



UFRJ

Luiza Tinoco Barcellos de Souza

**“Caracterização de fácies orgânica do Mb.  
Fundão, Fm. Rio da Batateira, Bacia do Araripe,  
Ceará, Brasil no poço 1-PS-06-CE”.**

Trabalho de Conclusão de Curso

(Geologia)

Orientadores: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Dra. Joalice Oliveira Mendonça

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

Março 2021

Luiza Tinoco Barcellos de Souza

**“Caracterização de fácies orgânica do Mb.  
Fundão, Fm. Rio da Batateira, Bacia do Araripe,  
Ceará, Brasil no poço 1-PS-06-CE”.**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto  
de Geociências, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentando como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Bacharel em Geologia

Orientadores: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Dra. Joalice Oliveira Mendonça

Rio de Janeiro

### CIP - Catalogação na Publicação

Tinoco Barcellos de Souza, Luiza  
o  
Barcellos de Souza, Luiza  
de Souza, Luiza  
?  
Tinoco Barcellos de Souza, Luiza  
"Caracterização de fácies orgânica do Mb. Fundão,  
Fm. Rio da Batateira, Bacia do Araripe, Ceará,  
Brasil no poço 1-PS-06-CE". / Luiza Tinoco Barcellos  
de Souza. -- Rio de Janeiro, 2021.  
56 f.  
Orientador: João Graciano Mendonça Filho .  
Coorientadora: Joalice Oliveira Mendonça.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Geociências, Bacharel em Geologia, 2021.  
1. Geologia. 2. Geoquímica Orgânica. 3.  
Palinofácies. 4. Bacia do Araripe. I. Graciano  
Mendonça Filho , João, orient. II. Oliveira Mendonça,  
Joalice, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

*“Caminho se conhece andando  
Então vez em quando é bom se perder  
Perdido fica perguntando  
Vai só procurando  
E acha sem saber  
Perigo é se encontrar perdido  
Deixar sem ter sido  
Não olhar, não ver  
Bom mesmo é ter sexto sentido  
Sair distraído espalhar bem-querer”*

*Chico César*

**Luiza Tinoco Barcellos de Souza**

**“Caracterização de fácies orgânica do Mb. Fundão,  
Fm. Rio da Batateira, Bacia do Araripe, Ceará, Brasil  
no poço 1-PS-06-CE”.**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do  
Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado  
como requisito necessário para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. João Graciano  
Mendonça Filho

Dra. Joalice de Oliveira Mendonça

Aprovado em: 19/03/201

Por:

---

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho (UFRJ)

---

Prof. Dr. Aristóteles de Moraes Rios Netto (UFRJ)

---

Dr. Frederico Sobrinho da Silva

## **Agradecimentos**

Sou grata a minha família, especialmente a minha mãe Telma, por sempre me apoiarem e incentivarem, por realizarem meus sonhos, e por me terem dado todo o suporte necessário para que eu pudesse me dedicar aos estudos sem outras grandes responsabilidades. Vocês são meu exemplo de amor.

Sou grata também pelos meus amigos, especialmente aqueles que cultivei na minha passagem pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro. O colégio que muito influenciou e moldou meu caráter e personalidade. Além deles, agradeço muito a todos os meus amigos que fiz durante a graduação em Geologia pela UFRJ, aos colegas de turma, universidade e a todos os outros de vários cantos do Brasil a fora que tive o privilégio de conhecer em diversas oportunidades, graças a esse curso único. Vocês são únicos.

Sou eternamente grata a todas as oportunidades e experiências que vivi na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Em especial aquelas em que os professores se preocuparam em nos ensinar a olhar além da Geologia, com olhos mais humanos, principalmente ao visitarmos realidades muito distintas das nossas em outros estados brasileiros. A experiência que vivi ao conhecer a Chapada do Araripe em uma das viagens de campo, que também é o local de estudo desse trabalho, estará para sempre em minha memória.

Por fim, minha gratidão ao LAFO, laboratório que me recebeu e permitiu o desenvolvimento deste trabalho, e é claro, ao meu orientador Professor João Graciano Mendonça Filho, pela oportunidade de realizar iniciação científica em um laboratório de excelência, aos pesquisadores e profissionais do LAFO, em especial às Dra. Joalice Mendonça e Dra. Sinda Carvalhal, por serem sempre solícitas e dispostas a compartilharem conhecimentos, sou grata aos meus colegas de laboratório e amigos, Olívia e Leonardo, pelo companheirismo em todos os momentos, agradeço também ao Projeto Shell-UFRJ ALAGOAS - (Correlação Estratigráfica, Evolução Paleoambiental e Paleogeográfica e perspectivas exploratórias do Andar Alagoas), pela oportunidade e pela bolsa concedida, assim como agradeço todos os muitos outros integrantes do projeto, em especial, ao Professor Aristóteles de Moraes Rios Netto e à geóloga Kelly Bonito do Laboratório de Micropaleontologia (Micra)- UFRJ pelo auxílio no preparo das amostras deste trabalho.

The authors gratefully acknowledge the research & development project “Correlação estratigráfica, evolução paleoambiental e paleogeográfica e perspectivas exploratórias do Andar Alagoas”, sponsored by Shell Brasil Petroleo Ltda. with resources allocated to R&D institutions accredited by the Brazilian National Petroleum, Natural Gas and Biofuels Agency - ANP (technical cooperation agreement #20219-2)

## Resumo

A matéria orgânica sedimentar geralmente corresponde à menor proporção de uma rocha sedimentar, o seu estudo pode ser utilizado como uma ferramenta na caracterização de sistemas deposicionais, através da determinação de parâmetros palinofaciológicos e organogeoquímicos, baseados na concentração e distribuição dos seus componentes. Nesse contexto, o Andar Alagoas da Bacia do Araripe, a mais extensa e complexa das bacias intracontinentais do nordeste brasileiro, apresenta um riquíssimo e bem preservado conteúdo orgânico e fossilífero. Essas características contribuem para tornar o Andar Alagoas atraente para estudos relacionados às perspectivas exploratórias da bacia. O objetivo desse trabalho é o estudo da matéria orgânica particulada contida em amostras provenientes do testemunho 1-PS-06-CE, localizado à leste da bacia, que abrange os folhelhos Formação Rio da Batateira, da Sequência Pós-Rifte (Aptiano - Alagoas), e assim determinar as condições paleoambientais vigentes na época de deposição. Para tal, foram utilizadas técnicas de geoquímica orgânica como: carbono orgânico total (COT, ST e RI) e de microscopia óptica (palinofácies) para a determinação das variações organofaciológicas ao longo da seção sedimentar Aptiana estudada. Os teores de COT variaram entre 0,36 e 0,75%, os de ST alcançaram valores de até 0,15 %, e ainda os elevados valores de RI, que variaram de 73 a 89 %, indicam predomínio de matriz pelítica em todo intervalo. Quanto à palinofácies, os grupos predominantes foram Grupo Fitoclasto (13,03 a 76,42%) e Grupo Amorfo (4,78 a 80,08%). Por fim, a análise desses parâmetros, em conjunto com agrupamento estatístico das amostras, permitiu que a seção sedimentar fosse dividida em dois Intervalos, com condições e características ambientais distintas de acordo com a tendência proximal-distal. O Intervalo I corresponderia a um ambiente lacustre, com grupo amorfo dominante, condições deposicionais com maior deficiência de oxigênio e com alguns picos de possível aumento de salinidade. O Intervalo II teria o grupo fitoclasto predominante, um ambiente lacustre mais profundo que o anterior e condições de deposição mais oxidantes e menos salinas.

**Palavras-chave:** Geoquímica Orgânica, Palinofácies, Bacia do Araripe, Andar Alagoas

## **Abstract**

The sedimentary organic matter generally corresponds to a smaller proportion of the sedimentary rock, its study can, however, be used as a tool in the characterization of depositional systems, through the determination of palynofaciological and organogeochemical parameters, based on the concentration and distribution of the components of the same. In this context, the Alagoas Stage of the Araripe Basin, the most extensive and complex of the intracontinental basins of northeastern Brazil, has a very rich and well preserved organic and fossiliferous content. These characteristics contribute to making Alagoas Stage attractive for studies related to the exploratory perspectives of the basin. The objective of the present paper is the study of the particulate organic matter contained in samples taken from the core 1-PS-06-CE, located east of the basin, which covers the Rio da Batateira da Formation, Post-Rift Sequence (Aptian - Alagoas) , and thus to determine the paleoenvironmental conditions in force at the time of deposition. For that, it was used techniques of organic geochemistry (TOC, S and IR) and optical microscopy (palynofacies) to determine organofaciological variations along the studied Aptian sedimentary section, and thus characterize the main depositional conditions during the evolution of the basin, and how to interpret possible paleoenvironments of that portion. The levels of TOC varied between 0.36 and 0.75%, those of S reached values of up to 0.15%, and even the high values of IR, which varied from 73 to 89%, indicate a predominance of siliciclastic matrix throughout the interval. As for palynofacies, the predominant groups were Fitoclast Group (13.03 to 76.42%) and Amorphous Group (4.78 to 80.08%). Finally, the analysis of parameters, together with their own statistical grouping, aggregation of a sedimentary section to be divided into two Intervals, with different environmental conditions and characteristics according to the proximal-distal trend. Interval I would correspond to a lake environment, with a dominant amorphous group, depositional conditions with greater oxygen deficiency and with some peaks of possible increase in salinity. Interval II would have the predominant phytoclast group, a lake environment deeper than the previous one and with more oxidizing and less saline deposition conditions.

**Keyword:** Organic Geochemistry, Palinofacies, Araripe Basin, Alagoas Stage



## Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo.....	vii
Abstract .....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de tabelas .....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Apresentação .....	13
1.2 Objetivos .....	13
1.3 Localização da Área de Estudo .....	14
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL DA BACIA DO ARARIPE .....	15
2.1 Evolução Tectono-Sedimentar .....	15
2.2 Estratigrafia .....	17
3 CONCEITOS E DEFINIÇÕES .....	21
3.1 Matéria Orgânica Sedimentar.....	21
3.2 Querogênio.....	21
3.3 Geoquímica Orgânica e os Parâmetros (COT, ST e RI).....	22
3.4 Palinofácies .....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Amostras e Perfil Composto .....	28
4.2 Processamento para a análise de Palinofácies.....	31
4.3 Processamento para a análise de Geoquímica Orgânica (COT%; ST%; RI%) ....	31
Preparação das amostras – Descarbonatação .....	32
Cálculo do Resíduo Insolúvel.....	32
4.4 Tratamento Estatístico .....	33
5 RESULTADOS & DISCUSSÃO .....	34
5.1 COT, ST e RI .....	34
5.2 Palinofácies .....	35
5.3 Tratamento Estatístico e Agrupamento das Amostras.....	44
5.4 Interpretação do paleoambiente .....	49
6 - CONCLUSÃO.....	52
7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

## Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de localização do Testemunho adaptado de Rios-Netto (2012).....	14
Figura 2 Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema. Geotectônica do Escudo Atlântico. (segundo Delgado et al., 2003). .....	16
Figura 3 Localização e Mapa Geológico Regional da Bacia do Araripe (desenvolvido pela equipe de Geologia Regional do Projeto Alagoas – SHELL-UFRJ).....	16
Figura 4 Carta estratigráfica da Bacia do Araripe, segundo proposta de Ponte & Appi, 1990 (retirada de Arai et al., 2004).....	18
Figura 5 Esquema simplificado da estratigrafia da Bacia do Araripe segundo Ponte & Appi (1990) incluindo o Membro Fundação formalizado por Rios-Netto (2012).....	20
Figura 6 (A) Perfil estratigráfico ao longo do Rio da Batateira, Zona 24M, X = 449824, Y = 9198236) e ponto final (profundidade = 155 metros; cota altimétrica = 424 metros; coordenadas: Zona 24M, X = 453329, Y = 9201298). (B)Perfil estratigráfico do Furo 1-PS-06 (retirada de Rios-Netto 2012).....	20
Figura 7 Esquema ilustrativo das frações da Rocha Total (Mendonça Filho et al., 2017, adaptado de Tissot & Welte, 1984) .....	22
Figura 8 Perfil litoestratigráfico do poço 01-PS-06-CE e distribuição das amostras (modificado de Paula-Freitas, 2009).....	30
Figura 9 Tendência de preservação dos fitoclastos com o aumento do processo de preservação seletiva (Mendonça Filho et al., 2010) .....	38
Figura 10 Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e Luz Azul / Ultravioleta Incidente (modo Fluorescência MF); (A) Fitoclasto Opaco MLBT; (B) Fitoclasto Opaco MF; (C) Fitoclasto Perfurado MLBT; (D) Fitoclasto Perfurado MF; (E) Fitoclasto Listrado MLBT; (F) Fitoclasto Listrado MF, (G) Fitoclasto Estriado MLBT; (H) Fitoclasto Estriado MF; (I) Fitoclasto não bioestruturado MLBT; (J) Fitoclasto não bioestruturado MF; (K/M) Cutícula MLBT; (L/N) Cutícula MF; (O/Q) Membrana MLBT; (P/R) Membrana MF .....	38
Figura 11 Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e Luz Azul / Ultravioleta Incidente (modo Fluorescência MF); (A) MOA MLBT; (B) MOA MF, (C) MOA Bacteriana MLBT; (D) MOA Bacteriana MF; (E) MOA Vegetal MLBT; (F) MOA Vegetal MF; (G) MOA Fitoplanctônica MLBT; (H) MOA Fitoplanctônica MF .....	40
Figura 12 Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e em Luz Azul / Ultravioleta Incidente (modo Fluorescência MF); Esporomorfos: (A), Grão de Pólen – Classopollis MLBT; (B) Grão de Pólen – Classopollis MF (C) Esporo MLBT (D) Esporo MF ; (E-F) Esporo – Cicatricosisporites; (G-H) Grão de Pólen – Gnetaceaepollenites; (I-J) Grão de Pólen – Tétrade de Classopollis ; (K-L) Esporo – Cyathidites; Microplâncton marinho: (M-N) Prasinófita Pterospermella, (O-P) Maranhites, (Q-R) Acritarco, Microplâncton de água doce: (S) Scenedesmus MLBT; (T) Scenedesmus MF; (U) Pediastrum MLBT; (V) Pediastrum MF; (X) Botryococcus MLBT; (Z) Botryococcus MF .....	42
Figura 13 Perfil litoestratigráfico do PS-06-CE, gráficos de linha que expressam as variações nos resultados das análises de Geoquímica (COT, ST E RI) e palinofácies,(FITO, MOA, PALINO).....	43

Figura 14 Dendrograma gerado pela análise de agrupamento Modo-R (com as associações de palinofácies (A1, A2 e A3) e os subgrupos da matéria orgânica particulada. ....	46
Figura 15 Dendrograma gerado pela análise de agrupamento Modo-Q com os agrupamentos (G1,G1b, G2, G3) das amostras do testemunho.....	46
Figura 16 Perfil litoestratigráfico do PS-06-CE, gráficos de linha que expressam as variações dos resultados da análise de Geoquímica (COT, ST E RI) e Palinofácies,(FITO, MOA, PALINO),.....	51

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 Classificação do Grupo Fitoclasto (Mendonça Filho et al., 2017).....	24
Tabela 2 Classificação do Grupo Amorfo (Mendonça Filho et al., 2017).....	26
Tabela 3 Classificação do Grupo Palinomorfo (Mendonça Filho et al., 2017).....	27
Tabela 4 Relação das amostras processadas, litologias (em destaque as amostras recuperadas no processamento) .....	29
Tabela 5 Resultados em % dos valores de Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre Total (ST) e Resíduo Insolúvel (RI) para cada amostra recuperada. ....	34
Tabela 6 Resultados em % dos valores de Matéria Orgânica Amorfa (MOA), Fitoclasto (FITO) e Palinomorfo (PALINO).....	35
Tabela 7 Frequência relativa dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação ao total de matéria orgânica.....	35
Tabela 8 Tendências gerais proximal-distal com base nos parâmetros calculados para os grupos e subgrupos dos componentes da matéria orgânica. (Mendonça Filho et al., 2017) .....	36
Tabela 9 Frequência relativa do Grupo Fitoclasto em relação ao total de matéria orgânica .....	37
Tabela 10 Frequência relativa dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação aos parâmetros utilizados no agrupamento (componentes da matéria orgânica, COT, S), seus respectivos grupos e associações .....	45
Tabela 11 Associações de Palinofácies originadas através do tratamento estatístico Modo-R.....	45

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

A Bacia do Araripe é a mais extensa bacia do interior do Nordeste do Brasil, está situada na Província Borborema, abrangendo os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Sua história geológica está relacionada ao processo de abertura do oceano Atlântico Sul e à divisão do paleocontinente Gondwana. A sua estratigrafia é composta por quatro sequências que incluem as Formações Mauriti, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu, limitadas por discordâncias. (ASSINE, 2007; PONTE & APPI, 1990). Dentro dessa sucessão, o intervalo correspondente ao Andar Alagoas (Formações Rio da Batateira e Santana), representa um tempo de grandes mudanças ambientais pelas quais passou a bacia, e também apresenta um riquíssimo conteúdo fossilífero, que se encontra entre os mais diversificados, abundantes e bem preservados em todo mundo. Essas características contribuem para tornar o Andar Alagoas atraente para estudos relacionados às perspectivas exploratórias da bacia. (ASSINE, 2014; RIOS-NETTO, 2011)

A matéria orgânica está presente em todos os sedimentos e rochas sedimentares e se trata da menor porção da rocha sedimentar sendo derivada direta ou indiretamente dos organismos. O estudo dos parâmetros organofaciológicos, através da técnica de palinofácies consiste na identificação e análise qualitativa e quantitativa dos componentes da matéria orgânica particulada presente nessas rochas e permite, através da caracterização da matéria orgânica em questão, uma associação às condições deposicionais dos sedimentos e aos seus ambientes deposicionais (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2017). Tradicionalmente, a caracterização organofaciológica é amplamente aplicada em depósitos marinhos e continentais vinculada ao estudo de seu potencial gerador de hidrocarbonetos, uma vez que a técnica de palinofácies foi desenvolvida para a indústria do petróleo (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010)

## 1.2 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é a caracterização da matéria orgânica dispersa em amostras do testemunho 1-PS-06-CE, utilizando técnicas de geoquímica orgânica (COT, ST e RI) e de microscopia óptica (palinofácies) para a determinação de variações

organofaciológicas ao longo da seção sedimentar, e assim, caracterizar variações nas condições de deposição da matéria orgânica durante a evolução Aptiana da bacia, interpretando os possíveis paleoambientes deposicionais na seção estudada.

### 1.3 Localização da Área de Estudo

A Bacia do Araripe está localizada no sertão nordestino do Brasil, abrangendo partes dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. Tem orientação geral Leste – Oeste, estando limitada, aproximadamente, pelas coordenadas 07°00'N, 08°00'S, 41°00'W e 38°30'E. Sua área é de aproximadamente 9.000 km<sup>2</sup>.

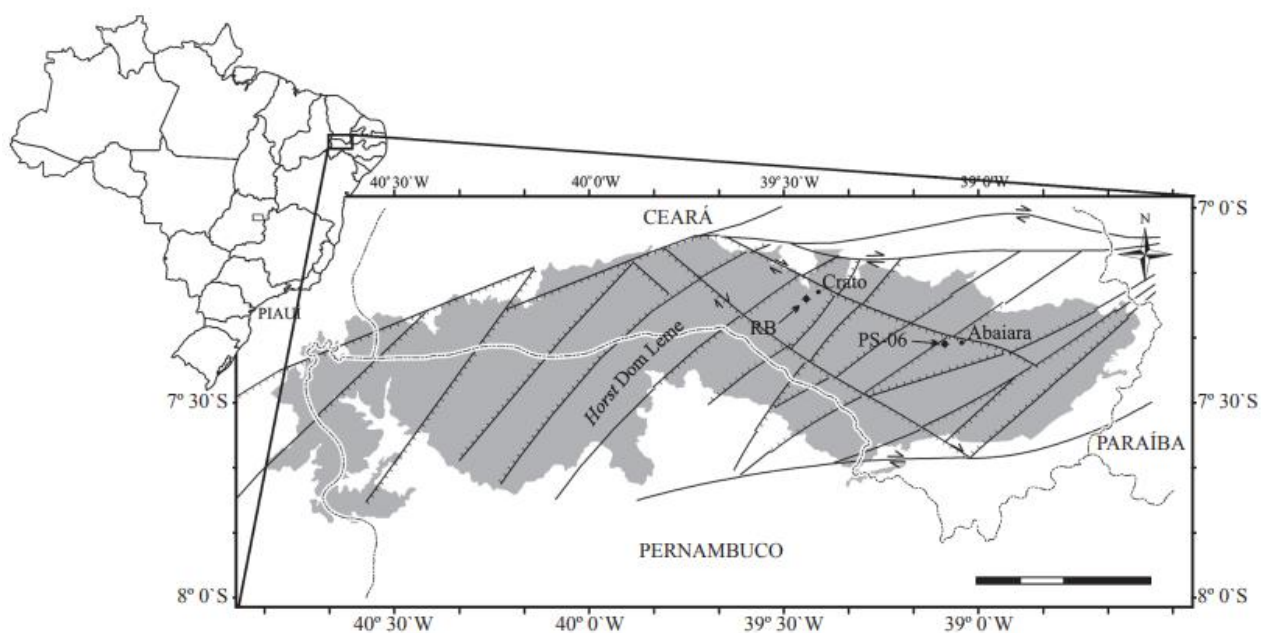


Figura 1 Mapa de localização do Testemunho (retirado de Rios Netto 2012)

Essa região abrange a Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe (Decreto s/n de 04 de agosto de 1997), criada para garantir a conservação da fauna e flora da região, além dos patrimônios paleontológicos do Cretáceo Inferior.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL DA BACIA DO ARARIPE

### 2.1 Evolução Tectono-Sedimentar

A Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se ao sul da porção setentrional da Província da Borborema, um terreno pré-cambriano que abrange grande parte do nordeste brasileiro e situada a sul do Lineamento de Patos (Figura 2 e 3). Sua evolução tectono-sedimentar se relaciona com os processos de ruptura do paleocontinente Gondwana Ocidental que levaram à abertura do Oceano Atlântico Sul e à consequente formação dos continentes Sul-Americano e Africano. Sua gênese se deu em meio a grábens resultantes do regime extensional ao longo de linhas de falhas neoproterozoicas reativadas durante o rompimento do Gondwana. Este tectonismo iniciou-se no Jurássico Médio com tafrogênese, seguida de uma subsidência lenta que se prolongou até o Cretáceo. O embasamento da bacia é constituído por terrenos cristalinos pré-cambrianos, contendo rochas magmáticas e metamórficas pertencentes a diferentes domínios tectônicos do sistema orogênico Borborema (DELGADO *et al.*, 2003). As bacias intracontinentais cretáceas são estruturalmente controladas por zonas de cisalhamento proterozoicas de direção NE-SW. Sendo a Zona de Cisalhamento Patos (ZCP), composta por uma série de falhas, apresenta uma geometria sigmoidal e, durante o Cretáceo, sofreu uma distensão de direção NW-SE, transformando as falhas, inicialmente transpressionais, em falhas normais, dando origem às bacias interiores do Nordeste (MATOS, 1992). A sequência sedimentar que compõe a bacia é constituída por mega sequências geradas em regimes tectônicos distintos separadas por discordâncias regionais e hiatos deposicionais, o que a configura como bacia de evolução poligenética (ASSINE, 2007; PONTE & APPI, 1990; PONTE *et al.*, 1991).

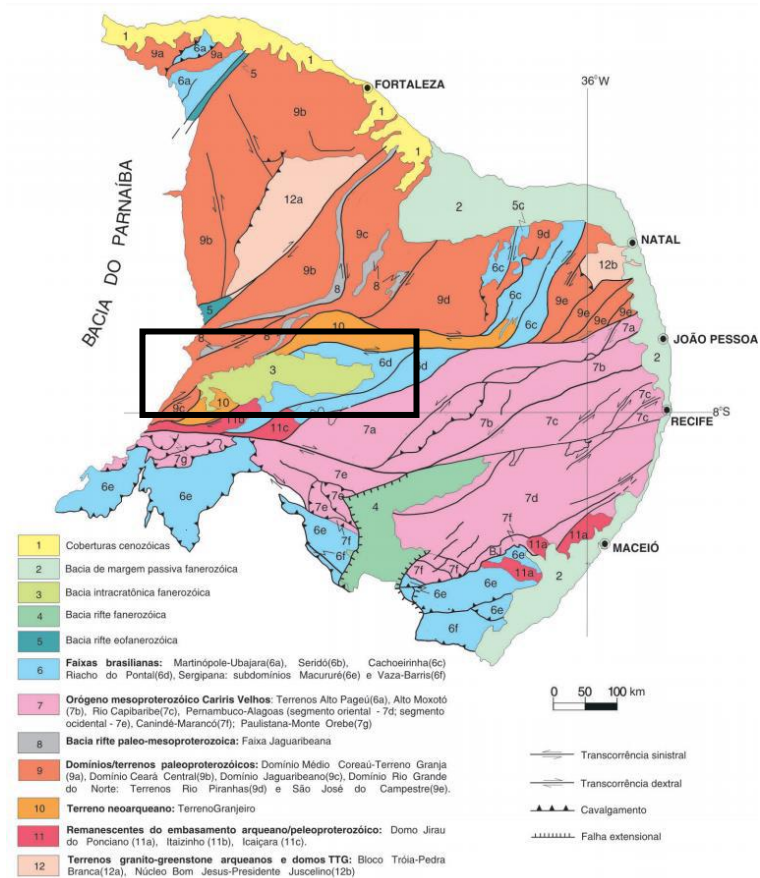


Figura 2 Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Borborema. Geotectônica do Escudo Atlântico. (segundo Delgado et al., 2003).

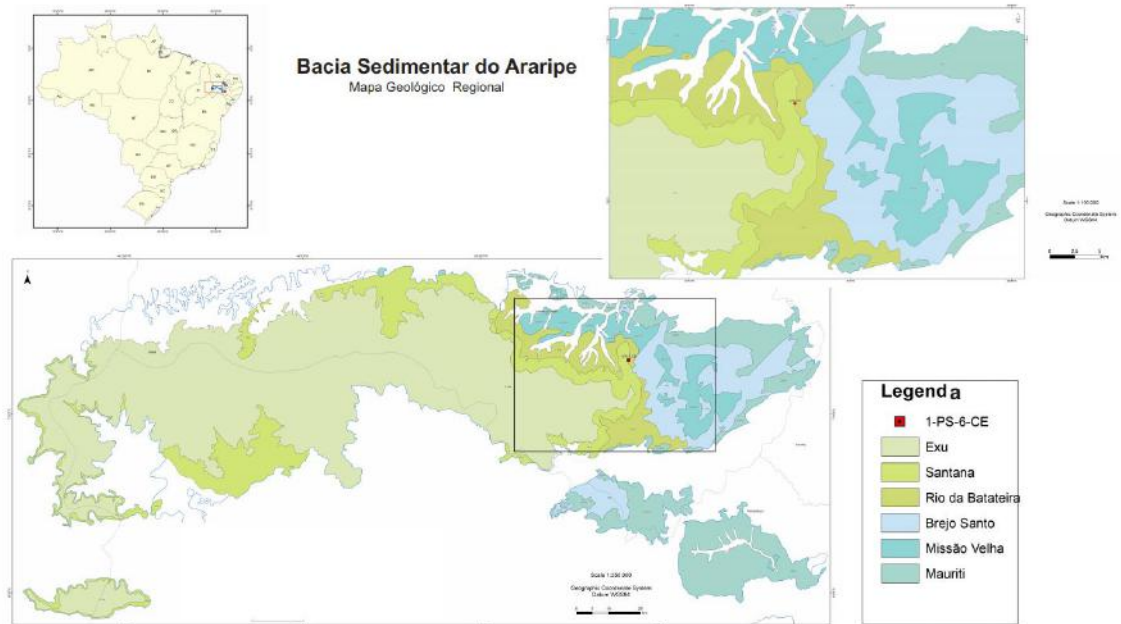


Figura 3 Localização e Mapa Geológico Regional da Bacia do Araripe (desenvolvido pela equipe de Geologia Regional do Projeto Alagoas – SHELL-UFRJ)



## 2.2 Estratigrafia

Existem algumas ideias diferentes em relação ao cenário geológico da Província Borborema, isto inclui a evolução tecno-sedimentar e estratigráfica da Bacia do Araripe. Os estudos mais aceitos seriam os de Ponte & Appi (1990) e Assine (1992). Nesse trabalho a estratigrafia considerada é a proposta Ponte & Appi (1990) (Figura 4).

Nesse cenário, acima do embasamento cristalino pré-cambriano tem-se a sequência paleozoica, a depressão do Vale do Cariri onde se encontra a Formação Mauriti (arenitos grossos e ortoconglomerados), com origem nas cinécleses intracratônicas e formada no período Ordoviciano. Beurlen (1962) e Assine (1992) nomeiam essa Formação como Cariri, no entanto, Ponte & Appi (1990) defendem que seria impróprio por fazer referência a uma região extensa, onde ocorre também diversas outras formações.

Acima foi depositada a supersequência Pré-Rift, os folhelhos, lamitos vermelhos e arenitos da formação jurássica Brejo Santo (GASPARY & ANJOS, 1964) e os arenitos da Formação Missão Velha (PONTE & APPI, 1990), que é originado em um contexto de subsidência mecânica produzido por estiramento litosférico visco-elástico. (ASSINE, 2007).

O estágio rifte na Bacia do Araripe teve início no Neocomiano, Cretáceo Inferior, com a deposição da Formação Abaiara, é constituída pelas intercalações de arenitos finos argilosos, micáceos e friáveis, com (PONTE & APPI, 1990). A unidade apresenta significativa variação faciológica lateral e vertical características de uma tectônica rúptil.

Por fim, a supersequência Pós-Rift engloba os arenitos com intercalação de folhelhos e siltitos, e níveis delgados de conglomerado da Formação Rio da Batateira (PONTE & APPI, 1990), e também a Formação Santana (BEURLLEN, 1962), que é composta essencialmente pelos folhelhos e calcários laminados do Membro Crato, os folhelhos que se intercalam com anidrita e gipsita do Membro Ipubi e os folhelhos e calcários com presença de coquinas do Membro Romualdo. Ainda nessa supersequência, tem-se os folhelhos e arenitos da Formação Arajara e os arenitos da Formação Exu no topo da sequência.



O intervalo estudado neste trabalho corresponde essencialmente aos folhelhos e siltitos da Formação Rio da Batateira, da sequência do Pós-Rift, sendo considerada do Andar Alagoas. A Formação Rio da Batateira é descrita por Poente & Appi (1990) e Assine (1992) como sedimentos arenosos com intervalos pelíticos, e delgadas camadas de ortoconglomerados, e interpretados como fluvio-lacustres. Essas camadas pelíticas representariam o final de um evento de redução da energia do ambiente fluvial, constituindo o primeiro registro de um amplo sistema lacustre na sequência. Inicialmente restrito e caracterizado por águas rasas e pouco oxigenadas (reductor), o que constituiu um ambiente propício para preservação de significativa quantidade de matéria orgânica. Devido à sua grande extensão lateral e pequena espessura (<10 m) constituem marco estratigráfico de importância regional na Bacia do Araripe.

O Membro Fundão, formalizado por Rios-Netto (2012), sendo descrito como um intervalo argiloso, é caracteristicamente posicionado entre os arenitos das porções inferior e média da Formação Rio da Batateira (Figura 4). A parte inferior do Membro Fundão inicia-se com argilitos amarronzados na base, passando a folhelhos de cinza escuro a negro, que se constituem na litologia predominante e, em meio a esses folhelhos escuros, geralmente se observa uma camada calcária ou margosa com níveis calcíferos descontínuos. A parte superior desse membro, de cor cinza a levemente amarronzada, é composta por folhelhos com frequentes intercalações de siltitos. O conteúdo fossilífero do Membro Fundão é formado de ostracodes, conchostráceos, coprólitos, palinórfos, detritos algálicos e vegetais. Poente & Appi (1990), Assine (1992, 2007) e Chagas et al. (2007) defendem que o intervalo correspondente ao Membro Fundão teria sido depositado em ambiente lacustre reductor (RIOS-NETTO 2012). Rios Netto (2012) utiliza resultados de análises do testemunho 1-PS-06-CE e pontua que o intervalo entre as profundidades 86,20 e 121,80 m do furo de sondagem, é o correspondente ao “Membro Fundão” (Figura 5 e 6). Sendo esse intervalo essencialmente o mesmo intervalo estudado neste presente trabalho, também no testemunho 1-PS-06-CE.

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA		
INTERNACIONAL		ANDARES LOCAIS	GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO
CRETÁCEO	CENOMANIANO		ARARIPE	EXÚ	
	ALBIANO			ARAJARA	ROMUALDO
	APTIANO	ALAGOAS		SANTANA	IPUBI
				BATATEIRA	CRATO
FUNDÃO					
CRETÁCEO	HAUTERIVIANO	ARATU	VALE DO CARIRI	ABAIARA	
	VALANGINIANO	RIO DA SERRA			
	BERRIASIANO			MISSÃO VELHA	
JURÁSSICO		DOM JOÃO		BREJO SANTO	
SILURIANO-DEVONIANO			MAURITI		
PRÉ-CAMBRIANO			EMBASAMENTO CRISTALINO		

Figura 5 Esquema simplificado da estratigrafia da Bacia do Araripe segundo Ponte & Appi (1990) incluindo o Membro Fundão formalizado por Rios-Netto (2012)

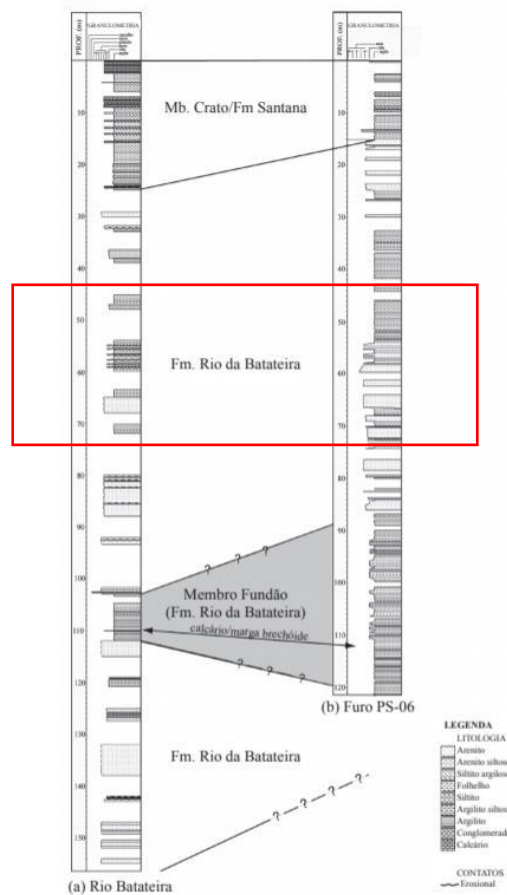


Figura 6 (A) Perfil estratigráfico ao longo do Rio da Batateira, Zona 24M, X = 449824, Y = 9198236) e ponto final (profundidade = 155 metros; cota altimétrica = 424 metros; coordenadas: Zona 24M, X = 453329, Y = 9201298). (B) Perfil estratigráfico do Furo 1-PS-06 (retirada de Rios-Netto 2012)

### **3 CONCEITOS E DEFINIÇÕES**

#### **3.1 Matéria Orgânica Sedimentar**

A matéria orgânica sedimentar geralmente corresponde à menor proporção da fração sedimentar, sendo constituída de moléculas orgânicas derivadas de organismos. De acordo com Brooks et al., 1987 o carbono pode estar presente em duas formas, reduzida ou oxidada. Os fatores que influenciam a qualidade e a quantidade de matéria orgânica presente em um sedimento são a produção de biomassa, as condições de acumulação e deposição e a preservação. (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010)

Os estudos a respeito da concentração da matéria orgânica sedimentar em ambientes marinhos e continentais é uma das mais importantes ferramentas de caracterização deposicional e paleoambiental. Esse estudo, que integra métodos de microscopia e geoquímica orgânica resultou, em 1970, no conceito de “Fácies Orgânica”, e a partir daí as técnicas desenvolveram-se muito rapidamente, impulsionadas pela crescente demanda da avaliação do potencial de geração de óleo de bacias sedimentares. (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010).

#### **3.2 Querogênio**

A fração da matéria insolúvel em solventes orgânicos é o querogênio, a fração solúvel é o betume (Figura 7). O termo querogênio é comumente utilizado para se referir à matéria orgânica particulada das rochas sedimentares que passou por reações geoquímicas durante a diagênese e soterramento e engloba uma série de elementos como o hidrogênio, carbono, oxigênio. A quantidade em porcentagem, desses elementos, dependente de fatores como origem do material, estado de preservação, idade e estágio de maturação (TYSON, 1995). Para os palinólogos e petrólogos orgânicos, o querogênio pode ser definido como matéria orgânica particulada (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010).

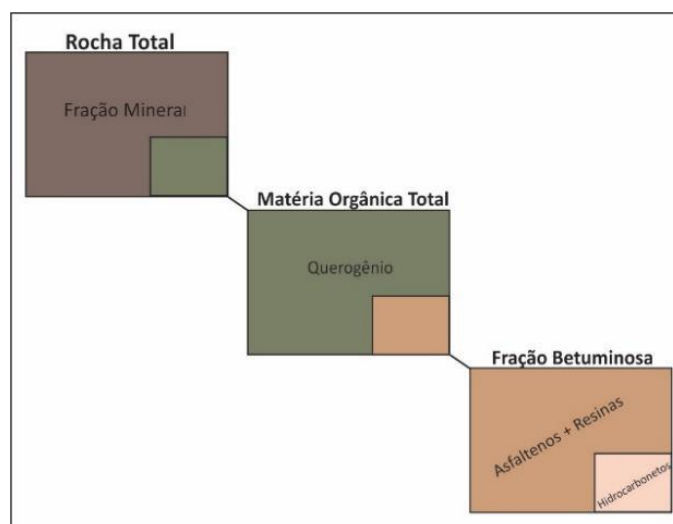


Figura 7 Esquema ilustrativo das frações da Rocha Total (Mendonça Filho *et al.*, 2017, adaptado de Tissot & Welte, 1984)

### 3.3 Geoquímica Orgânica e os Parâmetros (COT, ST e RI)

A abundância de matéria orgânica é normalmente expressa como a percentagem em peso relativa de carbono orgânico total em uma amostra. A abundância de matéria orgânica é normalmente expressa como a percentagem em peso relativa de carbono orgânico total em uma amostra (Jarvie, 1991; Bordenave *et al.*, 1993). Esse procedimento determina somente o teor de carbono orgânico e não a matéria orgânica total ou querogênio, pois apenas uma parte da matéria orgânica é carbono, o restante é principalmente Oxigênio (3-20%), Hidrogênio (3-10%), Nitrogênio (0-4%) e Enxofre (0-4%). A proporção desses elementos por sua vez depende da origem, estado de preservação, idade e do estágio de evolução térmica da matéria orgânica. (Tyson, 1987, 1995).

O enxofre (ST) incorporado nos sedimentos vem da ação de bactérias redutoras de sulfato presentes na coluna d'água livre de oxigênio sobre a matéria orgânica. Consequentemente, os valores elevados de enxofre são indicativos de deposição em ambientes anóxicos (BERNER, 1984)

O resíduo insolúvel (RI) corresponde à fração de amostra não eliminada pelo tratamento ácido, pressupondo-se a eliminação total dos carbonatos existentes, haverá apenas Carbono Orgânico no resíduo restante (ASTM, 2017 & U.S.EPA, 2002).

### 3.4 Palinofácies

Combaz (1964) definiu pela primeira vez o termo palinofácies, como a porção total de constituintes orgânicos microscópicos presentes em uma rocha após a remoção da matriz sedimentar por acidificação com HCl e HF. Tyson (1995) por sua vez definiu palinofácies como um corpo de sedimentos contendo uma assembleia distinta de matéria orgânica palinológica que reflete condições ambientais específicas, podendo estar associada a um potencial de geração de hidrocarbonetos. O seu estudo pode ser considerado um aspecto particular dos estudos de fácies orgânica e é imprescindível para informações sobre a origem da matéria orgânica, seus diferentes constituintes, seu estado de preservação, sua maturidade térmica, seu potencial gerador de hidrocarbonetos e o ambiente deposicional. Se faz necessário no estudo de Palinofácies portanto, classificar os componentes da matéria orgânica particulada de uma forma quantitativa (proporções relativas) e qualitativa (identificação dos componentes de acordo com os grupos e subgrupos da matéria orgânica, além de seu estado de preservação, coloração, fluorescência, tamanho e forma). Essas análises são realizadas através da microscopia óptica nos modos Luz Branca Transmitida (MLBT) e Luz Azul / Ultravioleta Incidente (Modo Fluorescência) (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2017). Os três grupos da matéria orgânica particulada são: Fitoclasto, Amorfo e Palinomorfo (Tabelas 1, 2 e 3):

- Grupo Fitoclasto: derivado de vegetais superiores terrestres ou fungos, sendo a grande maioria de vegetais superiores. O grupo ainda é subdividido em fitoclastos opacos (negros) e fitoclastos não opacos (marrons) em MLBT. A boa preservação ou não desse grupo está relacionada a alguns fatores como: origem da partícula, proximidade da área fonte, condições de oxidação na época da deposição dos sedimentos, ou seja, o tipo de ambiente. A razão entre os subgrupos opacos e não opacos reflete o distanciamento da área fonte: as partículas de fitoclasto opaco são derivadas, principalmente, da oxidação do fitoclasto não-opaco sendo transportadas por mais tempo e depositadas em ambientes mais distais da área fonte. Os fitoclastos opacos têm maior resistência à degradação em relação à fração não-opaca, e permanecerão no ambiente deposicional após a destruição seletiva da maioria dos outros materiais orgânicos. (TYSON, 1993). Os fitoclastos não-opacos não-bioestruturados são dominantes em ambientes mais proximais, onde esses elementos podem ser de coloração muito escura devido à oxidação (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO *et al.*, (2017).

Tabela 1 Classificação do Grupo Fitoclasto (Mendonça Filho et al., 2017)

<b>GRUPO FITOCLASTO</b>	<b>SUBGRUPO</b>	<b>ORIGEM</b>		<b>DESCRIÇÃO</b>
	<b>OPACO</b>	Derivados de tecidos lenhosos de plantas superiores ou fungos	Equidimensional	Partícula negra equidimensional e sem bioestrutura interna.
			Alongado	Partícula negra de forma alongada e sem bioestrutura interna. Eixo longo três vezes mais do que o eixo curto.
			Corroído	Partícula negra de forma e contorno difusos.
	<b>NÃO OPACO</b>		Bioestruturados	Partícula geralmente marrom com bioestruturas: estriado (lineação fibrosa regular), listrado (listras irregulares), bandado (bandas espessas, regulares e paralelas) e perfurado (pontos com bordas ou escalariformes).
			Não Bioestruturados	Partícula geralmente marrom sem bioestruturas, equidimensional ou alongada.
			Cutícula	Partículas amarelo pálido a alaranjado - marrom claro, delgadas, contornos de células alguns casos com estômatos visíveis, o que pode indicar que é um fragmento derivado de folhas. Geralmente fluorescente.
		Membrana	Partículas amarelo pálido, comumente transparente e fluorescente.	

Grupo Amorfo: todo componente orgânico particulado sem estrutura, incluindo matéria orgânica amorfa, derivada de bactérias, fitoplâncton, resinas de vegetais superiores e agregados orgânicos degradados. O estado de preservação da MOA é importante na determinação de condições deposicionais e na caracterização do potencial de geração de hidrocarbonetos, podendo ser avaliada com técnicas de microscopia sob luz azul/ultravioleta incidente (fluorescência). A elevada abundância relativa de MOA exibindo intensa coloração de fluorescência é característica de áreas de elevada preservação de matéria orgânica devido às condições redutoras, especialmente em áreas de alta produtividade primária. O subgrupo da MOA foi ainda dividido de acordo com a sua possível origem: MOA bacteriana (matéria orgânica amorfa, produto da atividade de



bactérias), MOA vegetal (matéria orgânica amorfo produto de tecidos de vegetais superiores), MOA fitoplanctônica (matéria orgânica amorfa derivada de fitoplâncton de água doce) e MOA (cuja origem não é definida). A MOA bacteriana costuma ser mais espessa e ter uma fluorescência alta, a MOA vegetal possui textura mais homogênea e densa, podendo apresentar características de seus componentes precursores como os fitoclastos e as cutículas, como por exemplo extremidades com contornos regulares característicos e fluorescência mais baixa, caraterísticos dos fitoclastos. A MOA fitoplanctônica de água doce é mais delgada, especialmente em Luz Branca onde ela é quase translúcida, aparente apenas em Luz Azul / Ultravioleta, e possui fluorescência mais alta se comparada a MOA vegetal. A MOA cuja origem é difícil de determinar mostra partículas densas com fluorescência geralmente alta ou até com outras partículas associadas. (TYSON, 1993; 1995; MENDONÇA FILHO *et al.*, (2017).

Tabela 2 Classificação do Grupo Amorfo (Mendonça Filho *et al.*, 2017)

	SUBGRUPO	ORIGEM	DESCRIÇÃO
<b>GRUPO AMORFO</b>	<b>MOA</b>	Matéria orgânica derivada do ataque microbiológico de vegetais superiores	MOA vegetal: contorno difuso, textura mais densa; cor: marrom claro-marrom-marrom escuro; sem inclusões; pode ter fluorescência
		Matéria orgânica derivada do ataque microbiológico de fitoplâncton.	MOA fitoplanctônica: material não estruturado com formato variado, geralmente delgado; cor: amarelo-laranja-vermelho, laranja-marrom ou cinza; homogêneo; podendo ter inclusões (palinomorfos, fitoclastos, piritita) e fluorescência.
		Matéria orgânica derivada de produção primária de bactérias autotróficas	MOA bacteriana: material não estruturado, contornos variados (angulares, difusos.); cor: amarelo pálido - amarelo, laranja-marrom e cinza; geralmente fluorescência intensa.
	<b>RESINA</b>	Derivada de vegetais superiores terrestres de florestas subtropicais e tropicas.	Partícula não estruturada, hialina, homogênea, fluorescente e arredondada.

- Grupo Palinomorfo: são os microfósseis de parede orgânica resistentes ao ataque com ácido clorídrico (HCl) e ácido fluorídrico (HF). Geralmente é o grupo menos abundante da matéria orgânica particulada, e pode indicar a caracterização paleoambiental e possíveis incursões marinhas, uma vez que se subdivide em esporomorfos (continentais), microplâncton de parede orgânica (água doce ou marinho) e zoomorfos. De uma forma geral, o alto percentual de palinomorfos caracteriza um ambiente mais oxidante e, portando, com baixa preservação de matéria orgânica. (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2017).

Tabela 3 Classificação do Grupo Palinomorfo (Mendonça Filho et al., 2017)

GRUPO PALINOMORFO	SUBGRUPO	ORIGEM		DESCRIÇÃO
	ESPOROMORFO	Derivados de pteridófitas, briófitas e fungos	Esporos	Partícula com forma em geral triangular ou circular, geralmente apresentando a marca trilete (“Y”) ou monolete (I).
		Derivados de plantas gimnospermas e angiospermas.	Grão de Pólen	Partícula geralmente esférica à subsférica; com vários tipos de ornamentação e aberturas podem estar presentes na maioria. Podem ocorrer como aglomerados ou tétrades.
	MICROPLÂNCTON	Água doce (Algas verdes clorofiladas)	<i>Botryococcus</i>	Colônias globulares irregulares, algumas vezes com vários lóbulos. Bastante fluorescente.
			<i>Pediastrum</i>	Colônias arredondadas de forma poligonal. As células possuem um arranjo concêntrico e apresentam dois “chifres” em suas extremidades.
			<i>Scenedesmus</i>	Colônias com 4, 8 ou 16 células dispostas em uma fileira e sem mobilidade. Diferentes formas de cenocítico podem ser encontradas (lineares, costulacoides, elipsoides e ovoides etc.)
		Marinho	Dinocistos (cistos oriundos de fase sexual dos Dinoflagelados)	Partícula com paratabulação que divide a teca e o cisto em placas retangulares ou poligonais separadas por suturas. Três principais morfo-logias: proximados, cavados e corados.
			Prasynophyta	Partícula geralmente esférica, como <i>Tasmanites</i> , de diâmetro 50 a 2000 µm.
			Acritarco	Organismo de pequenas dimensões (5 a 150 µm) e de forma simétrica com ornamentação variada.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Amostras e Perfil Composto**

Foram processadas dezoito amostras do testemunho (1-PS-06-CE) dentro do intervalo de 81,75 a 119,00 m de profundidade, englobando o chamado Membro Fundão o intervalo entre a amostra de profundidade 87,00 e 119,00m (Tabela 4 e Figura 8). Entretanto, dez amostras foram consideradas adequadas para análise de palinofácies após a confecção das lâminas organopalinológicas, enquanto as oito restantes não foram recuperadas no processamento (baixa quantidade de matéria orgânica particulada).

O testemunho de sondagem estudado está localizado na porção de leste da Bacia do Araripe, na encosta da Chapada do Araripe, município de Abaiara, Ceará (UTM 9187680 490500) e as amostras utilizadas estão inseridas na Formação Rio da Batateira, do 1-PS-06-CE mostrado na Figura 1.

Esse testemunho de sondagem foi perfurado pelo Projeto Santana II (SCHEID *et al.*,1978). As amostras foram coletadas pela equipe do Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESED) localizado no Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFRJ (IGEO/UFRJ) (Rios Netto, 2011) e atualmente vem sendo estudadas no âmbito do projeto SHELL - UFRJ Alagoas - “Correlação estratigráfica, evolução paleoambiental, paleogeográfica e perspectivas exploratórias do Andar Alagoas”.

Tabela 4 Relação das amostras processadas, litologias (em destaque as amostras recuperadas no processamento)

	<b>AMOSTRA</b>	<b>PROF. (m)</b>	<b>LITOLOGIA</b>
	19/134	81,75	Folhelho argiloso
	19/135	82,40	Arenito
	19/136	84,00	Siltito
<b>MEMBRO FUNDÃO</b>	19/137	87,00	Folhelho argiloso
	19/138	88,50	Folhelho argiloso
	19/139	90,00	Folhelho argiloso
	19/139	93,30	Folhelho argiloso
	19/140	96,50	Siltito argiloso
	19/141	97,75	Siltito argiloso
	19/142	100,80	Sem informação
	19/143	103,85	Folhelho argiloso
	19/144	107,00	Folhelho argiloso
	19/145	111,40	Folhelho argiloso
	19/146	112,40	Folhelho argiloso
	19/147	113,50	Folhelho argiloso
	19/148	114,50	Folhelho argiloso
	19/149	117,00	Argilito
	19/150	119,00	Argilito

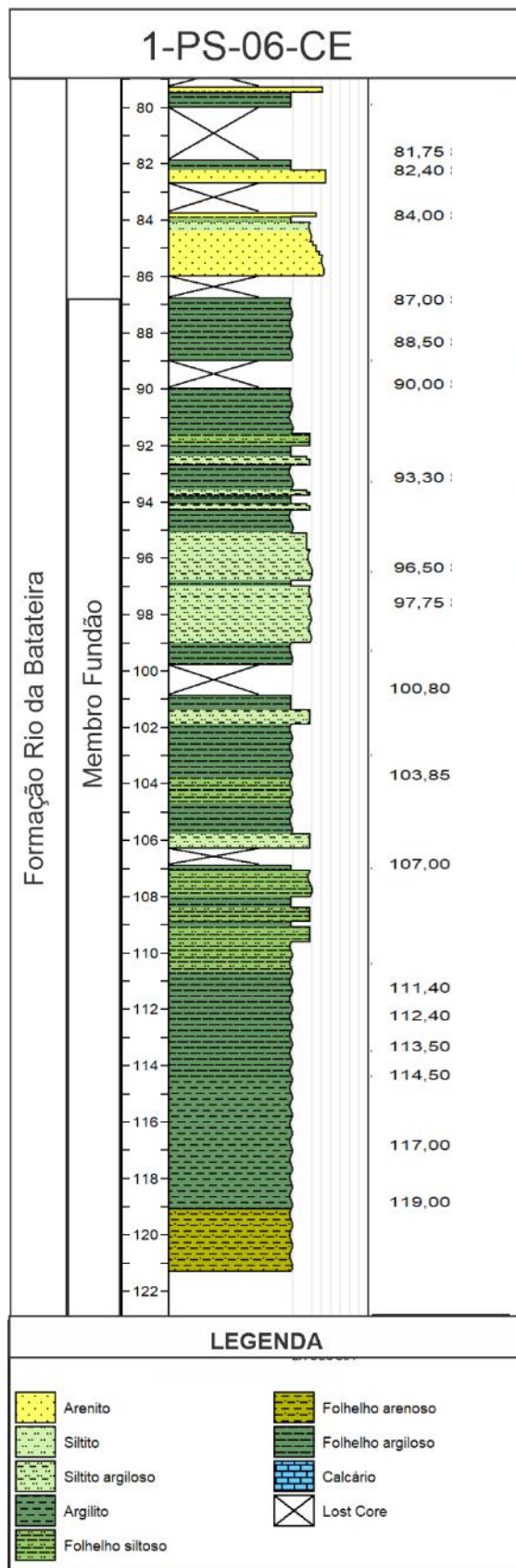


Figura 8 Perfil litoestratigráfico do poço 01-PS-06-CE e distribuição das amostras (modificado de Paula-Freitas, 2009)

## **4.2 Processamento para a análise de Palinofácies**

A análise de Palinofácies é um exame quantitativo (contagem de partículas) e qualitativo (identificação e classificação das partículas) dos grupos e subgrupos de componentes do querogênio contidos nas lâminas organopalinológicas processadas em questão. A técnica consiste na contagem de aproximadamente 300 partículas, em cada lâmina, e na separação dessas partículas entre os três grupos da matéria orgânica particulada. A análise microscópica descrita foi feita utilizando microscópio Zeiss, com objetiva de 20x e ocular de 10x, em modo luz branca transmitida (MLBT) e luz azul/ultravioleta incidente, ou modo fluorescência (MF), no Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Esse processamento segue a metodologia descrita por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et.al*, (2017).

Primeiramente pesa-se aproximadamente 25g das amostras fragmentadas para que passem por três etapas de acidificação. Na primeira etapa é feita a acidificação com HCl 37%, para a eliminação do carbonato. Após as amostras descansarem por 18 horas é feita a neutralização com água filtrada. Em seguida é feita a segunda acidificação com HF 40% para eliminação de silicatos, e as amostras descansam por 24 horas para serem neutralizadas novamente.

A terceira acidificação é com HCl 37%, para a eliminação dos fluorsilicatos, eventualmente formados nas etapas anteriores de acidificação. Então as amostras descansam por 3 horas, são neutralizadas e decantadas em tubos de 50 ml. Os tubos são centrifugados com a adição de cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) para a separação por flotação da matéria orgânica da matéria inorgânica. Após mais uma etapa de neutralização obtém-se o resíduo orgânico e são confeccionadas lâminas para a análise de palinofácies.

## **4.3 Processamento para a análise de Geoquímica Orgânica (COT%; ST%; RI%)**

As determinações do carbono orgânico total e do enxofre foram realizadas nas amostras de sedimento, no aparelho SC 144 da LECO. O método adotado foi o ASTM D 4239 (American Society for Testing and Materials - ASTM, 2017) e NCEA-C-1282 (United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002).

### **Preparação das amostras – Descarbonatação**

São pesados 0,26g da amostra *in natura*, previamente pulverizada, num cadinho de porcelana filtrante (de massa conhecida). Após a pesagem, as amostras são acidificadas com HCl 1:1 a frio, e permanecem assim por 24 horas, para eliminação de todo carbonato.

Em seguida inicia-se a lavagem com água destilada aquecida, para eliminação dos cloretos. A amostra deve permanecer por uma hora nesta etapa, e logo após continua-se a lavagem com água destilada em temperatura ambiente, até que o pH fique próximo de seis (6). Escoando o excesso de água.

As amostras devem ser secas em estufa à 65°C, por aproximadamente 3 horas. Após o resfriamento, os cadinhos são pesados novamente.

Para combustão (queima), utiliza-se a massa inicial, ou seja, antes da acidificação, indicando no programa do equipamento o valor dessa massa inicial.

### **Cálculo do Resíduo Insolúvel**

O resíduo insolúvel (**RI**) corresponde à fração de amostra não eliminada pelo tratamento ácido, pressupondo-se a eliminação total dos carbonatos existentes, haverá apenas Carbono Orgânico no resíduo restante.

$$\% \text{ RI} = \text{PI} \times 100$$

PA

**Onde:**

**PI** = Peso do insolúvel (massa da amostra descarbonatada)

**PA** = Peso da amostra (massa inicial)



#### **4.4 Tratamento Estatístico**

Os valores quantitativos obtidos na análise de palinofácies foram recalculados para valores percentuais relativos para o tratamento estatístico e confecção de tabelas e gráficos. Os dados obtidos foram submetidos às análises estatísticas de agrupamento, para determinação de semelhanças entre as amostras e assim dividi-las em grupos de amostras semelhantes.

O agrupamento das amostras entre os grupos da palinofácies (MODO-R e MODO-Q), foi feito através do programa STATISTICA 7.0 (Copyright 1984-97, StrataSoft, Inc.), a fim de determinar grau de similaridade entre as amostras e assim oferecer melhor visualização das associações de palinofácies e auxiliar na caracterização dos intervalos no testemunho utilizados para a interpretação paleoambiental.

## 5 RESULTADOS & DISCUSSÃO

### 5.1 COT, ST e RI

Os resultados das análises geoquímicas para o intervalo de 114,50 a 84 m, ou seja, apenas as amostras recuperadas no processamento, do 1-PS-06-CE estão expostos na tabela abaixo (Tabela 5). Os teores de COT variaram entre 0,36 e 0,75%, os de ST alcançaram valores de até 0,15 %, e ainda os elevados valores de Resíduo Insolúvel, que variaram de 73 a 89 %, indicam predomínio de matriz não carbonática em todo testemunho estudado. (Figura 6)

Tabela 5 Resultados em % dos valores de Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre Total (ST) e Resíduo Insolúvel (RI) para cada amostra recuperada.

Prof. (m)	C (%)	S (%)	RI (%)
84,00	0,73	0,046	85
90,00	0,46	0,061	87
93,30	0,59	0,043	87
96,50	0,6	0,042	87
100,80	0,51	0,035	85
103,85	0,36	0,036	73
107,00	0,52	0,054	88
112,40	0,51	0,12	89
113,50	0,58	0,063	81
114,50	0,75	0,15	85

Rios-Netto (2012) cita que as amostras analisadas do PS-06-CE entre aproximadamente 119 e 86,2 apresentaram valores entre 0,4 e 0,79%, o que é próximo do encontrado no presente trabalho (0,36 e 0,75%), o que viria a contrariar a ideia de Assine *et al.*, (2006) que as “camadas Batateira” são sempre caracterizadas por folhelhos ricos em COT, embora eventualmente registrem-se altos percentuais de COT, principalmente próximo ao nível intermediário de calcários brechoides.

De uma forma geral, esses valores percentuais de COT não são tão altos e, ao longo do testemunho, os valores relativamente maiores se relacionam às amostras com maior abundância relativa do grupo fitoclasto, principalmente do subgrupo não-opaco, e do grupo palinomorfo.

## 5.2 Palinofácies

Ao analisar o conteúdo organocomposicional foi possível observar a presença dos três grupos da matéria orgânica: Fitoclasto, Matéria Orgânica Amorfa (MOA) e Palinomorfo, em diferentes proporções ao longo da seção sedimentar (Tabela 6). Os grupos predominantes foram fitoclasto, com valores percentuais de 13,03 a 76,42%, e MOA, com valores percentuais de 4,78 a 80,08%. A tabela 7 mostra a frequência relativa dos subgrupos em relação ao total de matéria orgânica para cada amostra.

Tabela 6 Resultados em % dos valores de Matéria Orgânica Amorfa (MOA), Fitoclasto (FITO) e Palinomorfo (PALINO)

Prof. (m)	Fito (%)	Moa (%)	Palino (%)
84,00	65,43	16,49	18,09
90,00	67,20	23,20	9,60
93,30	63,74	30,59	5,67
96,50	64,44	26,67	8,89
100,80	44,41	51,06	4,53
103,85	68,31	25,54	6,15
107,00	39,02	57,05	3,93
112,40	31,80	65,69	2,51
113,50	13,03	80,08	6,90
114,50	76,42	4,78	18,81

Tabela 7 Frequência relativa dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação ao total de matéria orgânica

Prof. (m)	Fito Opaco %	Fito bioestruturado %	Fito não-bioestruturado %	Cutícula %	Membrana %	MOA %	MOA Bacteriana %	MOA Vegetal %	MOA Fitoplanctônica %	Esporomorfo %	Microplâncton Marinho %	Microplâncton Água Doce %
84,00	7,18	18,09	35,11	0,80	4,26	3,19	7,71	3,99	1,60	15,16	0,27	2,66
90,00	15,73	8,53	41,33	1,07	0,53	5,33	9,87	5,87	2,13	8,00	1,07	0,53
93,30	10,48	9,92	41,08	2,27	0,00	8,22	9,07	10,76	2,55	4,53	1,13	0,00
96,50	8,06	8,06	45,00	1,94	1,39	3,33	8,89	11,94	2,22	7,78	0,83	0,28
100,80	3,93	5,44	32,02	0,60	2,42	13,29	22,05	15,41	0,00	3,93	0,60	0,00
103,85	4,31	6,77	53,23	2,46	1,54	7,08	10,15	6,15	2,15	5,85	0,31	0,00
107,00	1,31	2,62	32,13	1,64	1,31	16,07	22,62	13,77	4,59	3,61	0,33	0,00
112,40	2,93	1,67	7,95	0,84	18,41	15,90	12,55	6,69	30,54	2,51	0,00	0,00
113,50	1,92	0,38	7,28	0,38	3,07	0,00	32,18	6,90	39,08	4,98	0,00	1,92
114,50	16,42	2,99	49,25	4,48	3,28	0,00	1,79	1,19	0,00	16,42	2,39	0,00

Como citado, os mais altos valores de COT são referentes às amostras com maior abundância relativa de componentes do grupo fitoclasto, principalmente do subgrupo não-opaco e de componentes do grupo palinomorfo, principalmente esporomorfos, essas são as amostras com profundidade 84,00 m (0,73% COT) e 114,50 m (0,75% COT), respectivamente 53,30% de fitoclasto não-opaco e 18,08% de palinomorfos, e 52,24% de fitoclasto não-opaco e 18,81 % de palinomorfo (Tabela 7 e Figura 11). Segundo Tyson (1995), ambientes siliciclásticos com valores de COT inferiores a 2-3%, são geralmente associados com assembleias de querogênio dominadas por fitoclastos, onde o conteúdo de COT é amplamente determinado por variações na abundância absoluta de fitoclastos, o que poderia exemplificar essa relação COT e fitoclasto no testemunho.

A abundância do grupo fitoclasto, que corresponde às partículas derivadas de vegetais superiores ou fungos, geralmente está associada a ambientes mais próximos a área fonte desses componentes. Enquanto o grupo amorfo geralmente se associa a ambientes distais (Tabela 8).

Tabela 8 Tendências gerais proximal-distal com base nos parâmetros calculados para os grupos e subgrupos dos componentes da matéria orgânica. (Mendonça Filho *et al.*, 2017)

Parâmetros	Trend	
	Proximal	Distal
% de fitoclasto da matéria orgânica total	alto	baixo
% de grupo amorfo da matéria orgânica total	baixo	alto
% de grupo palinomorfo da matéria orgânica total	alto	baixo
% de fitoclasto não bioestruturado e não opaco do grupo fitoclasto	alto	baixo
% de fitoclasto bioestruturado e não opaco do grupo fitoclasto	baixo	alto
% de fitoclasto opaco do grupo fitoclasto	baixo	alto
% de cutícula do grupo fitoclasto	alto	baixo
% de membrana do grupo fitoclasto	alto	baixo
% não opaco, não bioestruturado, não degradado do grupo fitoclasto	alto	baixo
% não opaco, não bioestruturado, degradado do grupo fitoclasto	baixo	alto
razão entre fitoclastos não opacos e fitoclastos opacos	alto	baixo
razão entre fitoclastos opacos equidimensionais e fitoclastos opacos alongados	alto	baixo
razão entre fitoclastos não opacos não degradados e fitoclastos não opacos degradados	alto	baixo
razão entre fitoclastos e palinomorfos	alto	baixo

O grupo fitoclasto, em relação ao total da matéria orgânica particulada, é o mais abundante dentre os grupos no testemunho analisado (Tabela 7). Foi possível perceber a presença ainda de todos os seus subgrupos: os fitoclastos opacos, e os fitoclastos não opacos bioestruturados e não-bioestruturados. Entre os bioestruturados, observou-se a presença de fitoclastos listrados, bandados, estriados e perfurados. Entre os não-

bioestruturados, observou-se a presença partículas de coloração marrom a marrom-negra, não degradadas e degradadas.

Dentre o grupo fitoclasto, o subgrupo não opaco não-bioestruturado degradado foi o mais expressivo em detrimento aos outros subgrupos, o que é atribuído a regiões próximas de fontes flúvio-deltaicas (Figura 9). Quanto a degradação e fragmentação das partículas, esse parâmetro pode apontar um aumento da oxidação, uma vez que a oxidação é o processo mais comum de degradação físico-química. (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010)

Em relação às cutículas ocorre um equilíbrio entre as proporções de degradadas e de não degradadas, sendo observadas, em algumas partículas, estruturas internas e estômatos. As membranas apresentam-se no geral bastante fluorescentes, translúcidas e delgadas, a amostra de profundidade 112,40 m apresentou uma proporção muito maior, 18,41%, de membranas se comparada a todas as outras profundidades (Tabela 9). Amostras com maior variedade de fitoclastos não opacos, cutículas e membranas podem indicar uma condição de maior energia, com entrada de água e maior aporte sedimentar. As partículas pertencentes aos subgrupos do grupo fitoclasto, estão representados na Figura 10.

Tabela 9 Frequência relativa do Grupo Fitoclasto em relação ao total de matéria orgânica

Prof. (m)	Fito opaco %	Fito bioestruturado não degradado %	Fito bioestruturado degradado %	Fito não-bioestruturado não degradado %	Fito não-bioestruturado degradado %	Cutícula não degradada %	Cutícula degradada %	Membrana %
84,00	7,18	9,31	8,78	13,56	21,54	0,80	0,00	4,26
90,00	15,73	4,27	4,27	14,67	26,67	0,27	0,80	0,53
93,30	10,48	3,68	6,23	16,71	24,36	0,57	1,70	0,00
96,50	8,06	5,28	2,78	22,50	22,50	1,39	0,56	1,39
100,80	3,93	2,42	3,02	7,25	24,77	0,60	0,00	2,42
103,85	4,31	2,77	4,00	9,23	44,00	0,31	2,15	1,54
107,00	1,31	0,98	1,64	6,23	25,90	0,66	0,98	1,31
112,40	2,93	0,84	0,84	2,51	5,44	0,00	0,84	18,41
113,50	1,92	0,38	0,00	4,21	3,07	0,38	0,00	3,07
114,50	16,42	1,19	1,79	9,55	39,70	2,09	2,39	3,28

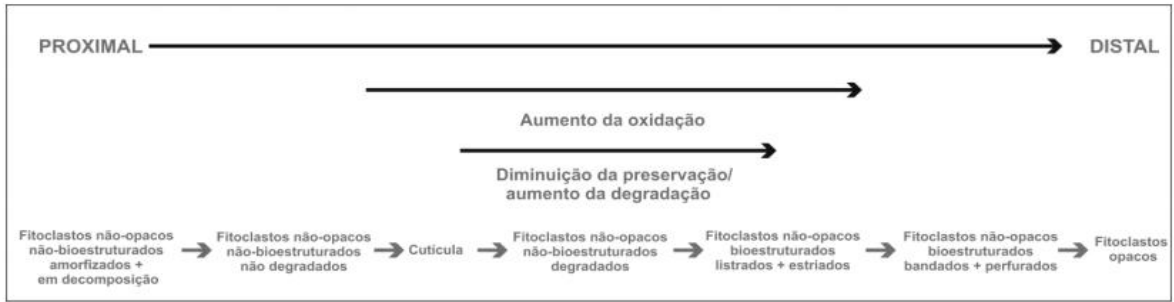


Figura 9 Tendência de preservação dos fitoclastos com o aumento do processo de preservação seletiva (Mendonça Filho *et al.*, 2010)

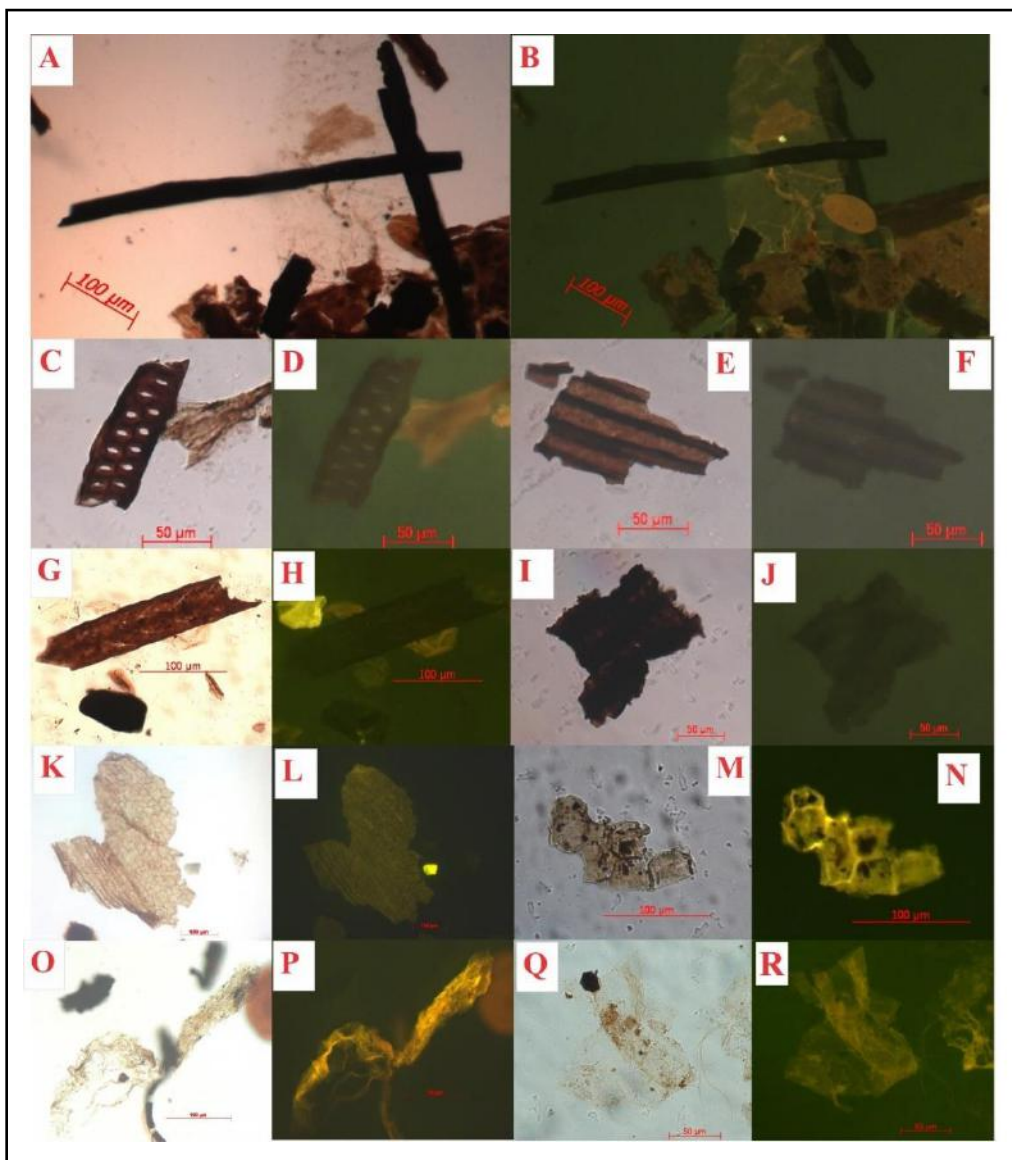


Figura 10 Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e Luz Azul / Ultravioleta Incidente (modo Fluorescência MF); (A) Fitoclasto Opaco MLBT; (B) Fitoclasto Opaco MF; (C) Fitoclasto Perfurado MLBT; (D) Fitoclasto Perfurado MF; (E) Fitoclasto Listrado MLBT; (F) Fitoclasto Listrado MF; (G) Fitoclasto Estriado MLBT; (H) Fitoclasto Estriado MF; (I) Fitoclasto não bioestruturado MLBT; (J) Fitoclasto não bioestruturado MF; (K/M) Cutícula MLBT; (L/N) Cutícula MF; (O/Q) Membrana MLBT; (P/R) Membrana MF

Apesar do grupo fitoclasto ter a maior representatividade absoluta na porção estudada do testemunho, o grupo amorfo é o que tem maior representatividade na sua base (Figura 13), com exceção da amostra de profundidade 114,50 m, que apresentou pouquíssimas partículas desse grupo (4,78%) (Tabela 7).

A MOA bacteriana é a dominante nessa seção em relação as demais, enquanto a MOA fitoplanctônica é a menos frequente na maioria das amostras, com exceção das amostras de profundidade 112,40 e 113,50 m, que possuem 30,54 e 39,08% respectivamente de MOA fitoplanctônica em relação a toda matéria orgânica particulada. A elevada abundância relativa de MOA exibindo fluorescência é característica de áreas de elevada preservação de matéria orgânica devido às condições redutoras, especialmente em áreas de alta produtividade primária, e áreas afastadas de atividade flúvio-deltaica intensa (ambientes de baixa energia) (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010). A MOA bacteriana deriva da produtividade primária de bactérias autotróficas, e não devido ao retrabalhamento microbiológico de outra biomassa, assim abundância de MOA bacteriana costuma indicar condições ambientais favoráveis para produção primária de matéria orgânica através da quimiossíntese, enquanto a abundância de MOA fitoplanctônica costuma indicar condições que favoreceram a mortandade de microplâncton de água doce, dos quais essa MOA deriva, como picos de salinidade.

As partículas pertencentes aos subgrupos do grupo amorfo estão representadas na Figura 11.

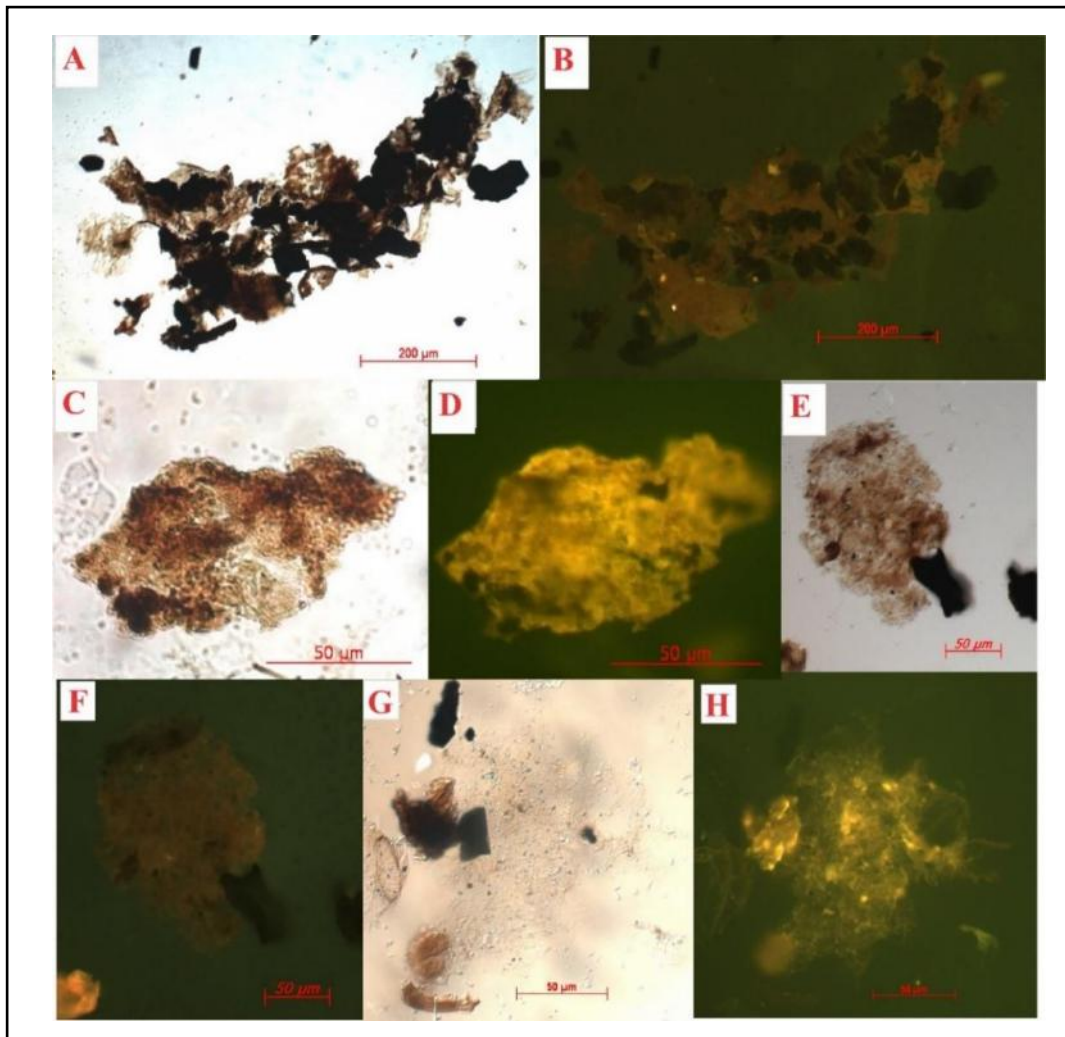


Figura 11 Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e Luz Azul / Ultravioleta Incidente (modo Fluorescência MF); (A) MOA MLBT; (B) MOA MF, (C) MOA Bacteriana MLBT; (D) MOA Bacteriana MF; (E) MOA Vegetal MLBT; (F) MOA Vegetal MF; (G) MOA Fitoplancônica MLBT; (H) MOA Fitoplancônica MF



O grupo palinomorfo é o de menor representatividade em todo o testemunho em relação à matéria orgânica particulada total, sem altos picos de ocorrência (Tabela 6, Figura 13). Os esporomorfos, representados pelos grãos de pólen e pelos esporos são os constituintes dominantes dentro o grupo. O subgrupo microplâncton marinho, é caracterizado pela ocorrência de Prasinófitas e Acritarcos, enquanto o subgrupo microplâncton de água doce está representado especialmente pelas algas verdes, *Botryococcus*, *Pediastrum* e *Scenedesmus*, que indicam deposição em ambiente lacustre proximal.

Os palinomorfos podem ser preservados através de mais de um ciclo deposicional, devido a sua capacidade de resistir a erosão e transporte, o que os caracterizaria como retrabalhados. A ocorrência de palinomorfos retrabalhados de idade Devoniana, presentes em associações palinológicas de sedimentos correspondentes ao intervalo Aptiano é reconhecida na bacia do Araripe. (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Os palinomorfos do subgrupo microplâncton marinho do intervalo estudado não são, portanto, indicativos de ambiente marinho. Neste caso são algas marinhas oriundas de retrabalhamento, representadas pelas Prasinófitas e Acritarcos, principalmente a do gênero *Maranhites* que é exclusiva do Paleozoico. Esses componentes de idade Paleozoica nos sedimentos cretáceos estudados, seriam atribuídos a atuação de erosão dos sedimentos devonianos da Bacia do Parnaíba com redeposição na Bacia do Araripe (BRITO & QUADROS, 1995). Os constituintes do grupo palinomorfos no testemunho estudado estão representados na Figura 12

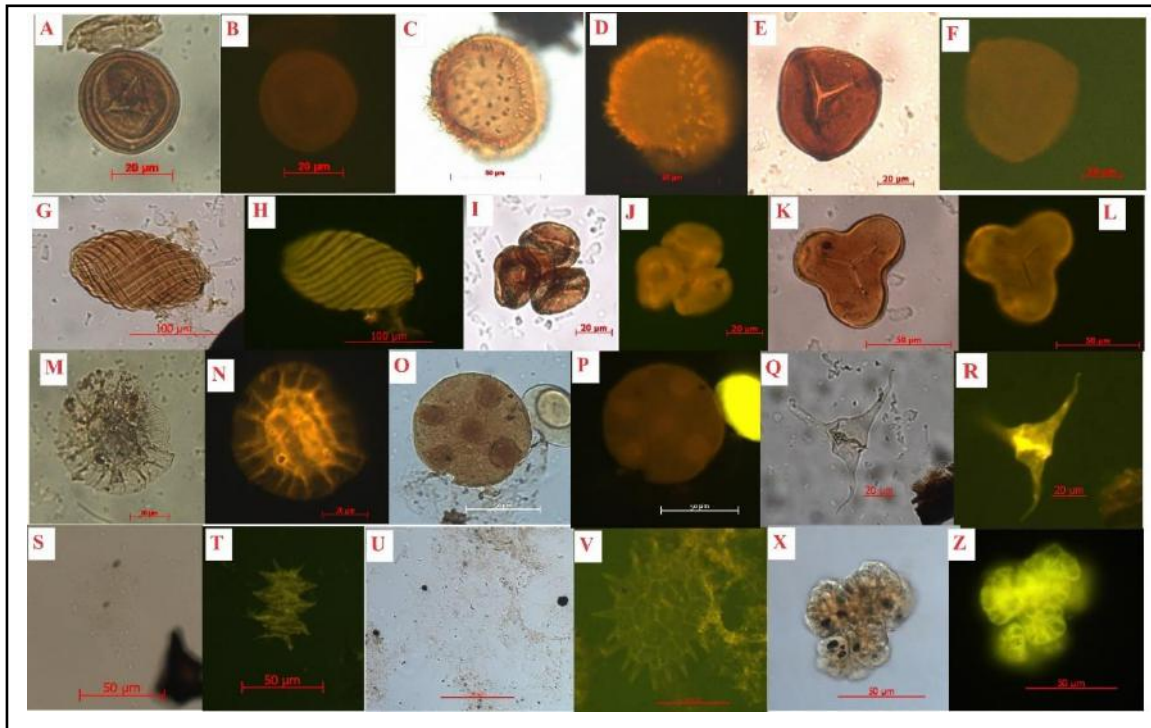


Figura 12 Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e em Luz Azul / Ultravioleta Incidente (modo Fluorescência MF); Esporomorfos: (A), Grão de Pólen – *Classopollis* MLBT; (B) Grão de Pólen – *Classopollis* MF (C) Esporo MLBT (D) Esporo MF ; (E-F) Esporo – *Cicatricosisporites*; (G-H) Grão de Pólen – *Gnetaceaepollenites*; (I-J) Grão de Pólen – Tétrade de *Classopollis* ; (K-L) Esporo – *Cyathidites*; Microplâncton marinho: (M-N) Prasinófita *Pterospermella*, (O-P) *Maranhites*, (Q-R) Acritarco, Microplâncton de água doce: (S) *Scenedesmus* MLBT; (T) *Scenedesmus* MF; (U) *Pediastrum* MLBT; (V) *Pediastrum* MF; (X) *Botryococcus* MLBT; (Z) *Botryococcus* MF

Pode-se observar, portanto, que os dois grupos mais abundantes são o grupo fitoclasto e o grupo amorfo. Ocorre uma alternância no percentual de ocorrência desses dois grupos ao longo do testemunho, com uma sutil predominância do grupo fitoclasto em direção ao topo do testemunho e do grupo amorfo em direção à base. A Figura 13 expressa a variação expressa através de gráficos binários, dos parâmetros citados (Carbono Total, Enxofre, Resíduo Insolúvel, Grupo Fitoclasto, Grupo Amorfo e Grupo Palinomorfo) ao longo do testemunho 01-PS-06-CE. (Tabela 6).

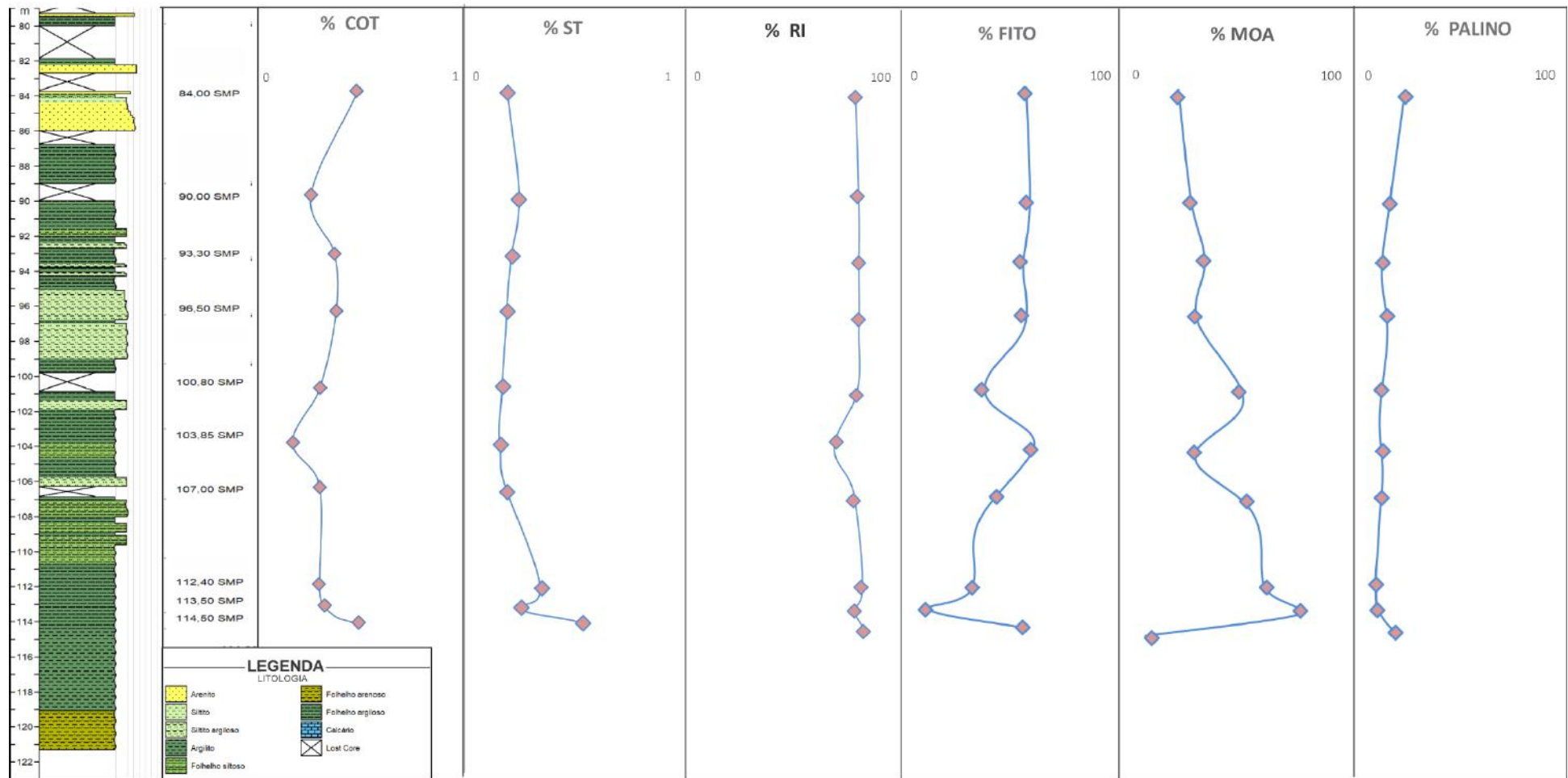


Figura 13 Perfil litostratigráfico do PS-06-CE, gráficos de linha que expressam as variações nos resultados das análises de Geoquímica (COT, ST E RI) e palinofácies.(FITO, MOA, PALINO)

### 5.3 Tratamento Estatístico e Agrupamento das Amostras

Para determinar Intervalos similares e o possível ambiente deposicional ao longo do testemunho foi necessário observar os resultados da análise de gráficos de correlação e agrupamento utilizadas na análise estatística. O agrupamento de amostras e de variáveis semelhantes permitiu, portanto, uma melhor separação dos Intervalos e seus ambientes. Os parâmetros utilizados como variáveis foram: Carbono Orgânico Total (%COT), e Enxofre Total (%S), % Fitoclastos (opacos, bioestruturados, não-bioestruturados, cutículas e membranas), %MOA (MOA, MOA bacteriana, MOA vegetal e MOA fitoplanctônica), e %Palinomorfos (esporomorfos, microplâncton de água doce e microplâncton marinho).

Na tabela 10 é possível visualizar esses 14 parâmetros e as abundâncias relativas, essas abundâncias foram normalizadas para uma mesma razão e foram gerados pelo STATISTICA 7.0 dois gráficos do tipo *Cluster Analyses* (Modo-R e Modo-Q). Foram determinadas pela análise de agrupamento Modo-R as associações de palinofácies A1, A2, A3 (Tabela 11 e Figura 14) e pela análise de Modo-Q foi possível a identificação de quatro grupos de amostras similares (G1a, G1b, G2 e G3) (15).

Tabela 10 Frequência relativa dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação aos parâmetros utilizados no agrupamento (componentes da matéria orgânica, COT, S), seus respectivos grupos e associações

Prof. (m)	Fito Opaco %	Fito bioestruturado %	Fito não bioestruturado %	Cutícula %	Membrana %	MOA %	MOA Bacteriana %	MOA Vegetal %	MOA Fitoplanctônica %	Esporumorfo %	Microplâncton Marinho %	Microplâncton Água Doce %	COT%	S%	GRUPO	ASSOCIAÇÃO PREDOMINANTE
84,00	7,18	18,09	35,11	0,80	4,26	3,19	7,71	3,99	1,60	15,16	0,27	2,66	0,73	0,046	G3	A2+ A3
90,00	15,73	8,53	41,33	1,07	0,53	5,33	9,87	5,87	2,13	8,00	1,07	0,53	0,46	0,061	G2	A3
93,30	10,48	9,92	41,08	2,27	0,00	8,22	9,07	10,76	2,55	4,53	1,13	0,00	0,59	0,043	G2	A3
96,50	8,06	8,06	45,00	1,94	1,39	3,33	8,89	11,94	2,22	7,78	0,83	0,28	0,6	0,042	G2	A3
100,80	3,93	5,44	32,02	0,60	2,42	13,29	22,05	15,41	0,00	3,93	0,60	0,00	0,51	0,035	G1b	A1
103,85	4,31	6,77	53,23	2,46	1,54	7,08	10,15	6,15	2,15	5,85	0,31	0,00	0,36	0,036	G2	A3
107,00	1,31	2,62	32,13	1,64	1,31	16,07	22,62	13,77	4,59	3,61	0,33	0,00	0,52	0,054	G1b	A1
112,40	2,93	1,67	7,95	0,84	18,41	15,90	12,55	6,69	30,54	2,51	0,00	0,00	0,51	0,12	G1a	A1
113,50	1,92	0,38	7,28	0,38	3,07	0,00	32,18	6,90	39,08	4,98	0,00	1,92	0,58	0,063	G1a	A1
114,50	16,42	2,99	49,25	4,48	3,28	0,00	1,79	1,19	0,00	16,42	2,39	0,00	0,75	0,15	G3	A2+ A3

Tabela 11 Associações de Palinofácies originadas através do tratamento estatístico Modo-R.

ASSOCIAÇÃO	COMPONENTES PRINCIPAIS
A1	MOA, MOA bacteriana, Moa vegetal, Moa fitoplanctônica, S, Membrana
A2	COT, Esporumorfos, Microplâncton de água doce, Fitoclasto bioestruturado
A3	Cutícula, Fitoclasto não-bioestruturado, Microplâncton marinho, Fitoclasto opaco

As três associações de palinofácies que foram determinadas pelo agrupamento Modo-R: A1 composta por MOA, MOA bacteriana, MOA vegetal e MOA fitoplanctônica, membranas e S. A associação A2, tem relação com os componentes de origem continental, contendo esporomorfos, fitoclastos bioestruturados, microplâncton de água doce e COT. A associação de palinofácies A3, é composta pelos fitoclastos opacos, fitoclastos não bioestruturados, cutículas e microplâncton marinho. (Tabela 11)

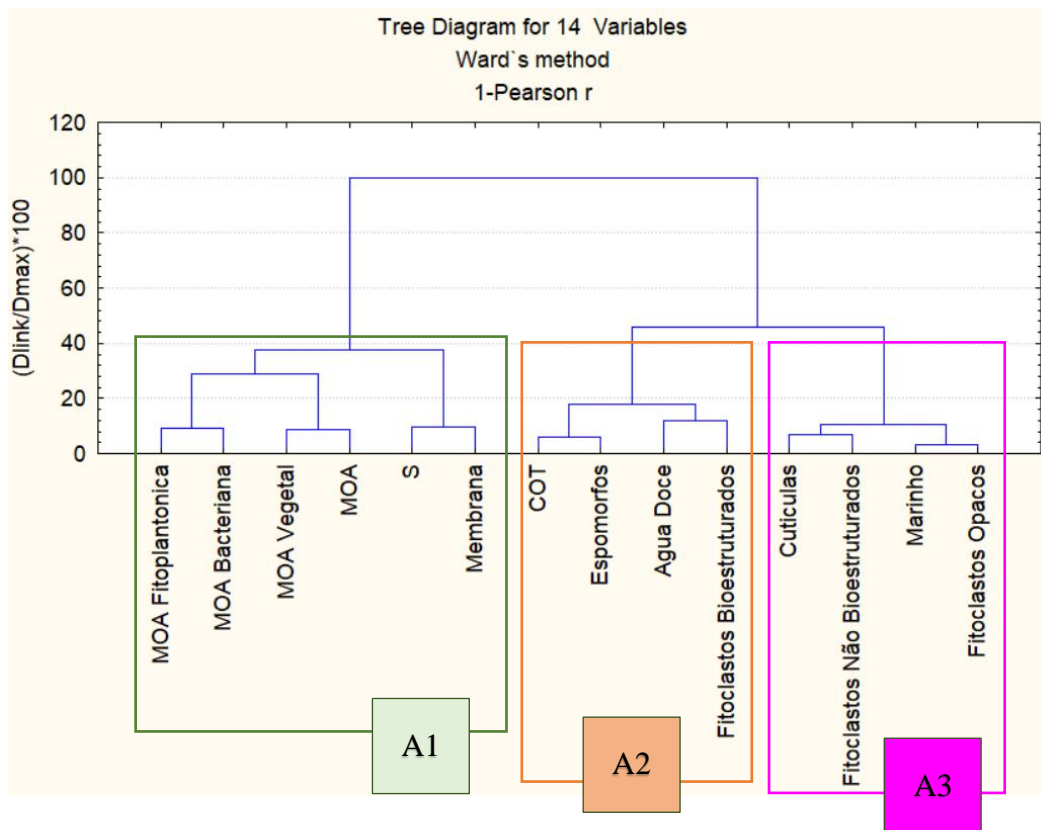


Figura 14 Dendrograma gerado pela análise de agrupamento Modo-R (com as associações de palinofácies (A1, A2 e A3) e os subgrupos da matéria orgânica particulada.

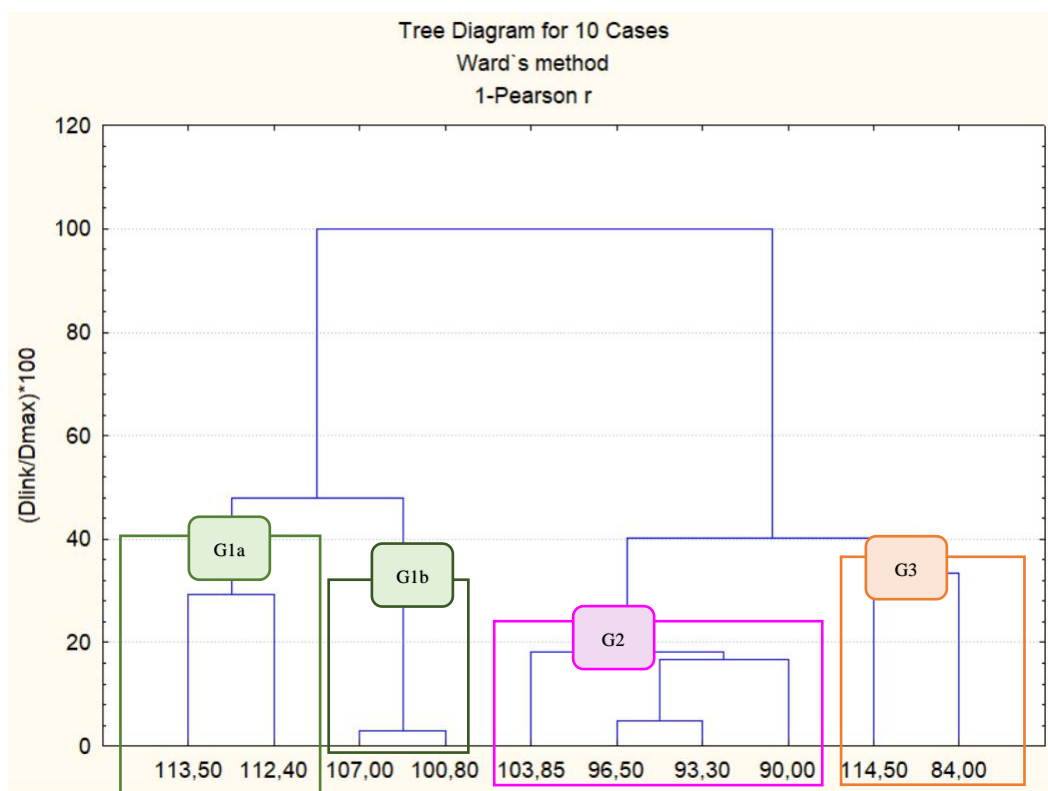


Figura 15 Dendrograma gerado pela análise de agrupamento Modo-Q com os agrupamentos (G1,G1b, G2, G3) das amostras do testemunho.

No agrupamento das amostras por semelhança, G1a agrupou as amostras 112,40 m e 113,50 m (folhelho argiloso) sendo caracterizado pela predominância associação de palinofácies A1: MOA Total (65,69% e 80,08%), Membrana (18,41% e 3,07%) e S (0,12% e 0,053%). É o grupo mais representativo na porção inferior do perfil. O agrupamento G1b, mais presente no meio do perfil, engloba as amostras de profundidade 100,80 m e 107,00 m (folhelho argiloso), sendo também representado pela associação de palinofácies A1, MOA Total (51,06% e 57,05%), Membrana (2,42% e 1,31%) e S (0,035% e 0,034%). Altas percentagens de MOA sugerem distanciamento de áreas fontes terrestres e condições ambientais com deficiência de oxigênio. (Tabela 10)

O que diferenciou esses dois grupos (G1a e G1b) foi o tipo de MOA, no G1a foi observado aumento da MOA fitoplanctônica (30,54% e 39,08%) enquanto no G1b da MOA vegetal (15,41% e 13,77%). Em ambos os Grupos a MOA bacteriana, se manteve com valores expressivos e não muito discrepantes, é subgrupo da MOA mais comum de forma geral. O aumento pontual de MOA vegetal, indica que houve condições favoráveis para que o material vegetal disponível fosse retrabalhado por bactérias heterotróficas, ou seja, condições deficientes de oxigênio. Enquanto o aumento de MOA fitoplanctônica indica que as condições ambientais eram favoráveis para as algas e, em um determinado momento tornaram-se desfavoráveis, ocorrendo mortandade e depois o processo de amorfização das algas, como as do gênero *Pediastrum*, dos quais essa MOA deriva. Isso poderia sugerir também coluna de água estratificada, na parte superior oxigenada e no fundo com deficiência de oxigênio. (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2017)

O agrupamento G2 reúne o maior número de amostras: 90,00 m, 93,30 m, 96,50 m e 103,85 m e com predomínio da associação A3, cujos representantes são: de Fitoclastos opacos (15,73 a 4,31%), Fitoclastos não opacos não-bioestruturados (53,30 a 41,08%), Cutículas (4,48 a 1,07%) e Microplâncton marinho (1,13 a 0,81%). Os componentes marinhos têm idades datadas no paleozoico, ou seja, mais antigas, sendo oriundos de retrabalhamento. De acordo com Tyson (1995), a presença de palinomorfos retrabalhados indica deposição adjacente, ou redeposição a partir de áreas de erosão ativa, e, proximidade de fontes flúvio-deltáicas de sedimentação siliciclástica, caracterizando fácies regressiva, depositada durante nível de mar baixo. Fitoclastos não-opacos não-bioestruturados são dominantes nesse grupo, e esses componentes podem diluir todos os outros componentes orgânicos e refletir características proximais, especialmente as

fluviais (TYSON, 1995, MENDONÇA FILHO *et al.*, 2012). As amostras do G2 possuem, portanto, essencialmente componentes que sugerem ambiente mais próximo ao continente.

O agrupamento G3 está representado majoritariamente pela associação de palinofácies A2: COT (0,73% e 0,75%), Fitoclastos não-opacos bioestruturados (18,09% e 2,99%), Esporomorfos (15,16% e 16,42%) e Microplâncton de Água Doce (2,66%), com presença também da associação A3: Fitoclastos opacos (7,18% e 17,42%), Fitoclastos não-opacos não-bioestruturados (49,25% e 35,11%), Cutículas (0,80 e 4,48%) e Microplâncton marinho (0,27% e 2,39%). As amostras desse grupo com profundidade 84,00 m e 114,50 m representadas por silte e folhelho respectivamente, apresentam valores de COT e abundâncias de esporomorfos muito similares.

Apesar das duas amostras do G3 terem sido agrupadas por similaridade, ambas sugerem um ambiente com características mais proximais, com condições oxidantes, que impediram a preservação de MOA, elas possuem algumas divergências. Primeiro pelas suas posições no testemunho: a 84,00 m é a mais ao topo de todas as amostras analisadas, e a 114,50 m está na base. Cabe ainda ressaltar que a amostra 84,00 m não está inserida do Membro Fundão, como todas as outras analisadas. Ainda, a amostra 114,50 m foi a amostra com menor percentual de MOA em todo o testemunho (MOA total 4,78%) e 0% de microplâncton de água doce, enquanto, na amostra a 84,00 m ocorre microplâncton de água doce (2,66%), e uma abundância muito maior de fitoclasto bioestruturado (18,09% na 84,00m e 2,99%, na 114,50 m). Considerando essas divergências, é possível inferir também divergências quanto às condições ambientais: na amostra da base do testemunho, que registrou 0% de microplâncton de água doce, pode ter ocorrido, por exemplo, um pico de salinidade, uma vez que algas verdes como *Pediastrum* não toleram salinidade. (TYSON 1995).



#### 5.4 Interpretação do paleoambiente

A interpretação do paleoambiente foi feita através da análise conjunta do perfil litoestratigráfico, das análises geoquímicas e dos agrupamentos estatísticos das amostras, baseando-se na preservação seletiva (tendência proximal-distal) e sedimentação seletiva (condições hidrodinâmicas) (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO et al., 2010). Baseado nessas interpretações o perfil foi dividido em Intervalo I e Intervalo II (Figura 14).

O Intervalo I corresponde da base até a porção média do testemunho (114,50 até 100,80 m), totalmente inserido no Membro Fundão. A sua litologia é fina (folhelho argiloso), os valores de COT variaram entre 0,36 e 0,75% e a maior abundância quanto aos componentes da matéria orgânica é do grupo amorfo (Associação 1), mas todos os grupos estão presentes nesse intervalo (G1a, G1b, G2 e G3), de forma alternada. Esses componentes mais abundantes indicam ambiente com maior deficiência de oxigênio, propício para preservação de matéria orgânica (Tabela 10, Figura 16).

Esse intervalo possui pontualmente uma expressiva abundância de membranas, que são elementos que representam a camada de cutina da epiderme de folhas ou ramos de vegetais superiores, podendo estar associadas a corpos de água mais rasos. É possível também atribuir ao intervalo um aumento de salinidade, visto que essas membranas geralmente estão associadas à família Cheirolepidiaceae e à grãos de pólen do gênero *Classopolis*, de clima quente e seco, e muitas vezes de ambiente costeiro, ou seja, mais adaptadas às condições salinas, e por sua vez mais rasas (devido à evaporação), além disso, essas condições mais salinas não são favoráveis ao desenvolvimento de microplâncton de água doce, sendo a presença deste nesse intervalo bastante pontual, apenas 1,92% de toda matéria orgânica particulada, e em somente uma única amostra. Menores concentrações de algas verdes poderiam explicar as altas porcentagens de MOA fitoplanctônica nas amostras do agrupamento G1b, possivelmente derivada desses microplânctons, como *Pediastrum*.

O Intervalo II corresponde a transição do meio para o topo do testemunho (100,80 até 84,00m), litologia variando entre siltito argiloso e folhelho argiloso, valores de COT entre 0,46 e 0,73% e com maior abundância de componentes continentais (Associações 2 e 3), menor presença de grupo amorfo (Associação 1) e presença de dois dos grupos de amostras (G2 e G3). A maior presença de componentes continentais (grupo fitoclasto e

esporomorfos) em relação ao Intervalo I, indicam maior proximidade da área fonte, a presença de microplâncton de água doce, como *Botryococcus*, *Pediastrum* e *Scenedesmus*, é mais recorrente do que no Intervalo I, indicando um corpo de água doce possivelmente mais espesso com maior entrada de componentes continentais terrestres. Os fitoclastos não opacos não-bioestruturados são maioria absoluta deste intervalo (35,11 a 45%), sendo alguns em degradação e a maioria de coloração escura, o que confirmaria se tratar de um ambiente óxico.

A Figura 16 destaca a disposição das amostras pelos seus agrupamentos (G1a, G1b, G2 e G3) ao longo da seção sedimentar, assim como nos intervalos I e II.

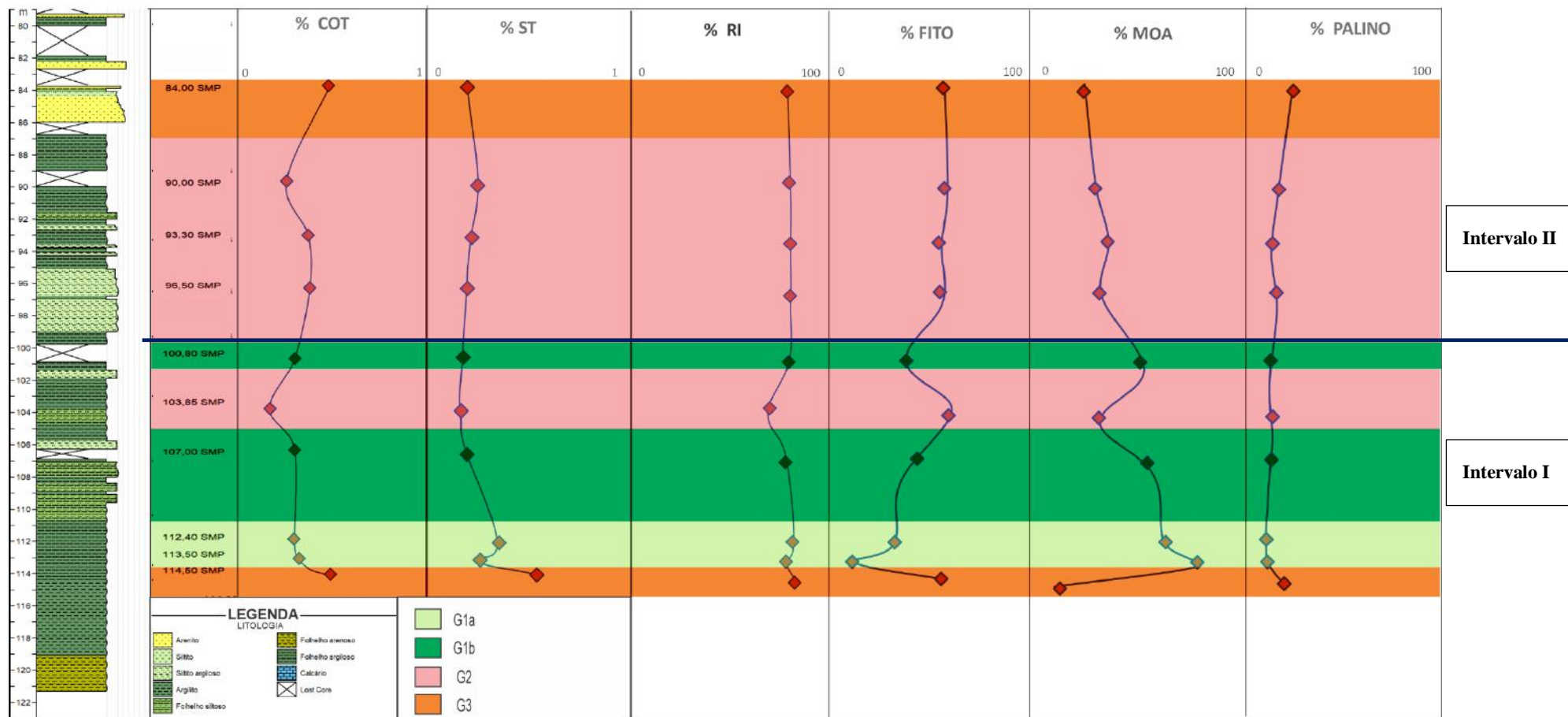


Figura 16 Perfil litoestratigráfico do PS-06-CE, gráficos de linha que expressam as variações dos resultados da análise de Geoquímica (COT, ST E RI) e Palinofácies,(FITO, MOA, PALINO)

## 6 - CONCLUSÃO

A caracterização das condições deposicionais da matéria orgânica de uma seção sedimentar do Cretáceo (Andar Alagoas) da bacia do Araripe foi baseada na integração dos parâmetros obtidos pela análise amostral de geoquímica, palinofácies e agrupamento estatístico do testemunho 1-PS-06-CE, que forneceram informações das condições paleoambientais de deposição e preservação da matéria orgânica sedimentar.

Mesmo com uma baixa recuperação do conteúdo orgânico das amostras e poucas variações litológicas ao longo da seção (basicamente siltitos e folhelhos), foi possível dividir o perfil em dois intervalos tendo como parâmetro as variações quantitativas e qualitativas entre os componentes orgânicos particulados, e as suas prováveis condições deposicionais. Os intervalos descritos ao longo da seção sedimentar estudada mostraram a alternância do domínio de material particulado entre: grupo fitoclasto e grupo amorfo. Foram, portanto, determinados os seguintes intervalos: Intervalo I corresponderia a um paleoambiente lacustre, com grupo amorfo dominante, condições de deposição com maior deficiência de oxigênio (disóxicas-anóxicas), e com a variação de salinidade. O Intervalo II corresponderia a um paleoambiente lacustre, mais profundo, com maior entrada de água no sistema e maior aporte sedimentar que o Intervalo I, o grupo fitoclasto é dominante, com condições de deposição mais oxidantes e menos salinas.

Portanto, pode-se concluir, que a seção sedimentar estudada sugere um paleoambiente lacustre com variação de espessura de lâmina d'água, energia, salinidade e regime de oxigênio influenciados pela variação climática.

## 7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2017. **Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke using High-Temperature tube furnace combustion methods ASTM D-4239.** Disponível em: <https://www.astm.org/TRAIN/training-e-learning.html>

ARAI, M. (2006). **Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das bacias interiores do Nordeste do Brasil.** *Geociências*, 25(1):7-15.

ASSINE, M. L. (1992). **Análise estratigráfica da bacia do Araripe, nordeste do Brasil.** 22(3), 289–300.

ASSINE, M.L. (2007). **Bacia do Araripe.** *B.Geoci.Petrobras*, 15(2):371-387

ASSINE, M. L, N., LUIS, M., JOSÉ, A., JESUS, A. DE, MICHELE, P., & CUSTÓDIO, A. (2014). **Sequências deposicionais do andar alagoas da bacia do araripe, nordeste do Brasil.** 3–28.

BRITO, I. M.; QUADROS, L. P. 1995. **Retrabalhamento do Devoniano no Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 67(4):493-496.

DELGADO, I. M., SOUZA, J. D., SILVA, L. C., SILVEIRA FILHO, N. C., SANTOS, R. A., PEREIRA, A. J., GUIMARÃES, J. T., ANGELIM, L. A. A., VASCONCELOS, A. M., GOMES, I. P., LACERDA FILHO, J. V., VALENTE, C. R., PERROTTA, M. P., HEINECK, C. A. (2003). **Geotectônica do Escudo Atlântico.** In: L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti, J. H. Gonçalves (Eds.), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil* (264-268). Brasília: CPRM

JARVIE, D. M. (1991). **Total Organic Carbon (TOC) Analysis.** In: MERRIL, R. K. (Ed.), *Source and Migration Processes and Evaluation techniques*, Tulsa, *Treatise of Petroleum Geology*. American Association of Petroleum Geologists, 113 – 118.

MATOS, R.M.D. (1992) **The Northeastern Brazilian rift system**. *Tectonics*, v.11, 776-791.

MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J.O.; OLIVEIRA, A. D., CARVALHO, M. A.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T. (2010). **Palinofácies**. In: I. S. Carvalho (Ed.), *Paleontologia: conceitos e métodos* (v. 2, 379-413). Rio de Janeiro: Interciência.

MENDONÇA FILHO, J.G.; MENEZES, T.R.; MENDONÇA, J.O.; OLIVEIRA, A.D.; SILVA, T.F.; RONDON, N.F.; SILVA, F.S.; (2012). **Organic facies: palynofacies and organic geochemistry approaches**. In: Panagiotaras, D. (Ed.), *Geochemistry - Earth's System Processes*. InTech, Rijeka, pp. 211–248.

MENDONÇA FILHO, J.G.; BORREGO, A.G. (2017). In: **10th ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter, Integrating Transmitted and Reflected Light Microscopy** GFZ (DeutschesGeoForschungsZentrum), Potsdam, Germany

MENEZES, T.R.; MENDONÇA FILHO, J.G.; ARAUJO, C.V.; VIEGAS, I.A.F. DE S.; MENDONÇA, J. DE O.; (2008) **Fácies orgânica : conceitos , métodos e estudos de casos na indústria do petróleo**. 38, 80–96.

NASCIMENTO, L.R.S.L.; BARRETO, ALCINA; OLIVEIRA, D.H. (2014). **Ocorrência de Palinomorfos de Idade Devoniana, Retrabalhados na Formação Crato Aptiano-Albiano da Bacia do Jatobá – Nordeste do Brasil**. *Estudos Geológicos* 24, 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v24n1p65-71

PONTE F.C. & APPI C.J. (1990). **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, *Anais*, 1:211-226.

PONTE F.C. & PONTE-FILHO F.C. (1996). **Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe**. Depto. Nacional de Produção Mineral/MME, Rio de Janeiro, Brasil, 68.

RENNA, CLYVIHK & SOUSA, FREDERICO. (2017). **O arcabouço estrutural da Bacia Sedimentar do Araripe, Província Borborema, baseado em dados aeromagnetométricos**. Geologia USP. Série Científica. 17. 149. 10.11606/issn.2316-9095.v17-393.

RIOS-NETTO, A. M. (2011). **Evolução Paleoambiental e Palinoestratigrafia do Intervalo Alagoas na parte oriental da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Instituto de Geociências – UFRJ.

RIOS-NETTO, A. M. CARVALHO, I. D. S. (2012). **Palinoestratigrafia do intervalo Alagoas da Bacia do Araripe , Nordeste do Brasil**. 42(2), 331–342. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z0375-75362012000200009>

SCHEID, C.; MUNIS, M.B.; PAULINO, J. (1978). **Projeto Santana: relatório final da etapa II**. CPRM. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/7690>

TEIXEIRA, M. C. ; MENDONÇA FILHO, J. G. ; OLIVEIRA, A. D. ; ASSINE, M. L. . (2015) **Faciologia Orgânica de seções sedimentares da Bacia do Araripe, Cretáceo do Brasil: caracterização paleoambiental e determinação do potencial de geração de hidrocarbonetos**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia

TEIXEIRA, M. C. ; MENDONÇA FILHO, J. G. ; OLIVEIRA, A. D. ; ASSINE, M. L. . (2017) **Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental**. Geologia USP. Série Científica ,

TISSOT, B.P. AND WELTE, D.H. (1984) **Petroleum Formation and Occurrence**. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin

TYSON, R. V. (1993). **Palynofacies Analyses**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

TYSON, R. V. (1995). **Sedimentary Organic Matter.Organic facies and palynofacies.** Chapman & Hall. Londres.

United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA), 2002. **Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments.** Ecological Risk Assessment Support Center. NCEA-C-1282 Las Vegas: Office of Research and Development.