna estratigráfica para o Cretáceo da Bacia do Espírito Santo (modificado de França <i>et al.</i> 2007). ....	8
Figura IV. Mapa paleogeográfico interpretado da margem continental brasileira no Eocretáceo (Modificado de Arai, 2009). ....	10
Figura V. Distribuição dos palinomorfos, fitoclastos e matéria orgânica amorfa nos ambientes sedimentares (modificado de Seyve, 1990). ....	12
Figura VI. Ciclo de vida esquemático de um dinoflagelado produtor de cisto. Este é formado no início da fase imóvel do ciclo, sendo a única parte fossilizável do dinoflagelado (modificada de Evitt, 1985 <i>apud</i> Arai, 2007). ....	15
Figura VII. Separação do fragmento de rocha (A e B), trituração manual (C) e amostra pronta para adição de ácido (D). ....	19
Figura VIII. Separação para adição de ácido (A), dissolução dos minerais com ácido fluorídrico (B) e lavagem por decantação (C). ....	20
Figura IX. Aquecimento dos béqueres em chapa quente (A) e medição da temperatura das soluções (B). ....	21
Figura X. Peneiras usadas no processo (A) e peneiramento de amostra específica (B, C e D). ....	21
Figura XI. Análise palinológica do material processado em microscopia óptica (A e B). ....	24
Figura XII. Componentes da matéria orgânica particulada continental. A, B. Esporos. C, D. Grãos de pólen, E. Políade, F. Matéria orgânica amorfa, G. Fitoclasto não-opaco não-bioestruturado corroído, H. Fitoclasto não-opaco bioestruturado perfurado, I. Fitoclasto não-opaco bioestruturado bandado, J. Fitoclasto não-opaco bioestruturado listrado, K. Fitoclasto não-opaco bioestruturado estriado, L. Cutícula, M. Fitoclasto não-opaco não-bioestruturado não-degradado, N. Fitoclasto opaco alongado, O. Fitoclasto opaco equidimensional, P. Fitoclasto opaco corroído. Escala = 20 µm. ....	27

Figura XIII. Registros prévios de amplitude estratigráfica de espécies selecionadas identificadas nas amostras utilizadas neste trabalho nos poços BES-01 e BES-02. Dados compilados das seguintes publicações: Regali <i>et al.</i> (1974 a,b), representado pelo número 2 e Botelho Neto (1996), representado pelo número 1 na figura. ....	28
Figura XIV. Amostragem do poço BES-01 com representação dos níveis férteis e porcentagem de distribuição geral do conjunto de matéria orgânica particulada nas amostras analisadas. ....	29
Figura XV.A;C: Agregados de minerais opacos cúbicos(pirita) em lâmina palinológica. B;D: Grande quantidade de minerais translúcidos distribuídos em lâmina palinológica, com baixa presença de matéria orgânica preservada. E;G: Vista geral de lâmina palinológica de associação marinha com equivalente vista sob efeito de fluorescência (F;H) de elementos marinhos. ....	30
Figura XVI. Distribuição por grupos de palinomorfos registrados nas amostras do poço BES-01. ....	33
Figura XVII. Representação de toda a matéria orgânica particulada quantificada no poço BES-01 e suas devidas classificações. ....	36
Figura XVIII. Amplitude estratigráfica dos táxons selecionados do poço BES-01, conforme a literatura. Dados compilados das seguintes publicações: Regali <i>et al.</i> (1974 a,b), representado pelo número 2 e Botelho Neto (1996), representado pelo número 1 na figura. ....	38
Figura XIX. Distribuição por grupos de palinomorfos registrados nas amostras do poço BES-02. ....	40
Figura XX. Distribuição por grupos de palinomorfos registrados nas amostras do poço BES-02. ....	41
Figura XXI. Representação de toda a matéria orgânica quantificada no poço BES-02 e suas devidas classificações. ....	44
Figura XXII. Amplitude estratigráfica dos táxons selecionados do poço BES-02. Dados compilados das seguintes publicações: Regali <i>et al.</i> (1974 a,b), representado pelo número 2 e Botelho Neto (1996), representado pelo número 1 na figura. ....	46

## SUMÁRIO DE QUADROS

Quadro I. Amostragem selecionada e respectiva profundidade das lâminas confeccionadas do poço BES-01.....	22
Quadro II. Amostragem selecionada e respectiva profundidade das lâminas confeccionadas do poço BES-02.....	23
Quadro III. Distribuição dos palinomorfos no poço BES-01.....	32
Quadro IV. Distribuição dos táxons de palinomorfos registrados no poço BES-02.....	42

## SUMÁRIO

<b>Sumário de Figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Sumário de Quadros.....</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMAS, PREMISSAS, HIPÓTESE E TÉCNICA DE SOLUÇÃO .....	2
1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS .....	3
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO .....	4
1.5 ESTADO DA ARTE .....	11
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
2.1 ETAPA DE PROCESSAMENTO PALINOLÓGICO DAS AMOSTRAS.....	18
2.2 ANÁLISE PALINOLÓGICA .....	23
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>26</b>
3.1 POÇO BES-01.....	28
3.2 POÇO BES-02.....	40
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>Anexo I: Lista sistemática .....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo II: Estampas.....</b>	<b>55</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A micropaleontologia é uma das ferramentas mais importantes para correlações estratigráficas e determinações paleoambientais. Relacionada ao âmbito bioestratigráfico, os microfósseis podem auxiliar na datação relativa a partir do reconhecimento e associação de táxons guia podendo determinar idades com um alto grau de detalhe e auxiliar grande estudos na indústria do petróleo.

Este Projeto Temático visa investigar e catalogar microfósseis de depósitos sedimentares férteis para estudo palinológico, localizados nas camadas datadas do Cretáceo na Bacia do Espírito Santo. Neste período geológico, mais precisamente no limite Aptiano-Albiano, é datado uma megassequência transicional para a bacia em questão definida por estratos siliciclásticos intercalados com níveis salinos referentes a um sistema gradando do continental para o marinho. Este estágio de formação da Bacia do Espírito Santo se enquadra em um processo de rifteamento e rompimento do super continente Gondwana. Grandes taxas de expansão da crosta oceânica marcam a evolução das bacias da margem continental brasileira neste período geológico. O estudo propõe uma investigação da palinoflora terrestre local (grãos de pólen, esporos), bem como a análise de outros microfósseis marinhos (cistos de dinoflagelados, acritarcos e palinoforaminíferos) para o estabelecimento de informações paleoecológicas, paleoambientais e reconhecimento de idades em amostras de testemunhos de sondagem de dois poços (BES-01 e BES-02). Depósitos marinhos com alta porcentagem de material orgânico sedimentados adjacentes a camadas de evaporitos em bacias marginais brasileiras possuem um grande potencial econômico devido à potencialidade de correlações de camadas, algumas delas com presença de hidrocarbonetos já conhecida.

## **1.1 PROBLEMAS, PREMISSAS, HIPÓTESE E TÉCNICA DE SOLUÇÃO**

### **1.1.1 PROBLEMA**

A variação de paleoambiente em camadas sedimentares é também realizada por meio da investigação palinológica. As informações são obtidas no que dizem respeito a: proximidade com a antiga linha de costa, profundidade da lâmina d'água e clima. Além disso, palinomorfos encontrados são empregados na determinação de idades e correlação de camadas (bioestratigrafia) relacionados ao estágio transicional da Bacia do Espírito Santo.

### **1.1.2 PREMISSAS**

Partindo da idéia de que as amostras selecionadas para o estudo são compostas em sua maioria por folhelhos com alta quantidade de matéria orgânica intercaladas com níveis salinos, se supõe que os intervalos amostrados provêm de um ambiente próximo à linha de costa associado a uma condição climática geral seca devido à alta evaporação e formação de evaporitos.

Usando a ferramenta da palinologia será possível produzir dados gerais relacionados ao nível de profundidade dos corpos d'água e caracterização do ambiente continental.

### **1.1.3 HIPÓTESE**

A hipótese deste trabalho é baseada nas informações palinológicas como ferramenta de estudo para definições paleoambientais e bioestratigráficas em depósitos do Mesozóico na Bacia do Espírito Santo.

Informações sedimentológicas e estratigráficas referentes a supersequência pós-rifte da Bacia do Espírito Santo para o final do Eocretáceo indicam um ambiente marcado por incursões marinhas formando corpos d'água de baixa profundidade e alta evaporação. Dados palinológicos poderão auxiliar a confirmar esta hipótese e traçar associações da vegetação presente na época de deposição da bacia associados ao paleoclima e paleogeografia.

### **1.1.4 TÉCNICAS DE SOLUÇÃO**

Para testar a hipótese mencionada, é imprescindível a utilização de uma série de técnicas complementares.

As técnicas utilizadas são as seguintes: compilação de dados prévios, seleção de amostras, processamento palinológico de amostras férteis, análise palinológica em microscopia óptica, análise palinofaciológica dos estratos e determinação de táxons como fósseis-guia para a bioestratigrafia.

A compilação de dados prévios inclui a pesquisa e revisão bibliográfica a respeito do contexto geológico e paleontológico da Bacia do Espírito Santo e da palinologia do Cretáceo nas bacias da margem continental brasileira. A seleção de amostras é realizada visando a coleta de níveis com alto percentual de matéria orgânica (folhelhos, siltitos), considerados férteis no âmbito micropaleontológico. O processamento palinológico é utilizado para a separação da fração orgânica das amostras coletadas. A análise em microscopia óptica, por sua vez, é feita por etapas interligadas entre a identificação da matéria orgânica particulada presente nas lâminas, identificação taxonômica de microfósseis encontrados e posterior análise quantitativa.

Por fim, a construção interpretativa do paleoambiente é feita inicialmente a partir da análise paleoecológica com a presença e abundância de determinados elementos no registro, com base na literatura existente (Botelho Neto, 1996; Carvalho, 2001). Para López Martínez & Truyols Santoja (1994) a paleoecologia funciona partindo de dados isolados sobre os organismos e ambientes, para chegar à integração capaz de reconstruir as variáveis que governam o meio.

## **1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS**

Os objetivos do trabalho são:

- (i). Recuperação de palinomorfos em testemunhos de furos de sondagem de dois poços na porção emersa da Bacia do Espírito Santo;
- (ii). Análise paleoecológica local através da razão e prevista interação entre elementos marinhos e elementos continentais encontrados no registro;
- (iii). Análise paleoambiental local tendo em vista a presença e abundância de microfósseis e seus correspondentes ambientes de deposição;
- (iv). Análise e conhecimento da paleovegetação e do paleoclima do Cretáceo na Bacia do Espírito Santo;
- (v). Posicionamento da amostragem no tempo geológico com auxílio dos conceitos da bioestratigrafia.

## 1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

### 1.4.1 BACIA DO ESPÍRITO SANTO

A amostragem selecionada para o presente trabalho é relativa a dois poços (BES-01 e BES-02) perfurados na porção emersa da Bacia do Espírito Santo cedidos para a pesquisa acadêmica, conforme suas localizações e perfis estratigráficos visualizados na figura I e II, respectivamente.

A Bacia do Espírito Santo é uma bacia da margem continental brasileira delimitada a sul com a Bacia de Campos, através do Alto de Vitória, e a norte com a Bacia de Mucuri. Representa um dos segmentos da grande província geológica da margem divergente do Atlântico Sul que se estende por aproximadamente 10.500 km, indo do Delta do Rio Orinoco (Venezuela) até a Terra do Fogo, no extremo sul da Argentina (Milani & Thomaz Filho, 2000). A Bacia do Espírito Santo se encaixa no grupo das bacias brasileiras da margem sudeste, junto com a Bacia de Campos e Santos, caracterizadas por um estiramento crustal maior desde o Jurássico e conseqüente vulcanismo basáltico já na fase rifte (Souza-Lima & Hamsi Jr., 2003). Possui uma área explorável de aproximadamente 41.500 km<sup>2</sup>, dos quais 3.000 km<sup>2</sup> pertencem a porção terrestre e o restante é referente a parte marinha adjacente ao estado do Espírito Santo até o sul da Bahia (França *et al.*, 2007). O pacote sedimentar inclui sedimentos depositados desde o Neocomiano (Barreasiano) até o Recente, com as unidades sendo geradas em diversos ambientes deposicionais que se sucederam durante as fases rifte, transicional e marinha (Vieira, 1998). A existência do Banco Vulcânico de Abrolhos, a leste, atribui à bacia uma fisiografia particular, evidenciada por um alargamento da plataforma continental, que de uma média de 40 km de largura a sul alcança cerca de 240 km na porção centro-norte.





Figura I. Mapa da área de estudo na Bacia do Espírito Santo, com a localização dos dois poços utilizados para análise (BES-01 e BES-02) (Base de dados: BDEP, 2008).

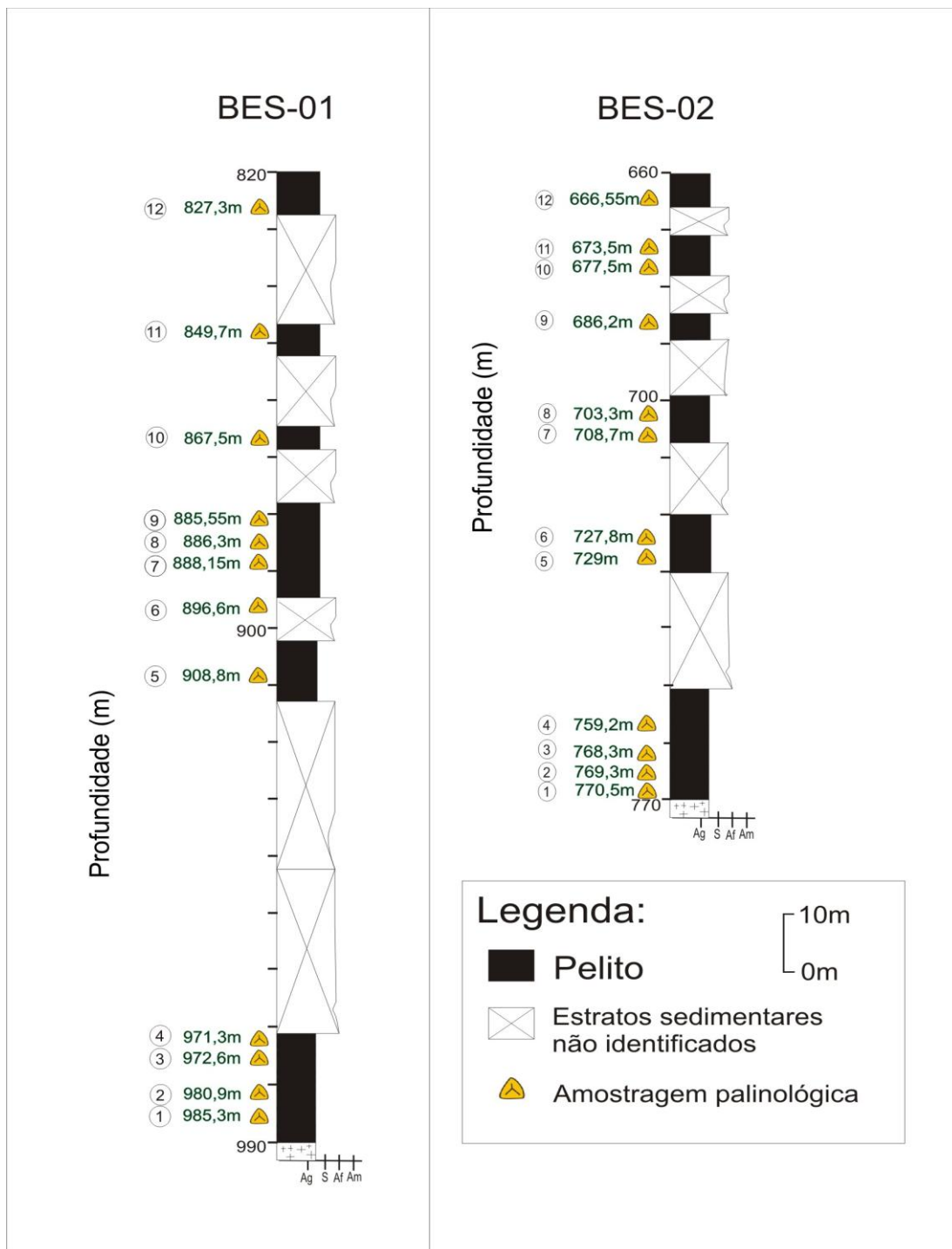


Figura II. Perfil estratigráfico dos poços selecionados para o estudo (BES-01 e BES-02), com respectiva numeração das amostragens palinológicas coletadas e processadas.

#### 1.4.2 ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

A Bacia do Espírito Santo consiste em uma bacia da margem continental formada a partir de um processo de rifteamento, tendo seu início datado do Cretáceo Inferior (figura III). As rochas que compõem o **embasamento** da Bacia estão localizadas a sudeste do Cráton São Francisco, fazendo parte da Faixa

Araçuaí, integrando o setor norte da Província da Mantiqueira. São constituídas de rochas infracrustais representadas por migmatitos, granulitos, gnaisses granatíferos e granitóides, pertencentes ao Cráton São Francisco porém retrabalhadas parcialmente nos Ciclos Transamazônico e Brasileiro. A evolução do rifteamento pode ser associada a três supersequências principais.

A **supersequência Rifte** (Formação Cricaré), de idade Valanginiano ao Aptiano Inferior, é composta por rochas sedimentares de ambiente continental com a ocorrência de rochas vulcânicas (Formação Cabiúnas) que repousam discordantemente sobre o embasamento na base da coluna sedimentar, ou intercaladas com arenitos médios a conglomeráticos com seixos de rochas metamórficas de matriz feldspática (Membro Jaguaré), que para porções mais distais gradam para litologias mais argilosas (Membro Sernambi) (França *et al.*, 2007). Nesta época predominava um ambiente lacustre com contribuição fluvial e aluvial nas bordas dos falhamentos.

A **supersequência Pós-Rifte** (Formação Mariricu), de idade aptiana, é composta por depósitos siliciclásticos (Membro Mucuri) e níveis de evaporitos (Membro Itaúnas), que marcam incursões marinhas na bacia correlacionado ao Andar Alagoas. Esta seqüência relaciona-se ao estágio final da fase rifte. A deposição do Membro Mucuri é controlada por sistemas de leques aluviais e canais fluviais nas porções mais proximais. Nas áreas distais já é notável uma gradação para sistemas transicionais de ambiente raso (França *et al.*, 2007).

O contato superior da seqüência do Membro Mucuri se dá com os evaporitos do Membro Itaúnas. Sob condições de uma bacia restrita e com alta evaporação ocorreu a precipitação de depósitos de anidrita e halita de espessuras variando de 50 m a 5000 m (França e Tschiedel, 2006). A movimentação da halita foi importante na formação de barreiras e baixos estruturais que controlaram a deposição de sedimentos arenosos das seqüências sobrepostas.

A **supersequência Drifte** (marinha) é caracterizada por uma seqüência marinha dividida em três subseqüências: (1) seqüência carbonática-clástica, (2) seqüência oceânica retrogradante e (3) seqüência oceânica progradante. A seqüência carbonática-clástica é o produto da interação de uma plataforma carbonática com um sistema de leques aluviais correspondente às porções média e superior do Grupo Barra Nova. A seqüência oceânica retrogradante forma-se a partir do Cenomaniano até o Eoceno com o afogamento da plataforma carbonática, sendo depositados basicamente folhelhos marinhos com intercalações de arenitos turbidíticos (Formação Urucutuca). Por fim a seqüência oceânica

progradante é representada por um ciclo regressivo formado por arenitos de ambiente marinho nerítico/ transicional (Formação Rio Doce), carbonatos de águas rasas (Formação Caravelas) e folhelhos depositados em ambientes de talude (Botelho Neto, 1996).

Segundo Vieira *et al.* (1994) são reconhecidas duas fases com presença de eventos vulcânicos distintos para a bacia. A primeira delas é nomeada de Formação Cabiúnas, estando intimamente relacionada ao processo de rifteamento caracterizada por basaltos de composição toleítica de idades entre 136 e 118 Milhões de anos (Mizusaki, 1993). O segundo período de magmatismo (Formação Abrolhos) possui uma importância maior devido a sua abrangência de área atingida e espessura dos derrames, envolvendo cerca de dois terços da parte submersa da bacia. O evento é datado desde o Santoniano até o Rupeliano com maior alcance no Eoceno e idades variando entre 83 a 32 Ma (Mizuzaki, 1993). A constituição dos derrames é de basaltos, diabásios, tufos, brechas vulcânicas, material piroclástico e sedimentos intercalados.

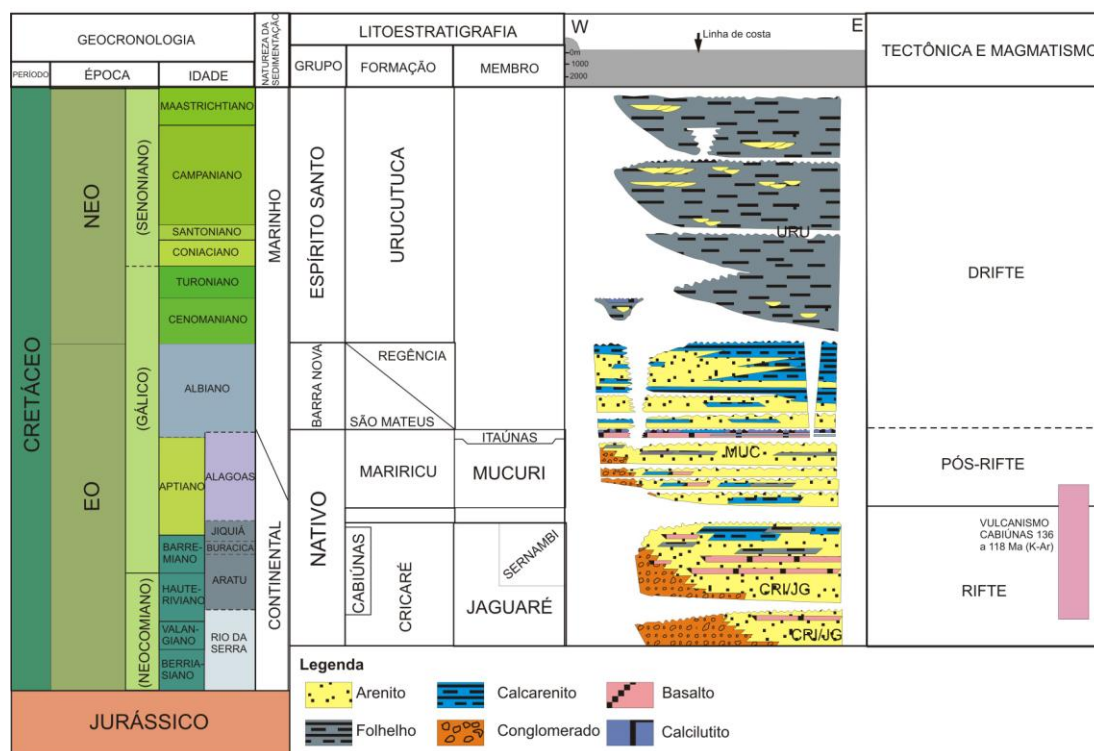


Figura III. Coluna estratigráfica para o Cretáceo da Bacia do Espírito Santo (modificado de França *et al.* 2007).

### **1.4.3 CENÁRIOS DO CRETÁCEO NAS BACIAS DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA**

O período Cretáceo teve imensa importância na evolução das bacias da margem continental brasileira devido a grande taxa de expansão da crosta oceânica, atingindo valores de até 10 cm/ano (Larson, 1991). Este processo gerou um alto percentual de espaço de acomodação nas bacias recém formadas e naturalmente alguns eventos associados ocorreram como uma atividade vulcânica acentuada e grandes transgressões marinhas

Relacionado à intensa atividade vulcânica da cadeia mesoocênica e arcos de ilha, está uma altíssima taxa de emissão de CO<sub>2</sub> atmosférico, principal fator do aumento de temperatura global neste período, principalmente no Eocretáceo (Frakes, 1999).

A grande transgressão marinha do Aptiano corrobora uma intensa atividade tectônica ocorrida na atual margem continental brasileira. Até este momento, com exceção da Bacia de Pelotas, nenhuma bacia marginal tinha sido influenciada por águas marinhas. A entrada destas águas incipientes foi responsável pela deposição de evaporitos do Andar Alagoas na Bacia do Espírito Santo (figura IV), chegando a formar depósitos deste tipo até em bacias do interior do continente (Arai, 2007). Simultaneamente, na Bacia de Pelotas as condições já eram de mar aberto. A partir do Albiano, com o caminho entre o continente africano e americano já totalmente aberto, várias bacias da margem continental brasileira passaram a registrar sedimentação marinha.



Figura IV. Mapa paleogeográfico interpretado da margem continental brasileira no Eocretáceo (Modificado de Arai, 2009).

#### 1.4.4 PALEONTOLOGIA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

Grande parte das informações paleontológicas da Bacia do Espírito Santo é relativa a microfósseis, permitindo estudos bioestratigráficos, paleoecológicos e taxonômicos relativos a diferentes grupos micropaleontológicos. Dados bioestratigráficos relativos a foraminíferos e ostracodes são representados em relatórios internos da PETROBRAS S.A., sem a disponibilidade para estudos acadêmicos.

Trabalhos palinológicos para a bacia de estudo foram propostos pela primeira vez por Regali *et al.* (1974 a,b) unificando uma coluna bioestratigráfica para o Mesozóico e Cenozóico de todas as bacias marginais brasileiras, exceto a Bacia de Pelotas. Posteriormente, Lima (1978) publicou sua tese realizada na Bacia do Araripe (Albo-aptiano) baseando-se em 224 espécies de palinomorfos encontradas, além de algumas espécies de dinoflagelados e palinoforaminíferos. Na década de 90 e nos anos 2000, dentre muitos trabalhos de palinologia publicados para o Cretáceo das bacias da margem continental brasileira, é possível

destacar os de Dino (1992) realizando uma interpretação paleoambiental e paleogeográfica de amostras do Cretáceo da Bacia Potiguar, Botelho Neto (1996) nomeando novas palinozonas e reconhecendo táxons inéditos para o Cretáceo da Bacia do Espírito Santo, Carvalho (2001), ao estudar seções de testemunhos de sondagem na Bacia de Sergipe (Albo-aptiano), identificando 72 táxons de palinomorfos e Arai (2007) constituindo uma síntese de dados na sucessão de associações de cistos de dinoflagelados e apresentando modelos paleobiogeográficos para o Atlântico Sul primitivo.

## 1.5 ESTADO DA ARTE

### 1.5.1 INTRODUÇÃO

A palinologia é o estudo morfológico dos microfósseis de parede orgânica preservados em rochas sedimentares resistentes à dissolução dos ácidos clorídrico (HCl) e fluorídrico (HF) (Traverse, 1988). A matéria orgânica persistente consiste em palinomorfos (esporos produzidos por briófitas e pteridófitas, grãos de pólen de gimnospermas e angiospermas, esporos de fungos, cistos preservados de dinoflagelados, quitinozoários, acritarcos, palinoforaminíferos, escolecodontes), fitoclastos e matéria orgânica amorfa (Traverse, 1988), a depender do ambiente e da idade em questão. A resistência destes componentes à ação de ácidos é dada pela esporopolenina (componente orgânico da parede dos palinomorfos e um dos compostos mais inertes quimicamente), o que permite a acumulação e preservação de um grande número de elementos nos sedimentos. As utilidades da palinologia atualmente estão ligadas com mais ênfase à estratigrafia, dando informações a respeito de idades relativas de sedimentos promovendo correlações de camadas, a análise dos paleoclimas e permitindo também caracterizar os paleoambientes (umidade, relevo, localização marinha ou continental) de rochas sedimentares.

### 1.5.2 DEFINIÇÕES

De acordo com Hyde & Williams (1944), **palinologia** pode ser definida como a análise de esporos, grãos de pólen e outros materiais biológicos que podem ser estudados por meio de técnicas palinológicas. Sendo a amostragem deste trabalho em rochas sedimentares, engloba-se o termo **paleopalinologia**, definido por Traverse (1988) como o estudo amplo de organismos orgânicos microscópicos fósseis obtidos por maceração das rochas sedimentares. **Palinomorfos** são organismos microscópicos de parede orgânica encontrados nos resíduos obtidos

pela maceração da rocha sedimentar incluindo grãos de pólen, esporos, algas coloniais, esporos de fungos, dinoflagelados, acritarcos, etc. (Travesse, 1988) (Figura V). O termo **palinofácies** foi definido por Combaz (1964) como sendo a assembléia de microfósseis de parede orgânica encontrados em um sedimento particular, tal como palinomorfos, fragmentos de madeira, cutículas, etc. Posteriormente, Tyson (1995) definiu palinofácies como um corpo de sedimentos contendo uma assembléia distinta de matéria orgânica palinológica refletindo uma específica condição ambiental, ou associada a uma gama de características de potencial para geração de hidrocarbonetos.

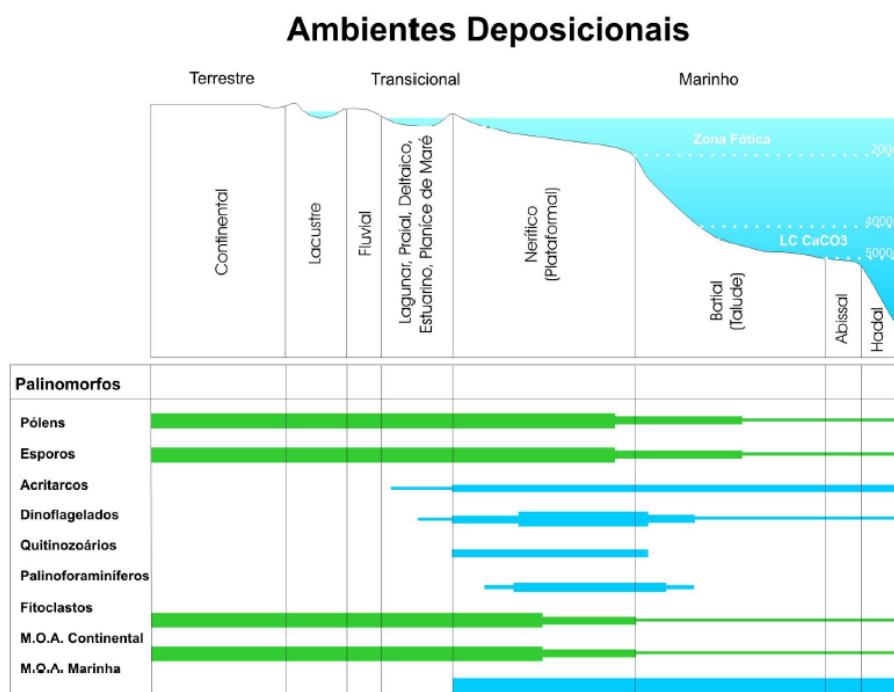


Figura V. Distribuição dos palinomorfos, fitoclastos e matéria orgânica amorfa nos ambientes sedimentares (modificado de Seyve, 1990).

A análise por palinofácies envolve o estudo integrado de todos os aspectos das assembléias de matéria orgânica, tais como: identificação dos componentes particulados individuais (querogênio), determinação de suas proporções relativas e absolutas, seus tamanhos e estado de preservação (Carvalho *et al.*, 2005). A caracterização paleoambiental através do método palinofaciológico consiste na visualização de distintas fácies relacionadas a variações do nível do mar e influência terrígena.



### **1.5.3 RELEVÂNCIA BIOESTRATIGRÁFICA E PALEOAMBIENTAL DA PALINOLOGIA**

A palinologia possui importância em reconstruções paleoambientais de depósitos sedimentares pois a ocorrência de microfósseis de parede orgânica em quantidade relevante nos sedimentos expressa as condições nas quais os conjuntos foram formados. A presença da matéria orgânica particulada pode informar condições paleoecológicas, paleoambientais e climáticas que dominavam determinados sítios sedimentares em suas referidas épocas de deposição através de um estudo de palinofácies (Antunes & Melo, 2001).

Para estas considerações paleoambientais, normalmente são usados dados quantitativos de elementos orgânicos recuperados em um processamento descrito neste trabalho visando resultados associados à porcentagem dos elementos identificados. Os palinomorfos continentais, por serem normalmente fósseis alóctones (sujeitos a grande transporte por vias aéreas, aquáticas ou biológicas) podem ser encontrados em diferentes ambientes, sendo parâmetros associados à sua abundância, frequência e diversidade muito importantes de serem revisados no estudo paleoambiental.

Já os microfósseis de parede orgânica aquáticos quando morrem são depositados no substrato sofrendo um curto processo de transporte. Estes organismos podem ser considerados autóctones quando vivem fixos no substrato do corpo d'água (bentônicos) como por exemplo os palinoforaminíferos ou para-autóctones caso sejam organismos planctônicos exemplificado pelos acritarcos, quitinozoários, dinocistos e algas fósseis. Portanto refletem as condições ambientais predominantes naquele ecossistema no período de sedimentação.

Devido à relativa abundância em depósitos sedimentares, os microfósseis de parede calcária e orgânica também são essenciais para a bioestratigrafia em estudos de datações relativas. A aplicabilidade da palinologia na estratigrafia se deve ao fato de que os palinomorfos, ao contrário dos demais fósseis, são comumente encontrados em rochas tanto no ambiente continental quanto no marinho favorecendo assim correlações entre estes dois ambientes (Christopher & Goodman, 1996).

### **1.5.4 MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA CONTINENTAL**

Em geral, a reprodução de vegetais inferiores e superiores é realizada através da polinização que consiste na liberação de grãos de pólen e esporos pela planta-mãe, sendo estes transportados por distâncias muito variáveis até atingirem

órgãos reprodutores de outras plantas, serem destruídos neste transporte, ou depositarem como partículas nos sedimentos representando um componente orgânico. Devido ao amplo transporte e abundância no registro sedimentar, os palinóforos continentais possuem grande valor estratigráfico para a datação de sedimentos lacustres, fluviais, lagunares, etc. além de auxiliar na correlação de estratos marinhos (Carvalho *et. al.*, 2004) e na definição de paleoambientes envolvendo mudanças climáticas e sucessões ecológicas.

#### - GRÃOS DE PÓLEN

Os grãos de pólen são estruturas microscópicas produzidas por gimnospermas e angiospermas capacitadas de transportar o gametófito masculino desde a antera até o estigma para que possa ocorrer a fertilização. São encontrados no registro geológico desde o Carbonífero com o surgimento das gimnospermas e posteriormente as angiospermas (Jurássico Superior) até o Recente.

#### - ESPOROS

Os esporos são células assexuadas dos vegetais primitivos (briófitas e pteridófitas), fungos e algas. Eles são formados no processo de meiose em que uma célula-mãe proporciona a origem de quatro células filhas. Estas estruturas são encontradas no registro desde o Ordoviciano ao Recente.

### **1.5.4 MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA MARINHA**

#### - DINOCISTOS

Os dinoflagelados fósseis são estruturas muito pequenas (entre 5 a 200  $\mu\text{m}$ ) e representam apenas o cisto formado na fase imóvel do ciclo de vida do indivíduo (Figura VI). A composição química deste cisto é predominantemente constituída de dinosporina (composto resistente similar a esporopolenina dos grãos de pólen e esporos) e sua marca peculiar é a morfologia assimétrica, sendo sua orientação (epiteca e hipoteca) muito importante na identificação. Para ser considerado um dinoflagelado, o indivíduo deve possuir uma parede organizada em paraplasmas, uma cintura transversal chamada de cíngulo, uma abertura denominada de arqueopilo e uma depressão longitudinal da face ventral chamada de sulco (Carvalho, 2004).

Os dinoflagelados são encontrados predominantemente no mar, porém existem também espécimes transicionais. Seu principal ambiente de vida é o plâncton marinho, onde fatores como disponibilidade de nutrientes, oxigenação, luminosidade, temperatura e salinidade são favoráveis aos seus ciclos vitais (Wall *et al.*, 1977).

A distribuição estratigráfica mundial dos dinocistos ocorre desde o Triássico Superior, atingindo níveis muito altos no Cretáceo e Paleógeno. No Brasil, os dinoflagelados aparecem em quantidade a partir do Eocretáceo devido a separação do supercontinente Gondwana e aparecimento definitivo do Oceano Atlântico.

Os dinocistos possuem, em geral, boas características de fósseis-guias devido a sua grande dispersão geográfica, rápida evolução e conhecidos intervalos de aparecimento e extinção, sendo este um grupo com grande potencial biocronoestratigráfico.

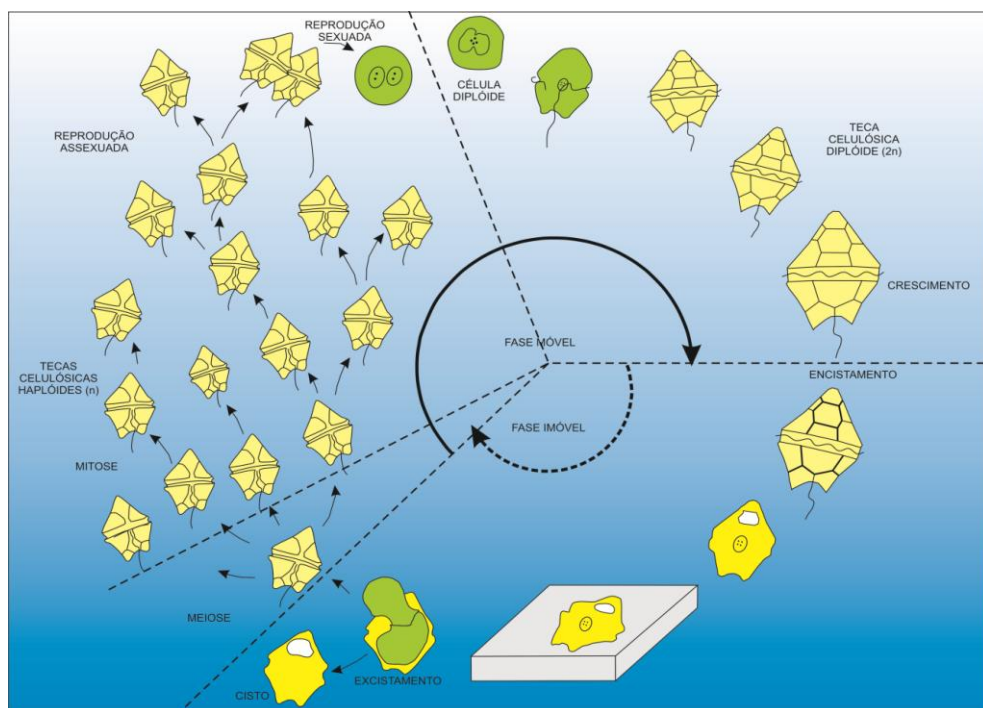


Figura VI. Ciclo de vida esquemático de um dinoflagelado produtor de cisto. Este é formado no início da fase imóvel do ciclo, sendo a única parte fossilizável do dinoflagelado (modificada de Evitt, 1985 *apud* Arai, 2007).

#### - PALINOFORAMINÍFEROS

O termo palinoforaminífero foi inicialmente citado por Pantic & Bajkarevic (1988) no embasamento de descrições de testas de foraminíferos recuperados após processamento palinológico. Ainda não há um consenso se estes

representam o revestimento interno de testas de foraminíferos ou então são foraminíferos compostos apenas de testas orgânicas (Ferreira, 2004).

No presente projeto foi adotado o termo palinoforaminífero sem implicações de tamanho e origem, porém por sua ocorrência apresentar indicações paleoambientais de foraminíferos ali depositados, é de suma importância catalogá-los.

#### - ACRITARCOS

Os acritarcos são caracterizados por cistos de parede orgânica de um material semelhante a esporopolenina composta por politerpenos (Martin, 1993) e possuem organização celular eucariótica. Sistemáticamente estes protistas unicelulares são considerados vegetais, assim como as algas (Félix, 2012). Segundo Strother (1996), o grupo representa o registro fóssil da base da cadeia alimentar durante muitos períodos do Fanerozoico e, em conjunto com as cianobactérias, fazem parte da reconstrução da história dos organismos autótrofos. De acordo com Cardoso (1995) raras exceções de registros são de água doce (Permiano e Pleistoceno) sendo todos os demais encontrados em sedimentos marinhos ou em águas salobras.

#### - FITOCLASTOS

Os fitoclastos (termo introduzido por Bostick, 1971) são partículas muito resistentes de origem continental presentes em abundância na matéria orgânica particulada analisada. São provenientes de tecidos lenhosos (xilema) de vegetais superiores e hifas de fungos (Tyson, 1995) compostos por uma substância altamente resistente à decomposição chamada de linhita. A classificação dos fitoclastos é feita levando em conta sua cor, ornamentação e forma, sendo importantes caracterizadores do nível de transporte dos sedimentos e condições de energia no ambiente deposicional.

São também caracterizados como fitoclastos os tecidos epitermais de vegetais, sendo estes não lenhosos e possuindo um menor percentual de preservação (ex. cutículas).

#### - MATÉRIA ORGÂNICA AMORFA

Representada pelo material desagregado, não estruturado e substâncias orgânicas de impossível identificação, a matéria orgânica amorfa é denominada como um termo genérico para o fitoplâncton que habitava o corpo aquoso (Antunes

& Melo, 2001). A sua sedimentação e preservação está associada a ambientes distantes da área-fonte, representando também um indicador de transporte dos sedimentos amostrados.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

A relação a seguir lista as técnicas utilizadas resumindo pontos relevantes como objetivo da técnica, produto gerado e amostragem necessária.

### **2.1 ETAPA DE PROCESSAMENTO PALINOLÓGICO DAS AMOSTRAS**

A seleção de amostras foi feita com base nos perfis estratigráficos da Bacia do Espírito Santo priorizando níveis pelíticos relevando a potencialidade palinológica dos níveis selecionados. O processamento palinológico tem por objetivo remover da rocha somente o seu material orgânico para a análise em microscopia óptica dos microfósseis e demais componentes recuperados.

#### **2.1.1 PREPARAÇÃO PALINOLÓGICA**

A metodologia refere-se ao método de preparação de amostras, para recuperação de microfósseis de parede orgânica, objetos de estudo da palinologia. Os procedimentos de extração e concentração da matéria orgânica particulada da rocha exigem a aplicação de uma série de reagentes químicos, equipamentos adequados e cuidados durante o manuseio dos ácidos (Quadros & Melo, 1987; Wood *et al.*, 1996). Para o estudo em questão foi utilizada uma técnica padrão que envolve o emprego de ácidos (48% ácido clorídrico- HCl e 37% ácido fluorídrico- HF) tentando eliminar, da melhor forma possível, os constituintes minerais da rocha a fim de obter um resíduo final rico em palinomorfos. Todos os procedimentos laboratoriais de processamento das amostras foram realizados no Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Instituto de Geociências da UFRGS.

#### **2.1.2 DESAGREGAÇÃO FÍSICA**

Para o início dos procedimentos cada amostra foi pesada, separando-se 10-20 g de rocha para o processamento.

Dentro de um recipiente de porcelana, cada amostra foi fragmentada separadamente com a utilização de um martelo, tomando cuidado para não pulverizar a amostra, pois isto poderia ocasionar a quebra dos palinomorfos. Posteriormente, o conteúdo foi peneirado em malha de 2 mm, para que os fragmentos com dimensões menores fossem descartados (figura VII).



Figura VII. Separação do fragmento de rocha (A e B), trituração manual (C) e amostra pronta para adição de ácido (D).

### 2.1.3 DESAGREGAÇÃO QUÍMICA

Antes do início das atividades foram tomados alguns procedimentos de segurança, como a utilização de jaleco, luvas e óculos de proteção, pois o tratamento palinológico envolve a utilização de ácidos nocivos à saúde.

As amostras peneiradas foram colocadas em béqueres de plástico de 1000 ml, devidamente identificados e, em seguida, levadas para a capela. Dentro da capela, com o exaustor ligado iniciou-se o processo de tratamento com um teste a fim de averiguar a presença de minerais carbonáticos. Para isso, utilizou-se algumas gotas de ácido clorídrico (HCl 37%) em alguns fragmentos separados das amostras.

A próxima etapa constitui-se no ataque aos silicatos com a adição de ácido fluorídrico (HF 42%). Em béqueres plásticos separados, cada amostra foi coberta por ácido fluorídrico, tomando o cuidado de adicionar o ácido aos poucos, pois a reação pode ser extremamente violenta e exotérmica. Visando a destruição dos

silicatos de maneira mais eficiente, deixou-se as amostras reagindo por vinte e quatro horas (figura VIII)

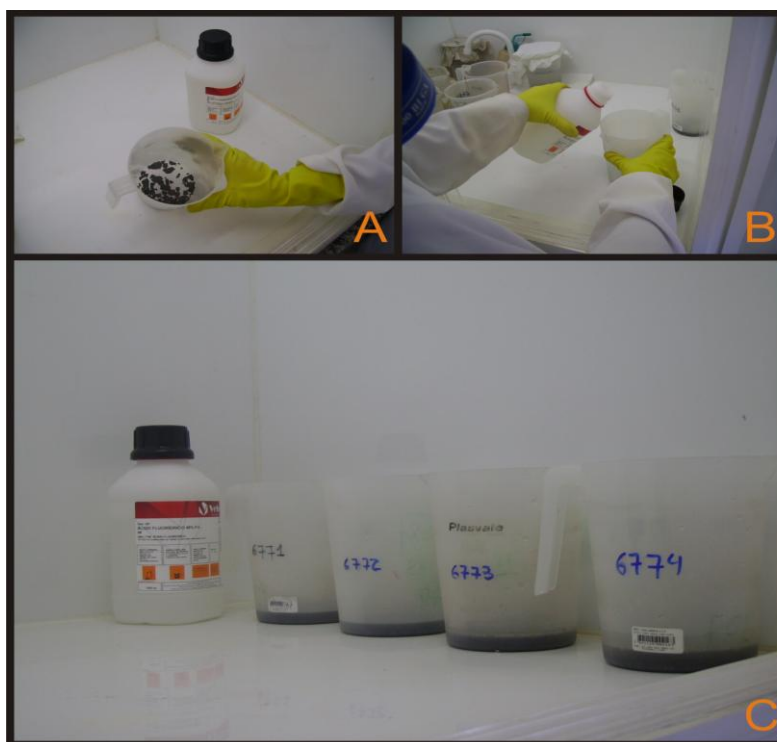


Figura VIII. Separação para adição de ácido (A), dissolução dos minerais com ácido fluorídrico (B) e lavagem por decantação (C).

Os resíduos processados e já neutralizados foram transferidos para béqueres de vidro. Dentro da capela, para cada amostra adicionou-se ácido clorídrico até atingir o dobro do seu volume. Após a adição do ácido, os béqueres foram aquecidos em uma chapa quente. Este procedimento visa a destruição dos minerais neoformados durante a adição dos ácidos das etapas anteriores. A temperatura das soluções foi controlada com a utilização de um termômetro até que estas atingissem 60°C.

Temperaturas mais elevadas devem ser evitadas, pois podem destruir os palinomorfos. Atingida a temperatura ideal, os béqueres foram retirados da chapa quente e as soluções foram neutralizadas (figura IX).





Figura IX. Aquecimento dos béqueres em chapa quente (A) e medição da temperatura das soluções (B).

#### 2.1.4 PENEIRAMENTO

Para a concentração do resíduo orgânico processado, foi utilizada uma peneira granulométrica com malha de 10  $\mu\text{m}$ . Em uma pia todas as amostras foram peneiradas separadamente, tomando-se a precaução de lavar a peneira no intervalo entre os peneiramentos de cada amostra evitando assim, possíveis contaminações. Este procedimento visa a eliminação do material menor que 10  $\mu\text{m}$  indesejável, normalmente constituído de matéria orgânica amorfa que envolve os microfósseis, o que dificulta a observação e principalmente a identificação taxonômica ao microscópio (figura X).

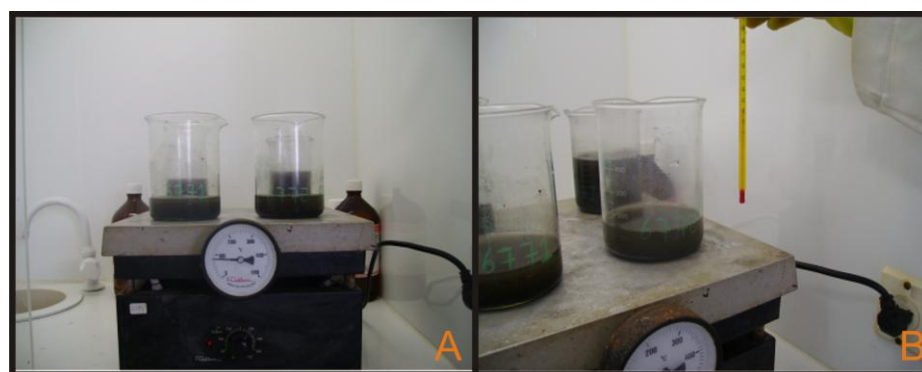


Figura X. Peneiras usadas no processo (A) e peneiramento de amostra específica (B, C e D).

### 2.1.5 CONFECÇÃO DE LÂMINAS PALINOLÓGICAS

Para a preparação das lâminas palinológicas, utilizou-se lamínulas e lâminas de vidro. As lâminas foram devidamente identificadas e nomeadas e serão depositadas posteriormente na Palinoteca do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo da UFRGS com um código para ter sua identificação facilitada (ex. MP-P 5981).

Para a preparação das lâminas foram utilizados canudos descartáveis para retirar o resíduo palinológico dos recipientes onde as amostras foram armazenadas. Em uma chapa quente com temperatura aproximada de 60°C, a lamínula foi aquecida e, sob ela foram colocadas de duas a três gotas de resíduo e logo após foram acrescentadas duas gotas de cellosize (solução colocada para aderir o resíduo à lamínula e impedir a proliferação de fungos). Com auxílio de um palito, misturou-se o resíduo e o cellosize até sua homogeneização, aguardando a evaporação total da água da lamínula. Em seguida, após a secagem, retirou-se a lamínula da chapa quente colocando-a em uma bancada, onde a colagem da lamínula foi concluída com a adição de duas gotas de *Entellan*. Os quadros I e II são referentes a respectiva profundidade de coleta para os poços selecionados para o estudo e o código de busca.

Quadro I. Amostragem selecionada e respectiva profundidade das lâminas confeccionadas do poço BES-01.

	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Lâminas (MP-P)</b>
<b>POÇO BES-01</b>	827,30	5981
	849,7	5982
	867,5	5983
	885,55	5984
	886,3	5985
	888,15	5986
	896,6	5987
	908,8	5988
	971,3	5989
	972,6	5990
	980,9	5991
	985,3	5992

Quadro II. Amostragem selecionada e respectiva profundidade das lâminas confeccionadas do poço BES-02.

	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Lâminas (MP-P)</b>
<b>POÇO BES-02</b>	666,55	6007
	673,5	6008
	677,5	6009
	686,2	6010
	703,3	6011
	708,7	6012
	727,8	6013
	729,0	6014
	759,2	6015
	768,3	6016
	769,3	6017
	770,5	6018

Cuidados adotados envolvem principalmente o manuseio de ácidos perigosos para a saúde humana, sendo necessário o uso de máscaras, luvas e roupas apropriadas em todas as etapas nomeadas. Importante também é a atenção em relação a contaminação e perda de material palinológico, sendo importante a utilização de água destilada nas etapas de neutralização dos ácidos e a boa lavagem e secagem das peneiras na etapa de peneiramento.

## 2.2 ANÁLISE PALINOLÓGICA

Os palinomorfos e fitoclastos comumente recuperados do Mesozoico possuem um diâmetro geral que pode variar de 25 a 250  $\mu\text{m}$ , exigindo assim um bom microscópio óptico, equipado com um conjunto de objetivas de 100x a 1000x, permitindo grandes aumentos a fim de detalhar ao máximo a morfologia dos elementos para a sua futura classificação; e luz ultravioleta refletida (fluorescência) para a melhor visualização dos elementos marinhos (dinoflagelados). Este método resulta da propriedade de algumas substâncias absorverem a energia da radiação ultravioleta emitindo posteriormente a radiação dentro do espectro de luz visível.

O estudo morfológico foi efetuado com a utilização de um microscópio óptico binocular Olympus BX51 (figura XI) equipado com uma máquina digital

acoplada (Olympus/Camedia) para a realização de fotomicrografias digitais de espécimes que representam os táxons mais importantes.

### 2.2.1 IDENTIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA

A etapa de leitura de lâminas se inicia com a identificação de seus componentes, baseando-se sempre nas características básicas para as determinações (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et. al.*, 2001). Assim sendo, estes são basicamente: palinórfos (grãos de pólen, esporos, dinoflagelados, palinoforaminíferos, etc.), fitoclastos (opacos, bioestruturados, cutículas, etc.), matéria orgânica amorfa e alguns minerais não dissolvidos no processamento das amostras.

### 2.2.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

A análise é realizada fazendo-se a leitura da lâmina através de seções transversais e verticais. Para cada nível são contadas todas as partículas relativas a palinórfos, matéria orgânica amorfa e fitoclastos, até chegar a parcela de saturação para a quantificação de 200 palinórfos (Mendonça-Filho, 2001). A partir deste ponto foram produzidos gráficos no programa Tilia/TGView Graphs® para a melhor visualização e interpretação de presença percentual e abundância de elementos da matéria orgânica particulada.



Figura XI. Análise palinológica do material processado em microscopia óptica (A e B).

### 2.2.3 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

A interpretação paleoambiental foi feita a partir de modelos de zoneamentos propostos por autores com trabalhos importantes para a Bacia do Espírito Santo como Botelho Neto, (1996) e também por índices de presença e abundância de determinados elementos para o cálculo de razões importantes para caracterização paleoecológica.

Os pontos críticos desta etapa passam pela preservação dos microfósseis encontrados nas lâminas e sua identificação taxonômica em microscopia. Cuidados adotados envolvem a atenção na parte de identificação taxonômica e também na orientação da lâmina palinológica para a futura localização de pontos com microfósseis importantes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são expostos os resultados das análises palinológicas realizadas nos poços BES-01 e BES-02. Os dados estão apresentados por poço de forma sequencial para facilitar o entendimento.

Os resultados descritos se basearam em tabelas de ocorrência e abundância dos conjuntos de matéria orgânica particulada (figura XII) presentes nas amostras analisadas para inferências de características paleoambientais. e também tabelas de ocorrência de táxons identificados para a determinação de idades e posicionamento bioestratigráfico. Para esta etapa, foram analisados e comparados biozoneamentos já propostos por Regali *et al.*, (1974 a,b) para as bacias marginais brasileiras, com exceção da Bacia de Pelotas, e Botelho Neto (1996) com estudo específico para a Bacia do Espírito Santo. A compilação da amplitude estratigráfica de táxons importantes para o estudo bioestratigráfico está apresentada na figura XIII.

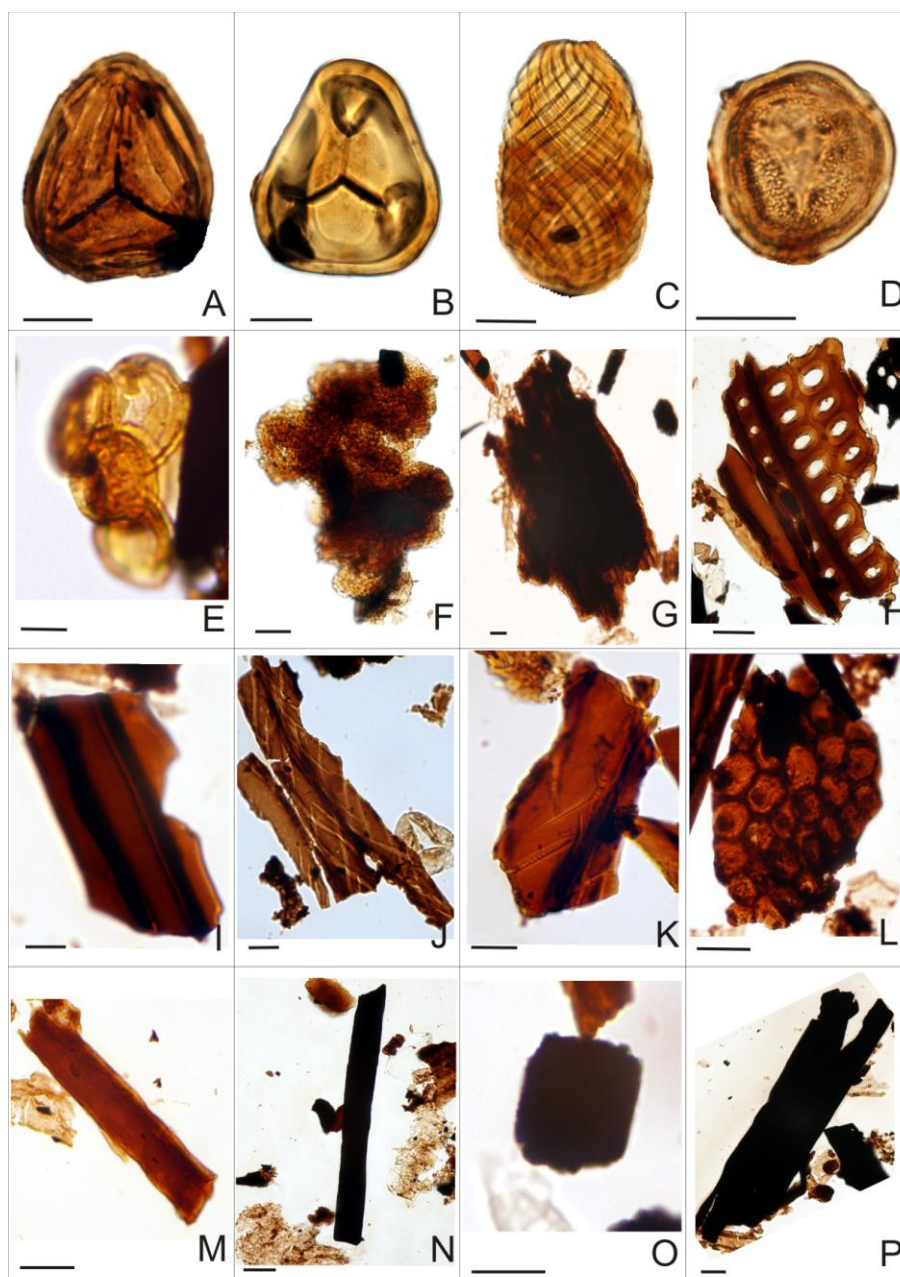


Figura XII. Componentes da matéria orgânica particulada continental. A, B. Esporos. C, D. Grãos de pólen, E. Políade, F. Matéria orgânica amorfa, G. Fitoclasto não-opaco não-bioestruturado corroído, H. Fitoclasto não-opaco bioestruturado perfurado, I. Fitoclasto não-opaco bioestruturado bandado, J. Fitoclasto não-opaco bioestruturado listrado, K. Fitoclasto não-opaco bioestruturado estriado, L. Cutícula, M. Fitoclasto não-opaco não-bioestruturado não-degradado, N. Fitoclasto opaco alongado, O. Fitoclasto opaco equidimensional, P. Fitoclasto opaco corroído. Escala = 20  $\mu\text{m}$ .

### 3.1 POÇO BES-01

#### 3.1.1 Qualidade da matéria orgânica particulada

Das doze amostras analisadas, cinco apresentaram conjuntos palinológicos abundantes e diversificados sendo estas usadas para a construção de uma análise paleoecológica e posicionamento bioestratigráfico. Sete amostras apresentaram baixo teor de preservação da matéria orgânica particulada (palinomorfos, fitoclastos e matéria orgânica amorfa), algumas com alto percentual de cristais opacos de pirita, característicos de precipitação em ambientes redutores, e outros minerais translúcidos.

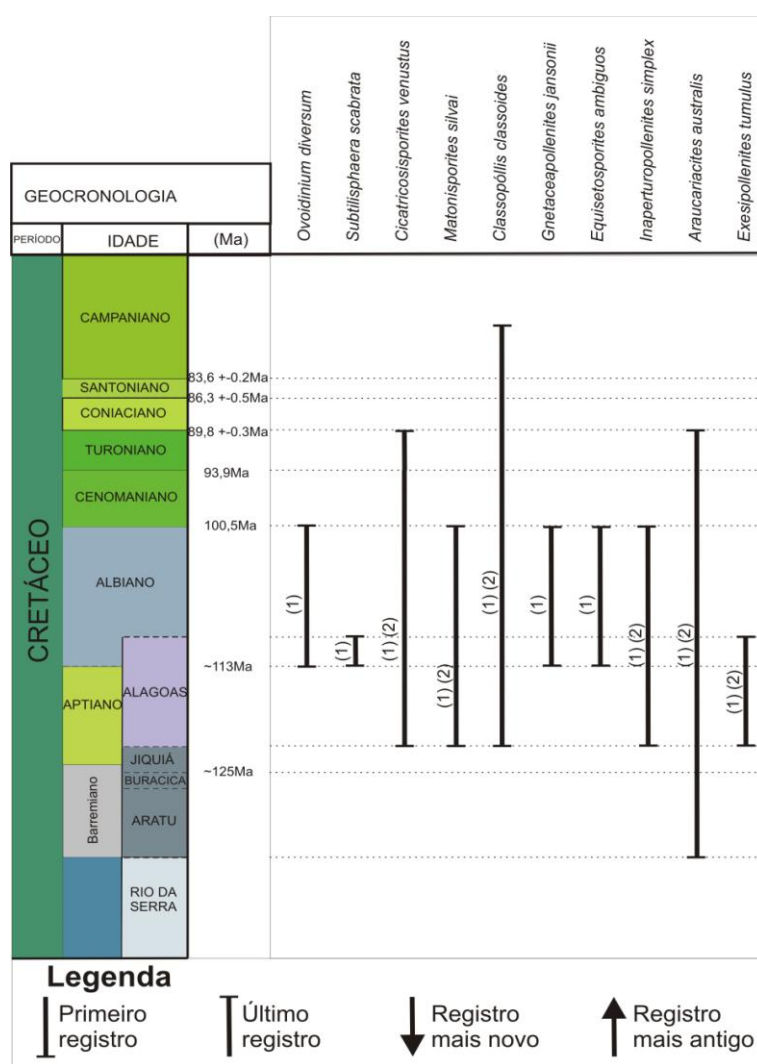


Figura XIII. Registros prévios de amplitude estratigráfica de espécies selecionadas identificadas nas amostras utilizadas neste trabalho nos poços BES-01 e BES-02. Dados compilados das seguintes publicações: Regali *et al.*(1974 a,b), representado pelo número 2 e Botelho Neto (1996), representado pelo número 1 na figura.



As contagens realizadas objetivaram identificar a tendência de distribuição do conjunto da matéria orgânica particulada nas amostras analisadas. A contagem geral com a abordagem dos grupos de fitoclastos (translúcidos e opacos), matéria orgânica amorfa e palinomorfos está apresentado na figura XIV.

Os palinomorfos recuperados neste poço incluem grãos de pólen, esporos e esporos de fungo de origem continental; dinocistos, palinoforaminíferos e acritarcos de origem marinha. Estes elementos ocorrem em distintas proporções ao longo do perfil. Das cinco amostras férteis, apenas a mais basal de profundidades 985,3 m não apresenta microfósseis marinhos sendo as quatro amostras subsequentes de origem marinha. Três gêneros de dinoflagelados foram identificados, sendo a espécie *Subtilisphaera scabrata* a mais comum observada em três níveis. Uma característica comum aos cistos de dinoflagelados preservados é a sua coloração hialina que muitas vezes os tornam imperceptíveis, sendo suas formas e características observadas com o auxílio da luz fluorescente ao microscópio (figura XV F, H).

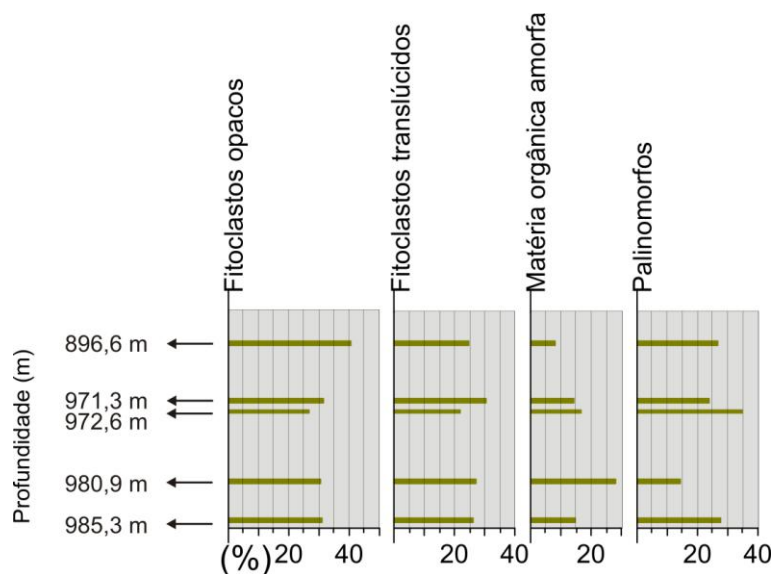


Figura XIV. Amostragem do poço BES-01 com representação dos níveis férteis e porcentagem de distribuição geral do conjunto de matéria orgânica particulada nas amostras analisadas.

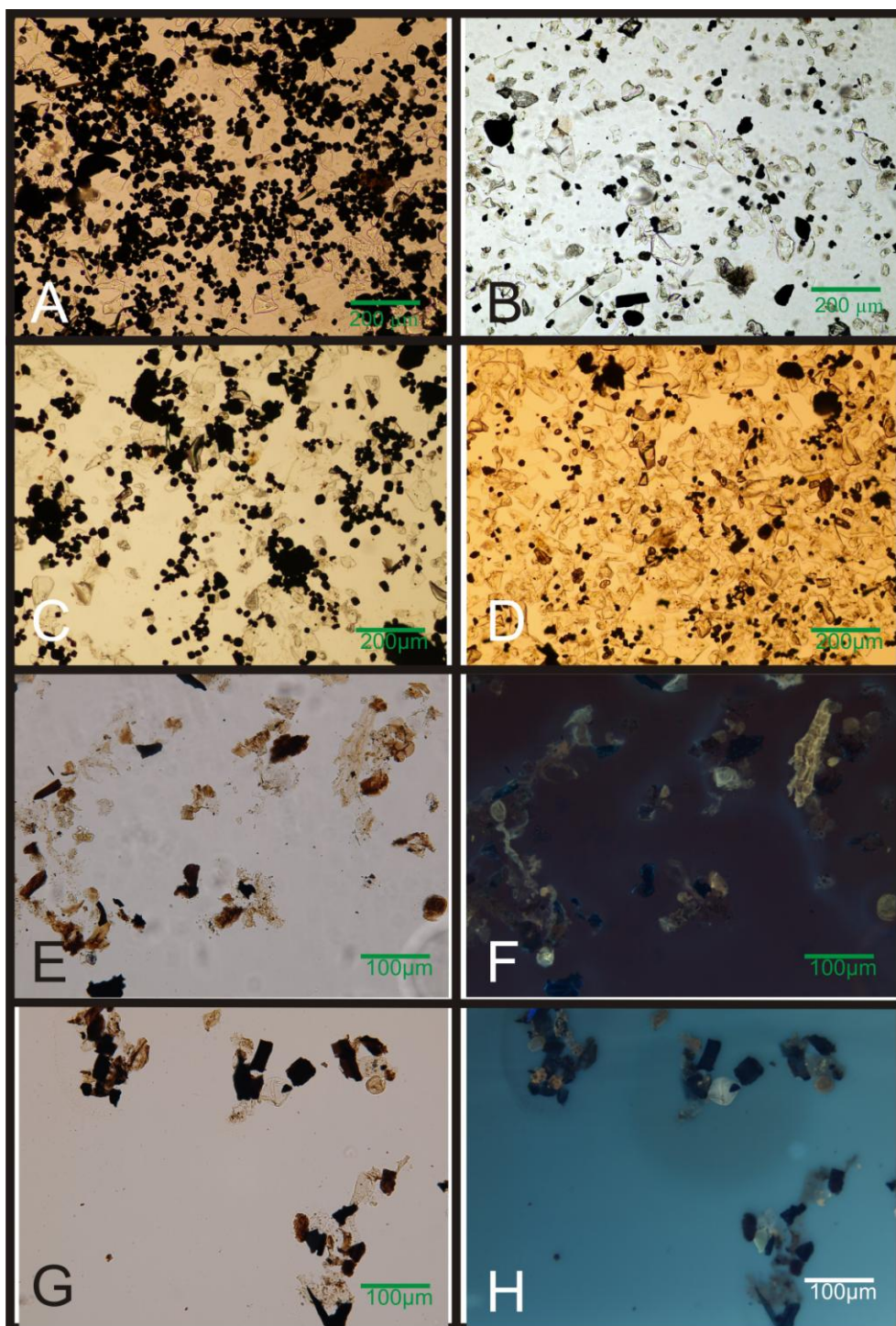


Figura XV.A;C: Agregados de minerais opacos cúbicos(pirita) em lâmina palinológica. B;D: Grande quantidade de minerais translúcidos distribuídos em lâmina palinológica, com baixa presença de matéria orgânica preservada. E;G: Vista geral de lâmina palinológica de associação marinha com equivalente vista sob efeito de fluorescência (F;H) de elementos marinhos.

Palinoforaminíferos, em sua maioria, aparecem bem preservados. Apresentam estrutura espiralada e sua coloração varia em tons de amarelo. Foram registrados em todos os níveis marinhos amostrados. Os acritarcos apresentam baixa frequência em três níveis, representados pelo gênero *Navifusa*.

Os palinomorfos de origem continental apresentam preservação entre regular a ótima ao longo do perfil, com coloração de castanho a amarelo fraco. Os grãos de pólen possuem frequência maior em comparação aos esporomorfos registrados com destaque ao gênero *Classopollis*, proveniente de uma família extinta de gimnospermas (Cheirolepidaceae).

Os táxons encontrados no poço BES-01 foram identificados em nível genérico ou específico com base na consulta e comparação com trabalhos palinológicos publicados para o Mesozóico da Bacia do Espírito Santo (Botelho Neto, 1996) e demais bacias marginais brasileiras (Regali *et. al.* 1974 a,b; Lima, 1978; Dino, 1992). A lista completa dos táxons identificados é apresentada no quadro III, com a respectiva distribuição estratigráfica nos cinco níveis representantes.

Quadro III. Distribuição dos palinomorfos no poço BES-01.

<b>Palinomorfos</b>	<b>896,6</b>	<b>971,3</b>	<b>972,6</b>	<b>980,9</b>	<b>985,3</b>
<b>Esporos</b>					
<i>Appendicisporites</i> sp.			*		
<i>Cicatricosisporites</i> sp.1	*				
<i>Cicatricosisporites</i> sp.2		*			*
<i>Cicatricosisporites venustus</i> Deak, 1963		*			
<i>Cicatricosisporites</i> sp.3	*	*	*		
<i>Cyathidites australis</i> Couper, 1953	*	*			*
<i>Deltoidospora</i> sp.	*		*		
<i>Foveomonoletes</i> sp.			*		
<i>Matonisporites silvaïi</i> Lima, 1978	*	*	*		*
<i>Retitriletes</i> sp.			*		
<b>Grãos de pólen</b>					
<i>Araucariacites australis</i> Cookson, 1947		*			
<i>Classopollis alexia</i> Burger, 1965	*		*		*
<i>Classopollis classoides</i> Pflug, 1953	*		*	*	*
<i>Classopolis torosus</i> (Reissinger, 1950) Couper, 1958		*	*	*	
<i>Exesipollenites tumullus</i> . Balme, 1957		*			
<i>Gnetaceapollenites jansonii</i> (Pocock, 1964) Lima, 1978			*		*
<i>Gnetaceapollenites oreadis</i> Srivastava, 1968		*	*		
<i>Inaperturopollenites dubius</i> Thomson e Pflug, 1953		*			
<i>Inaperturopollenites simplex</i> Regali, Uesugi & Santos, 1974	*	*			
<b>Dinoflagelados</b>					
<i>Ovoidinium diversum</i> Davey, 1979	*				
<i>Subtilisphaera scabrata</i> Jain & Millepieid, 1973		*	*	*	
<i>Spiniferites</i> sp.	*	*		*	
<b>Palinoforaminíferos</b>					
Palinoforaminíferos indeterminados	*	*	*	*	
<b>Acritarcos</b>					
<i>Navifusa</i> sp.		*	*	*	
<b>Fungos</b>					
Hifa de fungo	*	*	*	*	

### 3.1.2 Frequência dos grupos da matéria orgânica particulada

O registro de fitoclastos é expressivo ao longo das amostras do perfil sendo os fitoclastos opacos mais presentes em relação aos translúcidos, atingindo porcentagens próximas a 40% na amostragem de número seis. A matéria orgânica amorfa apresenta porcentagens mais baixas, com o pico em torno de 30% no nível 980,9 m. Já os palinomorfos totais, nos quais atingem sempre o número absoluto de 200 partículas apresentam porcentagens variáveis ao longo do perfil, com maior quantidade relativa no nível 972,6 m e valores inferiores a 20% no nível 980,9 m. Os palinomorfos mais representativos são continentais.

A figura XVI apresenta um gráfico percentual dos palinomorfos encontrados nas amostras do poço BES-01. É possível visualizar abundância em todas as amostras analisadas de grãos de pólen rimulados, representados majoritariamente pelo gênero *Classopollis*. É identificável também a ausência de elementos marinhos no nível basal analisado (amostra 985,3 m) com um acréscimo considerável de dinocistos e palinoforaminíferos nos níveis subsequentes. O nível a 980,9 m registra uma porcentagem superior a 20% de elementos marinhos, sendo este o nível mais representativo do microplâncton dos oceanos.

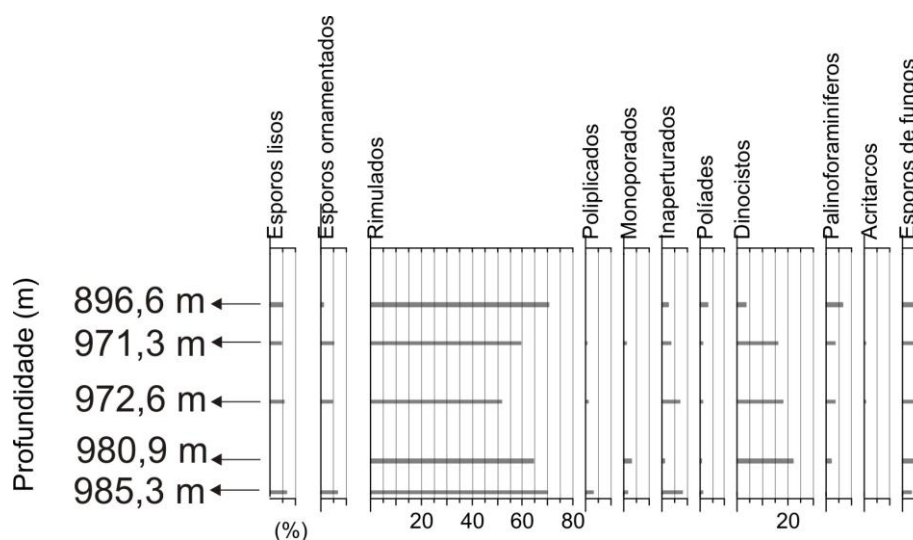


Figura XVI. Distribuição por grupos de palinomorfos registrados nas amostras do poço BES-01.

Os esporos lisos e ornamentados possuem baixa representatividade ao longo do perfil, e suas porcentagens não passam dos 10% do registro total de palinomorfos. Chama a atenção suas dimensões normalmente avantajadas nas lâminas (40  $\mu\text{m}$  ou mais) sendo sua identificação facilitada. Os gêneros

*Matonisporites* Lima, 1978 (esporos lisos) e *Cicatricosisporites* Pontonié e Gelletich, 1933 (esporos ornamentados) possuem maior representatividade entre este grupo.

### **3.1.3 Interpretação paleoecológica**

O comportamento de distribuição do querogênio na seção estudada do poço BES-01 demonstra um ou uma sequência de intervalos marinhos abrangendo os níveis de 980,9 m a 896,6 m e um intervalo continental no nível mais basal. A partir da tendência de distribuição da MOP nas amostras analisadas (figura XVII), dois conjuntos palinológicos foram definidos e descritos a seguir:

#### **3.1.3.1 Conjunto I: amostra 985,3m de profundidade**

O conjunto é caracterizados pela ausência de microfósseis marinhos representando um ambiente continental. A matéria orgânica amorfa aparece em quantidade baixa, em torno de 15% da MOP (matéria orgânica particulada) total. O número de políades (agregados de grãos de pólen) é alto em comparação ao restante das amostras do poço, sendo a composição destes conjuntos representada por grãos de pólen rimulados. Esporos lisos e ornamentados, representantes de vegetais continentais apresentam sua maior frequência em todo o perfil.

A vegetação continental está representada em maior quantidade por elementos da família de gimnospermas extinta Cheirolepidaceae, sendo estes bons indicadores paleoclimáticos.

#### **3.1.3.2 Conjunto II: amostras de 980,9m a 896,6m de profundidade**

O conjunto II é representado pela presença de elementos marinhos (dinocistos, acritarcos e palinoforaminíferos). Os dinocistos apresentam maior frequência no nível a 980,9 m (22% dos palinomorfos totais) e vão diminuindo gradativamente em direção ao topo do perfil. Já com os palinoforaminíferos ocorre o contrário, apesar de estes microfósseis aparecerem em pequena quantidade, assim como os acritarcos.

A MOA (matéria orgânica amorfa) ocorre em maior quantidade relativa no nível 980,9 m com 28%, seguindo o mesmo caminho dos dinocistos e regredindo em direção ao topo da seção. Os elementos continentais ocorrem em maioria nas amostras, novamente com os grãos de pólen rimulados tendo grande representatividade.

A presença de elementos marinhos, juntamente com um percentual considerável de MOA caracterizam um ambiente marinho para o conjunto. O grande influxo de água doce no registro é diagnosticado pela presença de matéria orgânica lenhosa opaca e translúcida em abundância similar e palinomorfos continentais.

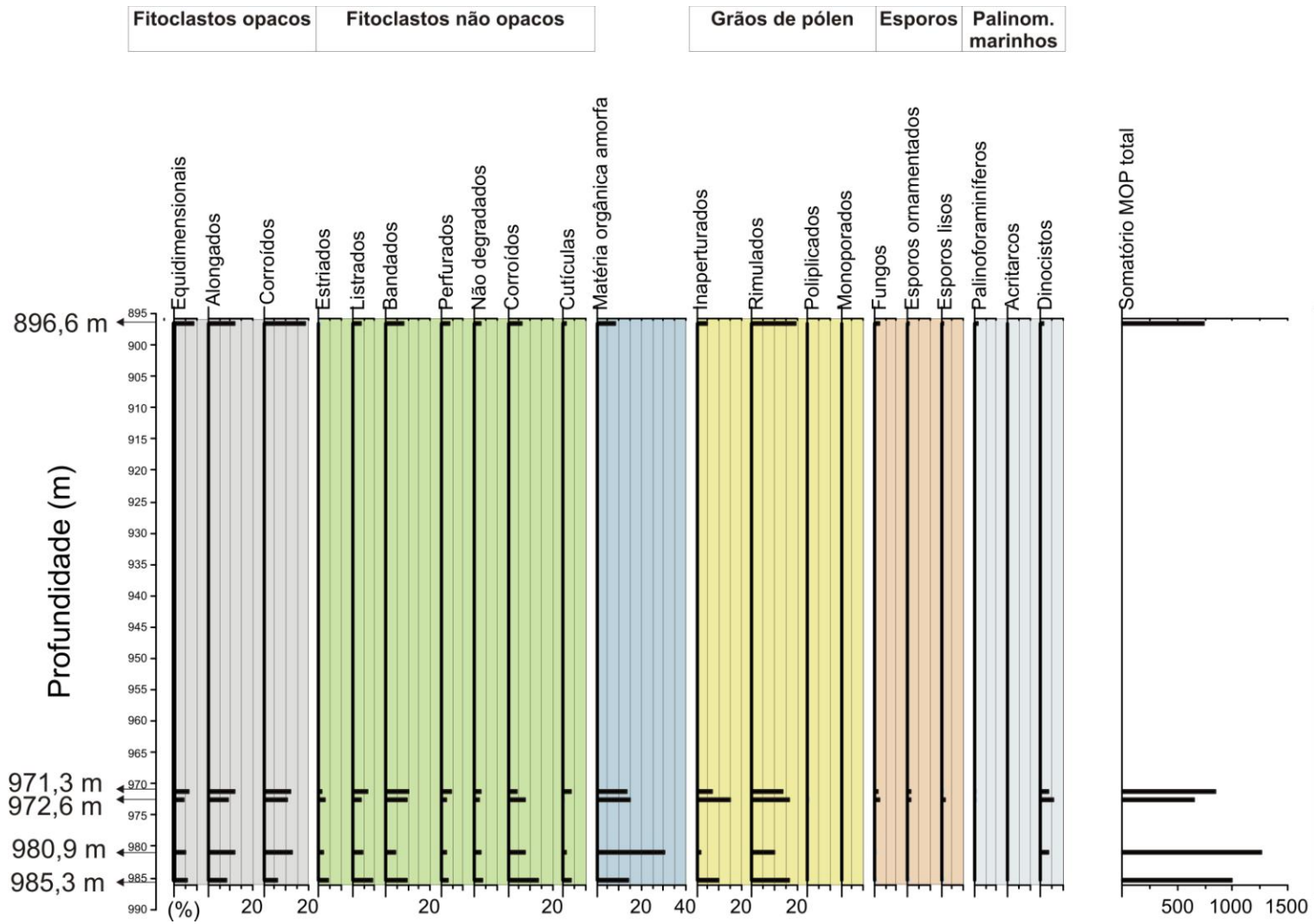


Figura XVII. Representação de toda a matéria orgânica particulada quantificada no poço BES-01 e suas devidas classificações.



### 3.1.4 Bioestratigrafia

Considerando a amplitude estratigráfica na Bacia do Espírito Santo e nas bacias marginais brasileiras (exceção feita para a Bacia de Pelotas) em trabalhos anteriores (Regali *et.al.*, 1974 a,b; Botelho Neto, 1996) citados na figura XIII sugeriu-se idades do Albiano para as amostras analisadas do poço BES-01. A datações relativas foram calibradas a partir de eventos de associação e amplitude entre alguns microfósseis de parede orgânica considerados fósseis guias para estas idades do Cretáceo na bacia.

Para o poço BES-01, foram inferidos dois conjuntos bioestratigráficos. O primeiro para as amostras basais de profundidade 980,9 m a 971,3 m. E o segundo para a amostra a 896,6 m de profundidade, localizada mais ao topo do perfil.

Para os níveis basais, a ocorrência da espécie de dinoflagelados *Suttilisphaera scabrata* limita a sua idade para a parte superior do Andar Alagoas (Palinozona B de Botelho Neto, 1996) considerado por uma biozona de amplitude desta espécie. O aparecimento deste táxon, juntamente com *Gnetaceapollenites jansonii* e *Exesipollenites tumulus* permite também atribuir estas amostras a uma biozona de associação do Albiano inferior, topo do Andar Alagoas (XVIII).

Já para o nível a 896,6 m, onde ocorrem as espécies *Ovoidinium diversum*, *Matonisporites silvii* e *Inaperturopollenites simplex* concomitantes, é possível admitir um intervalo bioestratigráfico que engloba todo o Albiano (palinozonas B, C e D de Botelho Neto, 1996).

### 3.1.5 Discussão dos resultados do poço BES-01

Em termos paleoecológicos e paleoambientais os resultados indicam um conjunto marinho predominante nas amostras estudadas e um conjunto continental no nível basal. O conjunto I de natureza continental, é caracterizado pela grande quantidade de grãos de pólen da família extinta de gimnospermas Cheirolepidaceae representado pelo gênero *Classopollis*.

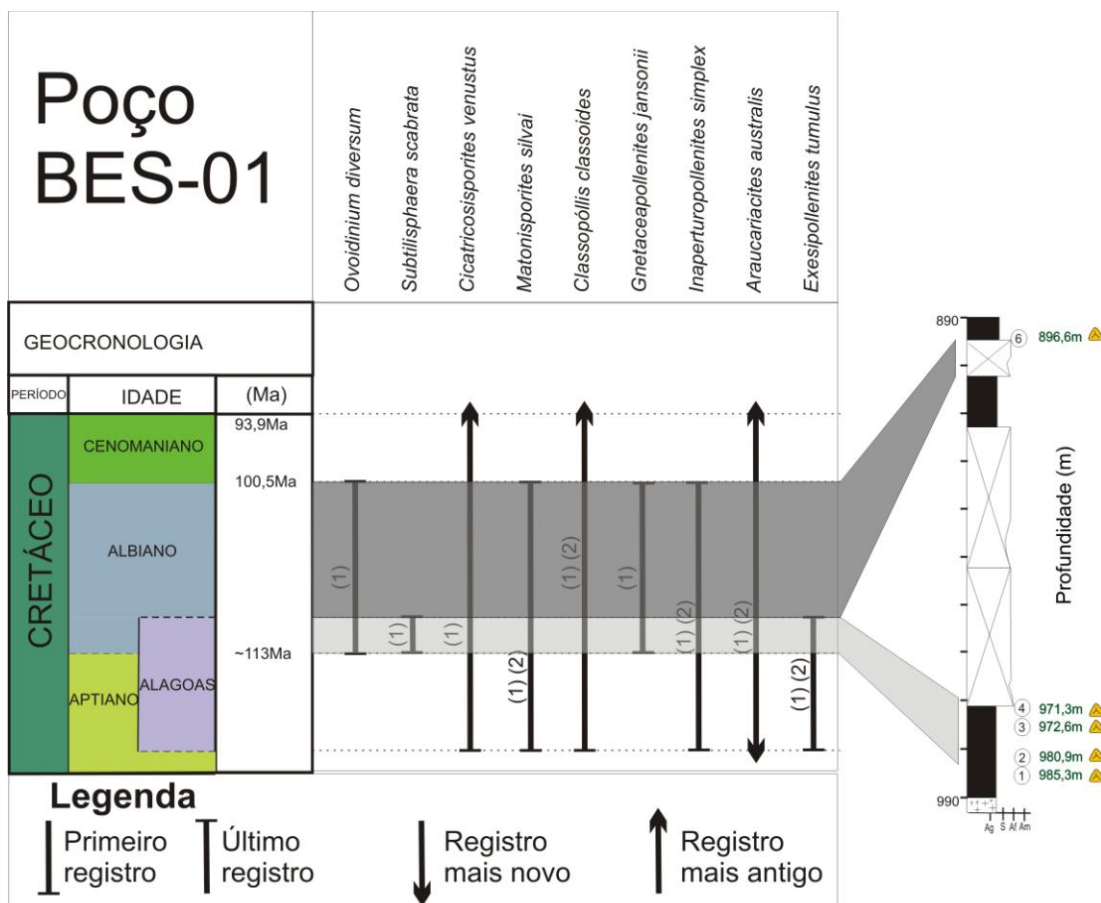


Figura XVIII. Amplitude estratigráfica dos táxons selecionados do poço BES-01, conforme a literatura. Dados compilados das seguintes publicações: Regali *et al.*(1974 a,b), representado pelo número 2 e Botelho Neto (1996), representado pelo número 1 na figura.

#### O gênero *Classopollis* Pflug, 1953:

O grão de pólen do gênero *Classopollis* é encontrado em sedimentos do Permiano ao Eoceno, porém ocorre em grandes quantidades e boa preservação nos horizontes do Jurássico e Cretáceo (Pocock & Jansonius, 1961). Sua afinidade botânica está associada à Família Cheirolepidaceae, que habitava ambientes de paisagens xeromorfas. Segundo Watson (1988) esta família possui o carácter unificado de todas suas espécies produzirem grãos de pólen do mesmo gênero. Baseado na distribuição deste gênero no registro, é consenso afirmar que esta família botânica habitava ambientes costeiros de clima quente e seco em zonas de baixas paleolatitudes, especialmente durante o Cretáceo (Taylor *et al.*, 2008).

A natureza do conjunto de número II é característica das primeiras incursões marinhas na Bacia do Espírito Santo (Arai *et al.*, 1994) devido a baixa diversidade de dinocistos (foram caracterizados apenas três gêneros) e ao aparecimento da espécie *Subtilisphaera scabrata*. Estas incursões formavam mares

epicontinentais de baixa profundidade. Devido ao clima quente predominante no Cretáceo as condições de alta evaporação caracterizaram os níveis salinos associados do Membro Itaúnas. As condições marinhas para as amostras são proximais à linha de costa devido a grande presença de elementos continentais nos registros palinológicos.

O gênero *Subtilisphaera* Jain e Millepied, 1973:

O gênero *Subtilisphaera*, pertencente a Classe Dinophyceae, foi o gênero dominante de dinocisto encontrado no material analisado. É representante de um grupo de cistos fósseis peridinioides amplamente presente no Cretáceo (das 22 espécies conhecidas, 19 são deste período (Arai *et al*, 1994)). Sua diagnose é caracterizada por cistos de forma pentagonal a ovóide com cingulo bem desenvolvido; chifre apical pontiagudo ou abertamente obtuso; epicisto arredondado com chifre antapical proeminente e outro atrofiado ou forma bem pequena.

Arai *et al.* (1994) denota a ecozona *Subtilisphaera* no Cretáceo em bacias marginais brasileiras ao norte da Bacia do Espírito Santo caracterizada por um *boom* deste gênero de dinocistos no registro, sendo mais abundantes que os próprios palinórfos continentais. O autor conclui que esta ecozona ocorre em áreas então banhadas pelo Atlântico Norte primitivo, em estratos depositados em mares epicontinentais rasos relacionados a eventos transgressivos no Albo-aptiano. Oliveira *et. al.* (1993) *apud* Arai *et al.* (1994) registraram camadas ricas em *Subtilisphaera* na Bacia do Espírito Santo, porém por conter abundantes palinórfos terrestres não se caracterizou a ecozona.

Carvalho (2001) relaciona o gênero *Subtilisphaera* a intervalos de fluxos transgressivos na Bacia de Sergipe para o intervalo Aptiano – Albiano. Segundo ele, a presença de *Classopollis* e alta quantidade de fitoclastos é relacionado a uma deposição em zona de intermarés próximo a costa. O grande influxo destes elementos continentais associado a um padrão transgressivo do sistema reduz a salinidade do meio aquoso, ocasionando um aumento do gênero *Subtilisphaera*.

Em relação ao posicionamento bioestratigráfico, os cistos de dinoflagelados e os grãos de pólen indicaram uma biozona de associação de idade Albiana para as amostras segundo biozoneamentos estabelecidos para a Bacia do Espírito Santo.

Não foi possível realizar uma diferenciação exata de idades entre as amostras marinhas basais com a de 896,6 m devido à concorrência de fósseis. Apenas um indicativo de idades relacionadas ao topo do Andar Alagoas foi proposto para o conjunto em que ocorreu a espécie *Subthilisphaera scabrata* em quantidade considerável.

## 3.2 POÇO BES-02

### 3.2.1 Qualidade da matéria orgânica particulada

Das doze amostras processadas para este poço, sete apresentaram conjuntos palinológicos diversificados, sendo estas usadas para uma interpretação paleoecológica e posicionamento bioestratigráfico. Palinomorfos continentais (esporos, grãos de pólen e fungos) ocorrem em todos os níveis férteis, sendo o registro de elementos marinhos inexistentes neste poço. A distribuição dos táxon identificados e classificados em nível genérico ou por espécie está registrada no quadro IV.

Grãos de pólen de gimnospermas apresentam bom estado de preservação e aparecem mais uma vez em abundância nos níveis estudados, sendo a amostra a 729 m representada por um pico de 50% de grãos de pólen rimulados em relação aos elementos do querogênio total (figura XIX) e 95% do registro em relação aos palinomorfos contados na análise de palinofácies (figura XX). Suas famílias mais representativas são Cheirolepidaceae, Ephedraceae e Araucariaceae. Agregados de grãos de pólen (políades) foram caracterizadas em baixa frequência porém estes agrupamentos possuem grande representatividade paleoambiental.

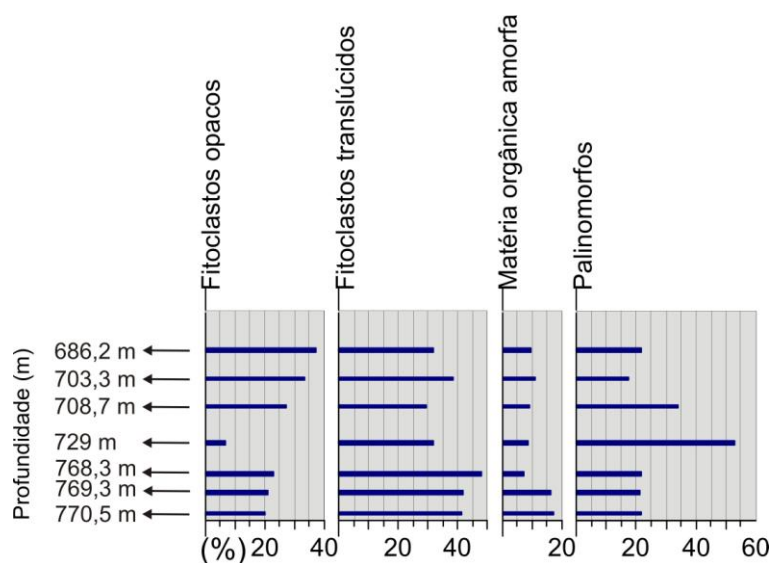


Figura XIX. Distribuição por grupos de palinomorfos registrados nas amostras do poço BES-02.

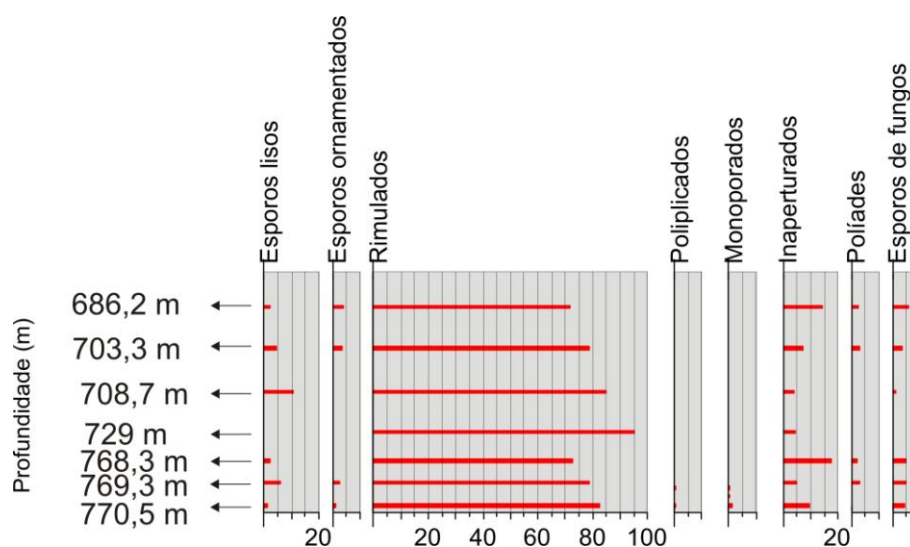


Figura XX. Distribuição por grupos de palinórfos registrados nas amostras do poço BES-02.

### 3.2.2 Frequência dos grupos da matéria orgânica particulada

Fitoclastos aparecem novamente em altos valores nas amostras ao longo do perfil porém neste poço os fitoclastos translúcidos são mais representativos em relação aos opacos mantendo uma frequência entre 30% a 50%.

Entre os esporos predominam formas triletes lisas e ornamentadas, bem preservadas no registro. Representantes das famílias Anemiaceae e Matoniaceae são dominantes, porém não apresentam representatividade em relação aos grãos de pólen, chegando a picos de no máximo 10% dos palinórfos registrados (nível a 708,7 m). Fungos são registrados ao longo da seção com representatividade entre 1% e 6% em relação aos palinórfos totais.

Quadro IV. Distribuição dos táxons de palinórfos registrados no poço BES-02.

<b>Palinórfos</b>	<b>686,2</b>	<b>703,3</b>	<b>708,7</b>	<b>729,0</b>	<b>768,3</b>	<b>769,3</b>	<b>770,5</b>
<b>Esporos</b>							
<i>Appendicisporites sp.</i>					*		
<i>Cicatricosisporites sp.1</i>	*			*	*		
<i>Cicatricosisporites sp.2</i>						*	
<i>Cicatricosisporites venustus</i> Deak, 1963	*	*					
<i>Cicatricosisporites sp.3</i>			*			*	
<i>Concavisporites sp.</i>	*						
<i>Cyathidites australis</i> Couper, 1953	*	*	*				
<i>Deltoidospora sp.</i>		*					
<i>Deltoidospora halii</i> Miner, 1935		*					
<i>Klukisporites sp.</i>					*	*	
<i>Matonisporites silvii</i> Lima, 1978	*		*	*			*
<b>Grãos de pólen</b>							
<i>Araucariacites australis</i> Cookson, 1947	*	*	*				
<i>Classopollis alexii</i> Burger, 1965	*	*	*		*		*
<i>Classopollis torosus</i> (Reissinger, 1950) Couper, 1958	*	*	*	*	*	*	*
<i>Classopollis triangulus</i> Zhang, 1978				*		*	*
<i>Classopollis classoides</i> Pflug, 1953	*	*	*	*	*	*	
<i>Equisetosporites ambiguous</i> (Hedlung, 1966) Singh, 1983				*			
<i>Equisetosporites sp.</i>					*		
<i>Exesipollenites tumulus</i> Balme, 1957	*	*					
<i>Gnetaceapollenites jansonii</i> (Pocock, 1964) Lima, 1978				*	*		*
<i>Gnetaceapollenites oreadis</i> Srivastava, 1968						*	*
<i>Inapertupollenites dubius</i> Thomson e Pflug, 1953				*	*		
<i>Inaperturopollenites simplex</i> Regali, Uesugi & Santos, 1974	*		*	*			
<b>Fungos</b>							
Hifas de fungos	*	*	*		*	*	*

### **3.2.3 Interpretação paleoecológica**

Analisando o padrão de distribuição de frequência relativa do conjunto da matéria orgânica particulada nas amostras estudadas do poço BES-02 (figura XXI), palinórfos continentais são encontrados em abundância ao longo de toda a seção. Palinórfos marinhos são inexistentes. A partir desta distribuição, apenas um conjunto palinológico foi reconhecido e sua descrição e interpretação segue a seguir.

#### **3.2.3.1 Conjunto I: amostras de 770,5m a 686,2m**

Este conjunto é caracterizado por elementos continentais com os grãos de pólen apresentando porcentagem entre 70% e 95% dos palinórfos registrados e esporos entre 3% a 10% dos registros de microfósseis de parede orgânica. O nível a 729 m apresenta uma grande abundância de grãos de pólen rimulados, sendo caracterizado por uma área de deposição com alto grau de proximidade com a planta mãe.

Na amostragem deste poço os fitoclastos translúcidos são maioria em relação aos opacos, apresentando porcentagens variando de 30% a 46% enquanto que os opacos não passam de 40% de presença relativa. A matéria orgânica amorfa possui presença baixa, com níveis em torno de 5%, e seu ápice não passando dos 20%.

A presença de políades na quantificação da MOP é característica de ambientes deposicionais proximais à planta mãe.

Em termos paleoambientais, os resultados indicam uma natureza continental costeira, em um clima dominado pelo calor e aridez para os depósitos estudados. Esporos ocorrem em frequência de até 10% em relação aos palinórfos, possivelmente transportados de áreas mais úmidas (famílias Anemiaceae e Matoniceae). Grãos de pólen da família das Araucariaceae, que ainda habita zonas de altitudes elevadas nos dias de hoje também estão presentes na maioria das amostras porém em baixa frequência..

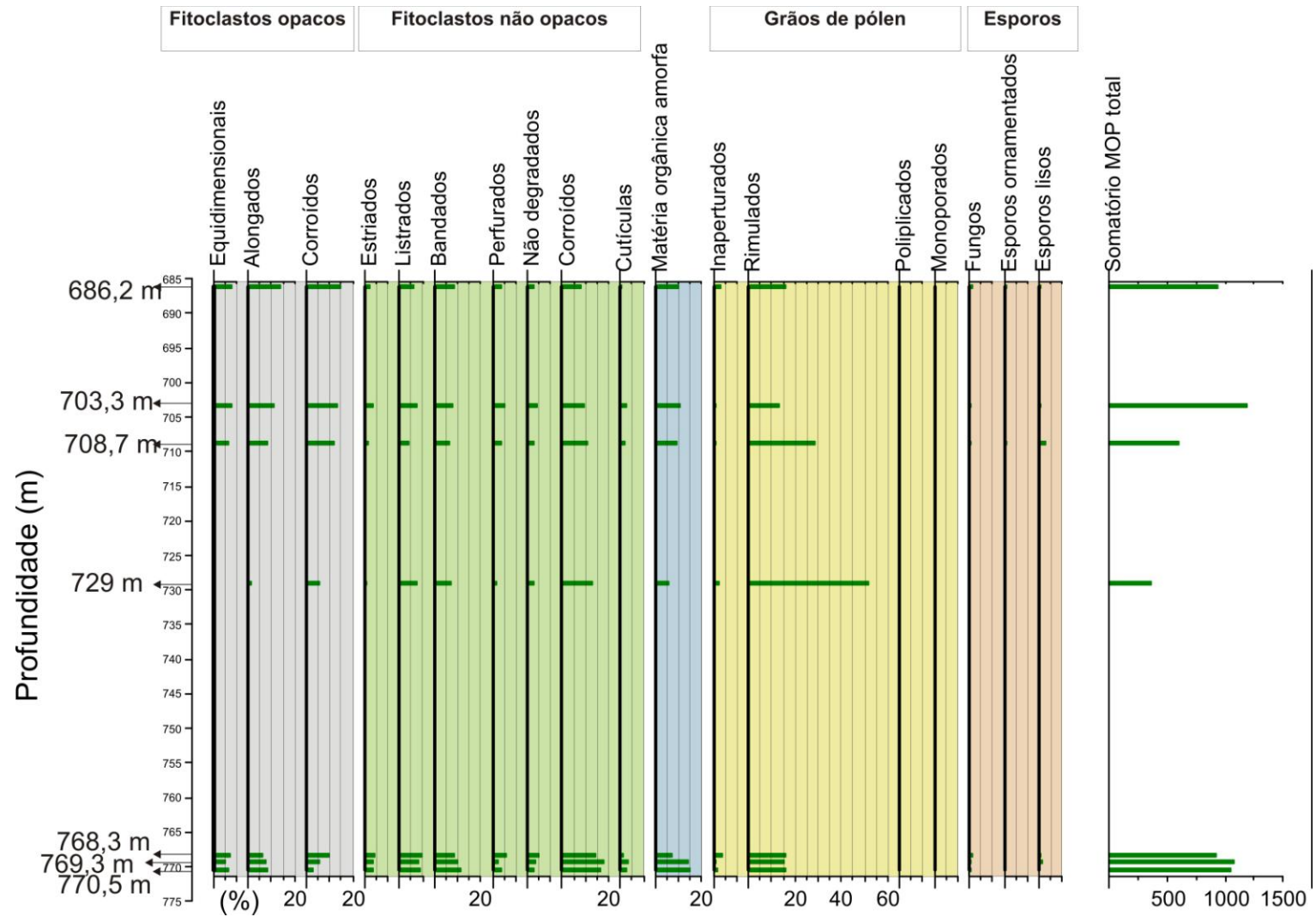


Figura XXI. Representação de toda a matéria orgânica quantificada no poço BES-02 e suas devidas classificações.



### 3.2.4 Bioestratigrafia

No poço BES-02 o conteúdo palinológico permitiu inferir apenas uma situação bioestratigráfica para as amostras de deposição continental, conforme ilustrado na figura XXII.

O primeiro aparecimento dos espécimes *Matonisporites silvii*, *Inaperturopollenites simplex* e *Exesipollenites tumulus* no início do Andar Alagoas e a extinção de *Matonisporites silvii* e *Inaperturopollenites simplex*, junto com *Gnetaceapollenites jansonii* e *Equisetosporites ambiquus* no final do Albiano, torna possível atribuir uma idade entre o meso Aptiano e o Albiano para os níveis amostrados entre 770,5 m e 686,2 m (palinozonas A, B, C e D de Botelho Neto, 1996).

### 3.2.5 Discussão dos resultados do poço BES-02

A seção analisada do poço BES-02 indica um ambiente deposicional continental. Em termos ambientais os resultados atingidos indicam uma natureza similar ao que foi descrito na amostra basal do poço BES-01. A abundância de grãos de pólen provenientes de gimnospermas extintas da família das Cheirolepidaceae é o melhor indicador paleoclimático, caracterizando condições de clima seco e quente. Políades de *Classopollis* não raras vistas em lâmina nas amostras indicam pouco transporte para estes microfósseis depositados.

Já os esporos, caracterizados em maior quantidade pelo gênero *Cicatricosisporites* (família Anemiaceae) apresentam um grupo minoritário. A natureza pteridofítica úmida destes elementos no registro palinológico indica a sua incompatibilidade com o ambiente árido (Duarte *et al.* 2012). Porém apesar de possuir esta característica de não suportarem áreas de extrema secura, sua ocorrência em porcentagens entre 5 % a 10 % indicam áreas úmidas adjacentes que possibilitavam o seu estabelecimento.

A ocorrência do gênero *Araucariacites* denota zonas de altitudes e umidade alta próximas ao ambiente deposicional (Dutra e Stranz, 2002). Embora o paleoclima fosse quente, as coníferas da família das Araucariaceae permaneceram próximas a áreas submetidas a vulcanismo e tectonismo ativo no Cretáceo devido a proximidade com mares recém formados, capazes de amenizar a seca (Dutra & Stranz, 2003).

Carvalho (2001) associa ambientes lagunares de planície costeira com raros influxos marinhos aos intervalos palinológicos com presença de elementos continentais e abundância de fitoclastos na Bacia de Sergipe. Segundo ele, estes

sistemas marcam o início de um padrão transgressivo para o Aptiano superior – Albiano médio da bacia.

Em relação ao posicionamento bioestratigráfico, as associações palinológicas foram posicionadas em um intervalo que abrange as idades do Aptiano (início do Andar Alagoas) e Albiano, não sendo caracterizado um posicionamento mais apurado por nível.

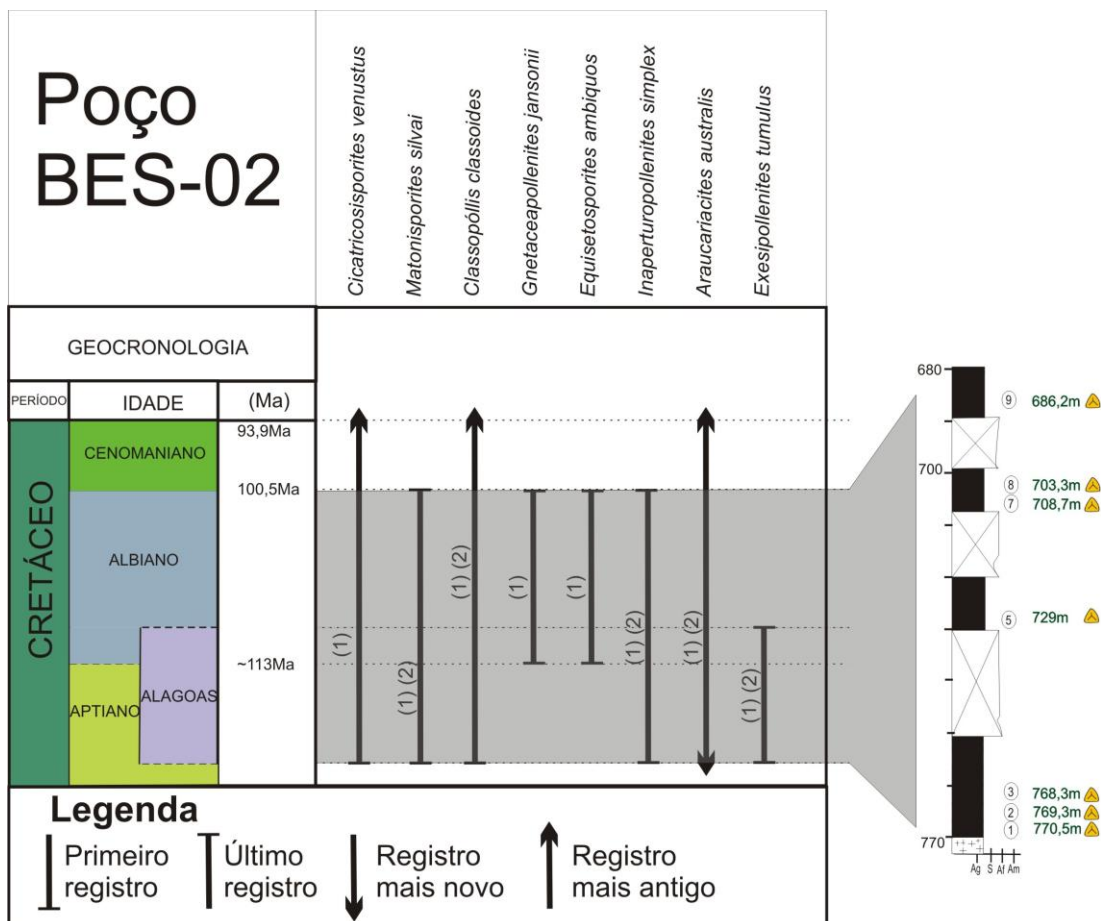


Figura XXII. Amplitude estratigráfica dos táxons selecionados do poço BES-02. Dados compilados das seguintes publicações: Regali *et al.*(1974 a,b), representado pelo número 2 e Botelho Neto (1996), representado pelo número 1 na figura.

#### 4 CONCLUSÕES

O trabalho em questão é considerado relevante devido a aquisição de noções paleoecológicas e paleoambientais dominantes em uma bacia marginal brasileira no início de sua evolução, no período Cretáceo.

Alguns estratos amostrados compostos por níveis de pelitos e siltitos apresentaram amostras com muitos minerais e pouca matéria orgânica particulada preservada. Porém as amostras consideradas férteis em relação aos microfósseis de parede orgânica mostraram bom estado de preservação de seus componentes.

É importante salientar que a amostragem usada no trabalho é limitada uma vez que estratos de granulometria mais grossa localizados entre os níveis pelíticos não foram analisados pois suas condições de preservação fossilífera são baixas. Devido a este quesito, não foi possível realizar inferências mais aprofundadas sobre a evolução dos processos paleoambientais.

O paleoclima dominante é considerado quente e seco devido a abundância do gênero *Classopollis* na amostragem. Este fato tem relação com trabalhos que indicam um paleoclima global mais quente devido a alta taxa de emissões de CO<sub>2</sub> atmosférico, principalmente no Eocretáceo (Frakes, 1999).

O registro de grãos de pólen de gimnospermas ocorre em maior quantidade entre os microfósseis de parede orgânica. Registros de esporos provenientes de vegetação úmida estão presentes com frequência nas seções dos dois poços porém ocorrem sem abundância concluindo que estas plantas estão localizadas em zonas adjacentes à área de deposição. Microfósseis marinhos (dinocistos, acritarcos e palinoforaminíferos) ocorrem em menor quantidade, apenas em quatro níveis do poço BES-01.

O poço BES-01 possui elementos marinhos relacionados às primeiras incursões marinhas na Bacia do Espírito Santo. A seção em questão indica condições transgressivas para a deposição dos estratos deste poço devido a presença de elementos marinhos na amostras com exceção ao nível basal. Uma gradação de lagunas de planície costeira para zonas de intermarés foram interpretadas para a área deposicional neste poço a partir da ocorrência em quantidade do gênero de dinocistos *Subtilisphaera* (Arai, 2009) e também devido a alta presença de elementos continentais transportados.

A amostragem do poço BES-02 apresenta somente níveis continentais. Suas amostras mostraram maior presença de indicativos (políades) relacionados a deposição proximal à planta mãe. Sua área de deposição foi relacionada a sistemas fechados sem influência marinha, sendo interpretados ambientes lacustres em zonas próximo a costa. Grãos de pólen da família Araucariaceae denota relevos de altitude elevada próximo ao sítio deposicional.

Espécies-índice foram identificadas nas associações palinológicas, sendo estas muito importantes para o posicionamento bioestratigráfico das seções. A seção estudada do poço BES-01 foi datada para o andar Albiano, sendo sua parte mais basal do topo do Andar Alagoas. Este foi o grau de maior especificação de idade devido à ocorrência do aparecimento da espécie de dinocistos *Subtilisphaera scabrata*. Já a seção do poço BES-02 foi posicionada nas idades Albiano-Aptiano. A coluna palinológica padrão proposta por Regali *et al.* (1974) para as bacias marginais brasileiras e o zoneamento bioestratigráfico proposto por Botelho Neto (1996) se mostraram adequados para a construção do posicionamento bioestratigráfico das amostras selecionadas.

## 5. REFERÊNCIAS

ARAI, M.; LANA, C.C.; PEDRÃO, E. 1994 Ecozona *Subtilisphaera* spp.: Registro eocretáceo de um importante episódio ecológico do Oceano Atlântico primitivo. *Acta Geologica Leopoldensia*, 17 v. 39(2), 521-538.

ARAI, M. 2007. *Sucessão das associações de dinoflagelados (Protista, Pyrrhophyta) ao longo das colunas estratigráficas do Cretáceo das bacias da margem continental brasileira: uma análise sob o ponto de vista paleoceanográfico e paleobiogeográfico*. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 241p

ARAI, M. 2009. Paleogeografia do Atlântico Sul no Aptiano: um novo modelo a partir de dados micropaleontológicos recentes. *Boletim de Geociências da PETROBRAS (Impresso)*, v.17(331-351).

ANTUNES, R.L.; MELO, J.H.G. 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de seqüências. *In: Ribeiro H.J.P.S. (Ed) Estratigrafia de seqüências – fundamentos e aplicações*. São Leopoldo: Editora Unisinos, p. 137-218.

BOSTIK, N.H. 1971. Thermal alteration of clastic organic particles as an indicator of contact and burial metamorphism in sedimentary rocks. *In: Geoscience and Man*, 3, p. 83-92.

BOTELHO NETO, J. 1996. *Porção Norte da plataforma de Regência, Bacia do Espírito Santo: caracterização palinoestratigráfica e evolução paleoambiental*. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Dissertação de mestrado. 163p.

CARDOSO, T.R.M. 2005. Acrítarcos do Siluriano da Bacia do Amazonas: Bioestratigrafia e Geocronologia. *Arquivos do Museu Nacional*, 63(4), p.727-759.

CARVALHO, M.A., 2001. *Paleoenvironmental reconstruction based on palinological and palynofacies analyses of the Aptian-Albian succession in the Sergipe Basin, northeastern, Brazil*. Universität Heidelberg, Tese de Doutorado, 150p.

CARVALHO, I.S. 2004. *Paleontologia*. v. 1. Editora Interciência. Rio de Janeiro.

CHRISTOPHER, R.A.; GOODMAM, D.K. 1996. Introduction to biostratigraphy and time scales. *In: Jansonius, J.; Mcgregor, D.C (Ed.). Palynology: principles and applications*. Dallas. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v.2, p. 463-492.

COMBAZ, A. 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*. 7, p. 205-218.

DINO, R. 1992. *Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia da Formação Alagamar - Cretáceo da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil*. PhD Tesis, Universidade de São Paulo, 300 p.

DUARTE, S.G.; ARAI, M.; WANDERLEY, M.D. 2012. Significado paleoambiental da Família Anemiaceae no Cretáceo do Brasil: inferências a partir de dados palinológicos. *Revista do Instituto Geológico*, v.33, p.1-12.

DUTRA, T.L., STRANZ, A. 2002. Os fósseis da Bacia de Sergipe-Alagoas. Os vegetais: angiospermas. *Phoenix*, v.47: 1-4.

DUTRA, T.L., STRANZ, A. 2003. História das Araucariaceae: a contribuição dos fósseis para o entedimento das adaptações da família no Hemisfério Sul com vistas ao seu manejo e conservação. *In: Ronchi, L.H. & Coelho, O.G.W. (org.) Tecnologia, Diagnóstico e Planejamento Ambiental*. 1 ed. São Leopoldo, v. 1, p. 293-351.

FERREIRA, E.P. 2004. *Palinoestratigrafia e caracterização de paleoambientes da seção paleocênica-eocênica da Bacia de Sergipe*. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 253p.

FRAKES, L.A. 1999. Estimating the global thermal state from Cretaceous sea surface and continental temperature data. *In: Barrera, E; Johnson, C. (ed.) Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate. Geological Society of America, Special Paper*, v.332, p. 49-57.

FRANÇA, R.L.; TSCHIEDEL, F.E. 2006 Os evaporitos das Bacias do Espírito Santo e Mucuri: Sedimentação e tectônica. *In: Anais do 43º Congresso Brasileiro de Geologia*. Aracaju. Sociedade Brasileira de Geologia, p. 93.

FRANÇA, R.L.; DEL REY, A.C.; TAGLIARI, C.V.; BRANDÃO, J.R.; FONTANELLI, P.R. 2007. Bacia do Espírito Santo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.15, nº.2, p. 501-509.

FÉLIX, C.M. 2012. *Nova abordagem para o tratamento taxonômico de determinadas espécies de palinómorfs do Paleozóico Superior do Gondwana, com ênfase na Bacia do Paraná, Brasil*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Tese de Doutorado, Porto Alegre, 206p.

HARLAND, R. 1973. Dinoflagellates cysts and acritarchs from the Bearpaw Formation (upper Campanian) of southern Alberta, Canada. *Palaeontology* 16, 665-706.

HELENES, J., DE-GUERRA, C. & VÁSQUEZ, J. 1998. Palynology and chronostratigraphy of the Upper Cretaceous in the subsurface of the Barinas area, western Venezuela. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 82, 1308-1328.

HYDE, H.A., & WILLIAMS, D.A. 1944. The right Word. Pollen Science Circular. nº. 8 p. 6.

JAMINSKI, J. 1995. The mid-Cretaceous palaeoenvironmental conditions in the Polish Carpathians – a palynological approach. *Review of Palaeobotany and Palynology* 87, 43-50.

KIDSTON, R. 1985. On the occurrence of Lycopodytes (Sigillaria) vanuxemi Göppert in Britain, with remarks on its affinities. *Journal of the Linnaean Society of Botany*, 21: 560-566.

LARSON, R.L. 1991 Latest pulse of Earth: evidence for a mid-Cretaceous superplume. *Geology*, v.19, p. 547-550.

LEWIS, J., DODGE, J.D. & POWELL, A.J., 1990. Quaternary dinoflagellate cysts from the upwelling system offshore Peru, hole 686B, ODP leg 112. *Proceedings of Ocean Drilling Project, Scientific Results v.112*, 323-327.

LIMA, M.R. 1978. *Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 337p.; 27 estampas

LOPEZ MARTÍNEZ, N., TRUYOLS SANTOJA, J. 1994. *Paleontología, conceptos y métodos*. Ed. Sintesis, Madrid. 334p.

MARTIN, F. 1993. Acritarchs: A review. *Biological Reviews*, 68: 475-538.

MENDONÇA FILHO, J.G. & MENEZES, T.R. 2001. *Palinofácies e Fácies Orgânicas*. UFRJ, IGEO, 116p.

MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A. 2000. Sedimentary Basins of South America. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. *Tectonic Evolution of South America*. Edição Especial do 31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, p. 389-449.

MIZUSAKI, A.M.P. 1993. Vulcanismo na Bacia do Espírito Santo. PETROBRAS /CENPES/SETEC. Relatório. Rio de Janeiro-RJ.

MOHRIAK, W.U. 2003, Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: Bizzi, L. A. Schobbenhaus, C. Vidotti, J.R. Gonçalves, H. eds., *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, Capítulo III, CPRM, Brasília, p. 87-165.

PANTIC, N. & BAJAKTAREVIC, Z. 1988. "Nannoforaminifera" in palynological preparations and smear-slides from Mesozoic and Tertiary deposits in Central and Southeast Europe. *Revue de Paléobiologie. Benthos '86 Special v.2*, p.953-959.

POCOCK, S. & JANSONIUS, J. 1961. The pollen genus *Classopollis* Pflug 1953. *Micropaleontology*, 7, 439-449, 1 plate.

POWELL, A. J., DODGE, J. D. & LEWIS, J., 1990. Late Neogene to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112. *Proceedings of the Ocean Drilling Project. Scientific Results v.112*, p.297-321.

QUADROS, L.P. & MELO, J.H.G. 1987. Método prático de preparação palinológica em sedimentos mesozóicos. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 1(2): 205-214.

REGALI, M.S.P.; UESUGUEI, N.; & SANTOS, A.S. 1974a. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (I). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 17(3): 177-190.

REGALI, M.S.P.; UESUGUEI, N. & SANTOS, A.S. 1974b. Palinologia dos Sedimentos Meso-Cenozóicos do Brasil (II). *Boletim Técnico da Petrobrás*, 17(4): 263 301.

RICQLÉS, A. 1989. Les mécanismes hétérochroniques dans le retour des tétrapodes au milieu aquatique. Colloq. Int. CNRS: *Ontog. Evol., Dijon*, p.171 - 178.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1994. *História Ecológica da Terra*. São Paulo: Ed. Bücher.

SEYVE, C. 1990. *Introdução a micropaleontologia*. Angola, Elf Aquitaine Angola, 231p.

SOUZA-LIMA, W. & HANSI JÚNIOR, G.P. 2003. Bacias da margem continental (Bacias sedimentares brasileiras - Parte 2. *Informativo da Fundação Paleontológica Phoenix*, v.50: 1-4.

STROTHER, P.K. 1996. Acritarchs. *In: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (Eds). Palynology: Principles and Applications. v.1: 81-106. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Utah.*

TAYLOR, T.; TAYLOR, E.L. 2008. Paleobotany - The biology and evolution of fossil plants – Second edition. *Academic Press*. p. 831-838.

TRAVERSE, A. 1988. *Paleopalynology*,. USA: Unwin Hyman, 600p.

TYSON, RICHARD V. 1995. Sedimentary Organic mater: organic facies and palynofacies. London: Chapman & Hall, 615 p.

VIEIRA, R.A.B.; MENDES, M.P.; COSTA, L.A.R.; TAGLIARI, C.V.; BACELAR, L.A.; FEIJÓ, F.J.1994 Bacias do Espírito Santo e Mucuri. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.191-202.



VIEIRA, R.A.B. 1998. *Análise estratigráfica e evolução paleogeográfica da seção Neoptiana na porção Sul da Plataforma de São Mateus, Bacia do Espírito Santo, Brasil*. Porto Alegre. Dissertação de mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 167p.

WALL, D.; DALE, B.; LOHMANN, G.P. & SMITH, W.K. 1977. The environment and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology*, v.2: 121-200.

WATSON, J. The Cheirolepidaceae. In: C. B. Beck (ed.), Origin and evolution of Gymnosperms. *Columbia University Press*, New York, NY. p.382-447.

WOOD, G.D., GABRIEL, A.M. & LAWSON, J.C. 1996. Palynological techniques processing and microscopy. In: Jansonius, J. & McGregor, D.C. (ed), *Palynology, principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v.1, p.29-50.

## ANEXO I: LISTA SISTEMÁTICA

---

### 1. Esporos

---

*Appendicisporites* sp.  
*Cicatricosisporites* sp. 1  
*Cicatricosisporites* sp. 2  
*Cicatricosisporites* sp. 3  
*Cicatricosisporites venustus* Deak, 1963  
*Cyathidites australis* Couper, 1953  
*Deltoidospora* sp.  
*Deltoidospora halii* Miner, 1935  
*Foveomonoletes* sp.  
*Klukisporites* sp.  
*Matonisporites silvai* Lima, 1978  
*Retitriletes* sp.

---

### 2. Grãos de pólen

---

*Araucariacites australis* Cookson, 1947  
*Classopollis alexii* Burger, 1965  
*Classopollis classoides* Pflug, 1953  
*Classopolis torosus* (Reissinger, 1950) Couper, 1958  
*Classopolis triangulus* Zhang, 1978  
*Equisetosporites ambiguus* (Hedlung, 1966) Singh, 1983  
*Equisetosporites* sp.  
*Exesipollenites tumulus* Balme, 1957  
*Gnetaceapollenites jansonii* (Pocock, 1964) Lima, 1978  
*Gnetaceapollenites oreadis* Srivastava, 1968  
*Inapertupollenites simplex* Regali, Uesugi & Santos, 1974  
*Inaperturopollenites dubius* (Pontonié e Venitz, 1934) Thomson e Pflug, 1953

---

### 3. Dinoflagelados

---

*Ovoidinium diversum* Davey, 1979  
*Subtilisphaera scabrata* Jain & Millepied, 1973  
*Spiniferites* sp.

---

### 4. Palinoforaminíferos

---

Palinoforaminífero espiralado

---

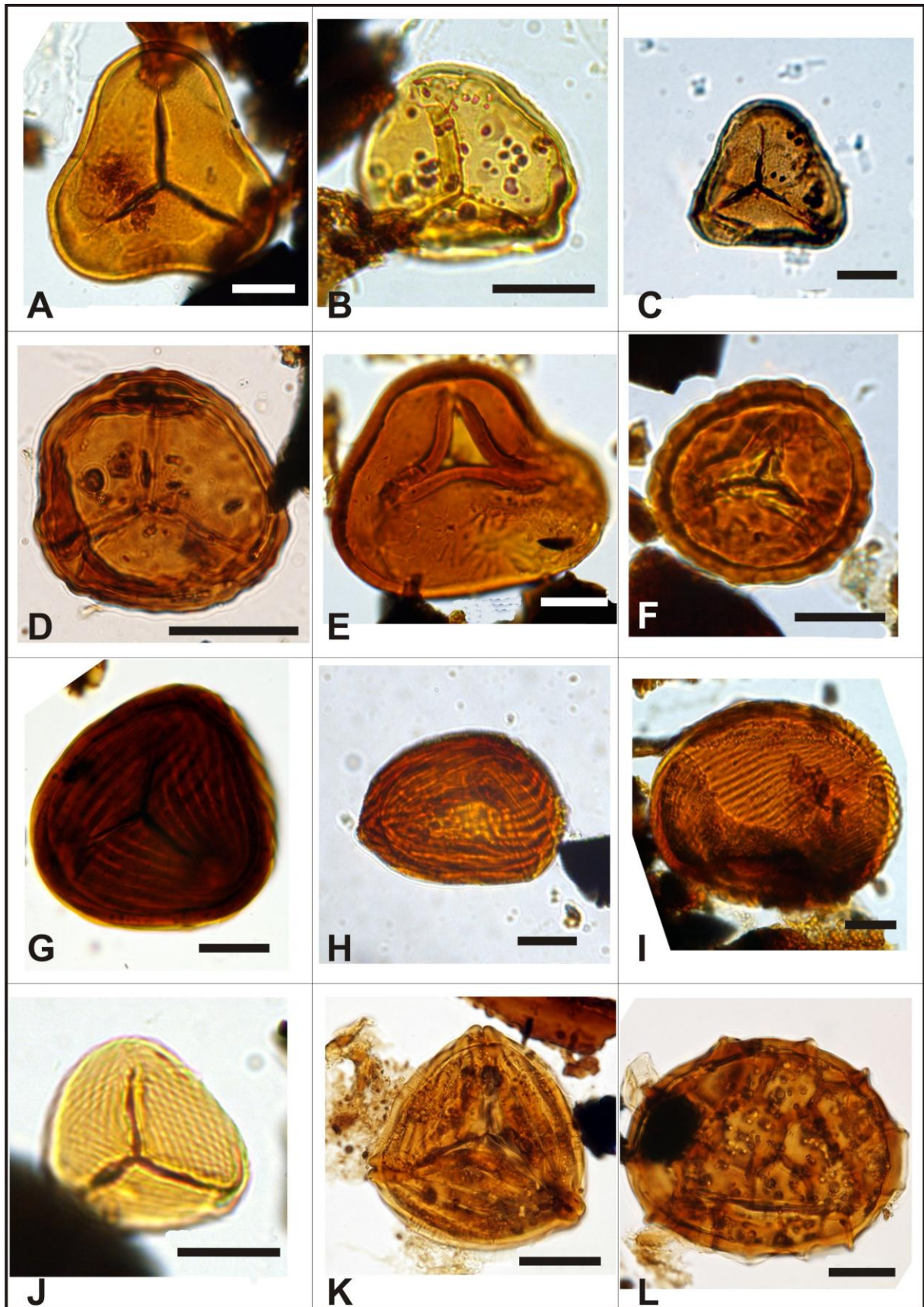
### 5. Acritarcos

---

*Navifusa* sp.

**ANEXO II: ESTAMPAS****Estampa 1**

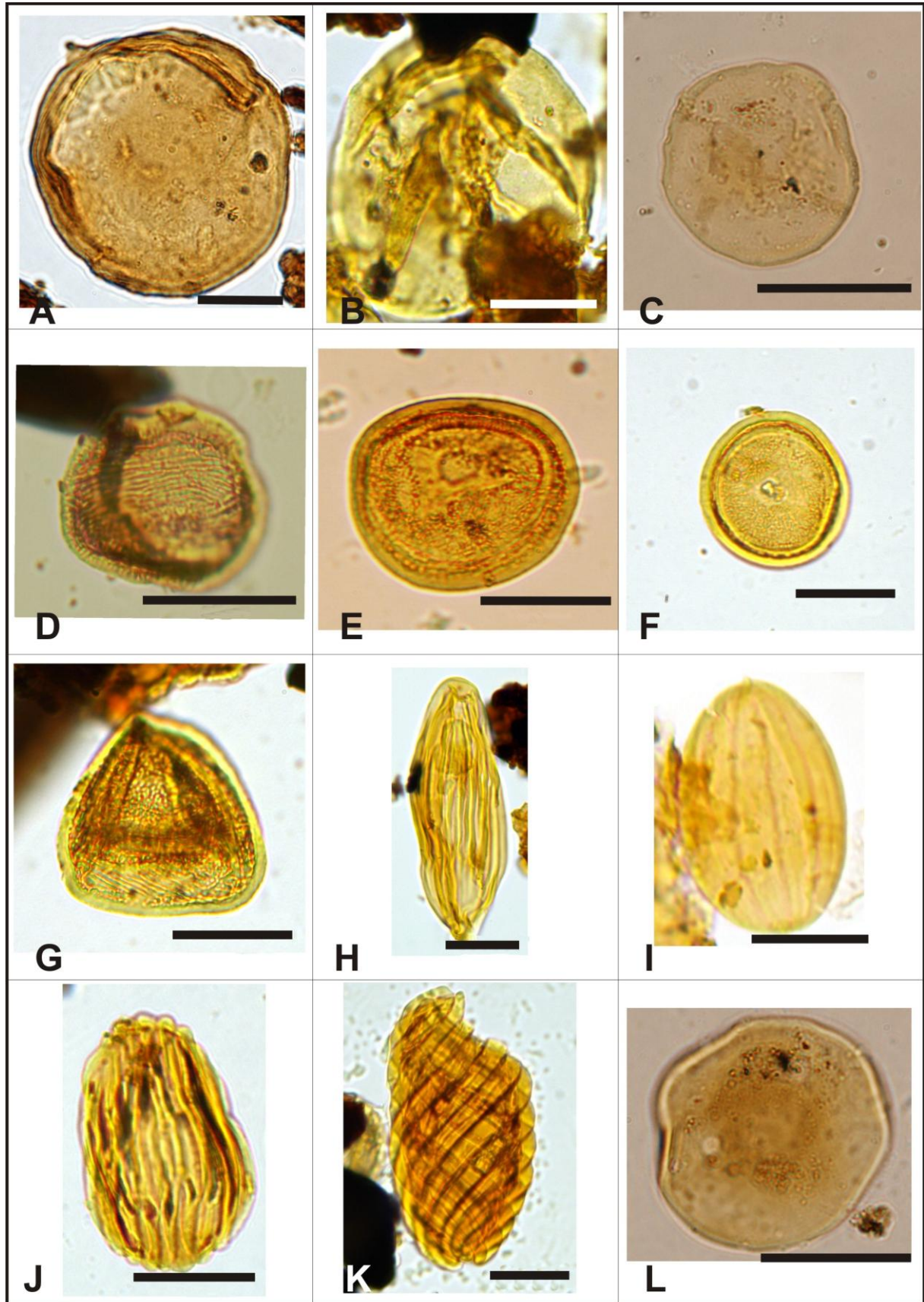
- A.** *Cyathidites australis*  
BES-01; MP-P 5990; D53.
- B.** *Matonisorites silvii*  
BES-02; MP-P 6018; R39-3.
- C.** *Deltoidospora halii*  
BES-02; MP-P 6011; D48-2.
- D.** *Deltoidospora sp.*  
BES-02; MP-P 6011; P27-2.
- E.** *Concavisporites sp.*  
BES-02; MP-P 6010; O52-2.
- F.** *Klukisorites sp.*  
BES-02; MP-P 6016; G40-4.
- G.** *Cicatricosisporites sp. 1*  
BES-02; MP-P 6010; L33.
- H.** *Cicatricosisporites sp. 2*  
BES-02; MP-P 6017; X44-4.
- I.** *Cicatricosisporites sp. 3*  
BES-02; MP-P 6010; O43-3.
- J.** *Cicatricosisporites venustus*  
BES-02; MP-P 6010; R60-4.
- K.** *Apendicisporites sp.*  
BES-02; MP-P 6016; U63-1.
- L.** *Foveomonoletes sp.*  
BES-02; MP-P 6010; W43.



Escala equivalente a 20  $\mu\text{m}$ .

**Estampa 2**

- A.** *Inaperturopollenites simplex*  
BES-02; MP-P 6014; P52-3.
- B.** *Inaperturopollenites dubius*  
BES-01; MP-P 5989; E49-4.
- C.** *Araucariacites australis*  
BES-02; MP-P 6011; J47-3.
- D.** *Classopollis alexii*  
BES-02; MP-P 6011; N45-4.
- E.** *Classopollis torosus*  
BES-02; MP-P 6018; N42-2.
- F.** *Classopollis classoides*  
BES-01; MP-P 5992; M53.
- G.** *Classopollis triangulus*  
BES-02; MP-P 6018; R30-4.
- H.** *Equisetosporites ambiguus*  
BES-02; MP-P 6014; S48-2.
- I.** *Equisetosporites sp.*  
BES-02; MP-P 6016; L54-2.
- J.** *Gnetaceapollenites oreadis*  
BES-02; MP-P 6018; F58-2.
- K.** *Gnetaceapollenites jansonii*  
BES-02; MP-P 6014; L50-3.
- L.** *Exesipollenites tumulus*  
BES-02; MP-P 6010; Z51-3.



Escala equivalente a 20  $\mu\text{m}$ .

**Estampa 3****A.** *Ovoidinium diversum*

BES-01; MP-P 5987; N29-4.

**B.** *Subtilisphaera scabrata*

BES-01; MP-P 5990; B33-4.

**C.** Palinoforaminífero

BES-01; MP-P 5990; E53-2.

**D.** *Navifusa sp.*

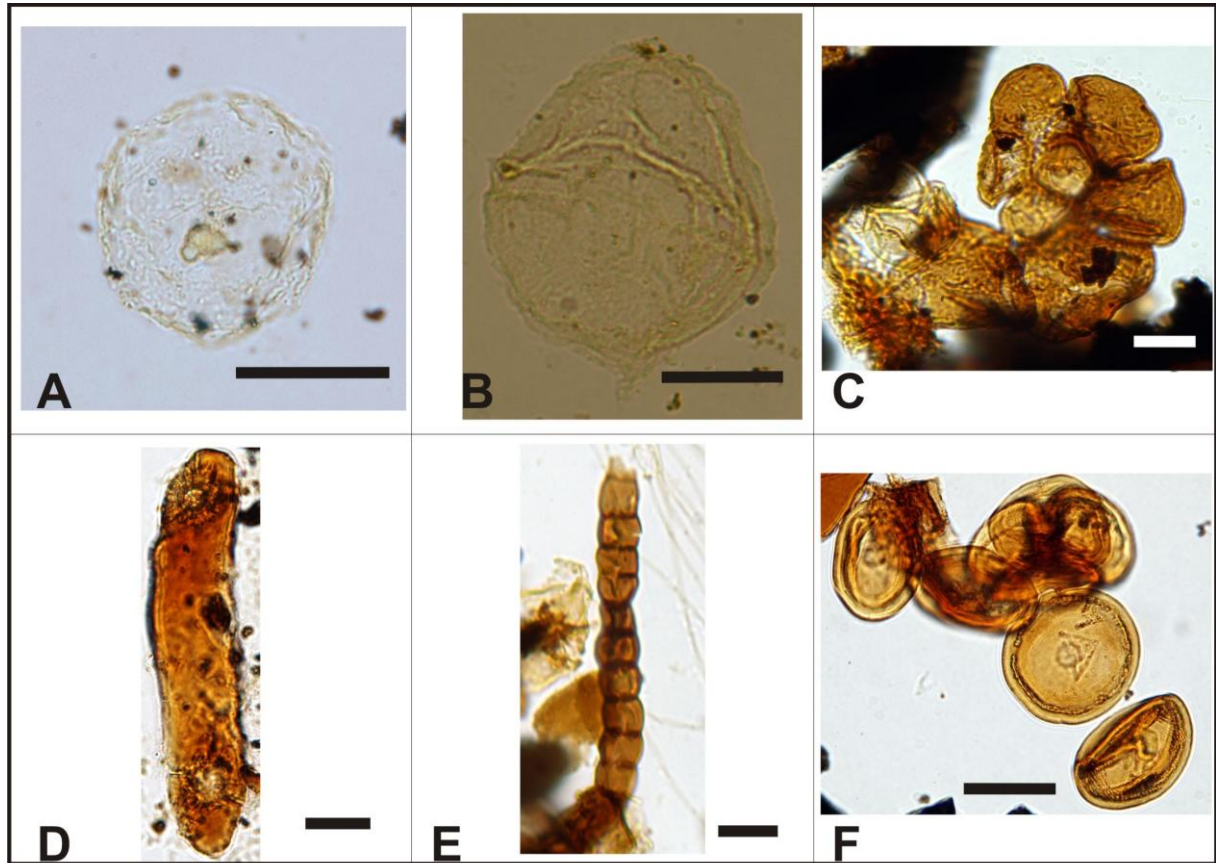
BES-01; MP-P 5991; R41-2.

**E.** *Hifa de fungos.*

BES-01; MP-P 5987; G23-3.

**F.** Políade de grãos de pólen do gênero *Classopollis*

BES-02; MP-P 6014; P44-2.



Escala equivalente a 20  $\mu\text{m}$ .