



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

**ANÁLISE DE PALINOFÁCIES E GEOQUÍMICA ORGÂNICA DO
TESTEMUNHO 1-PS-11-CE DA BACIA DO ARARIPE, BRASIL.**

OLÍVIA CARDOSO SOUTO

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho
Coorientadora: Dra. Sinda Beatriz V. Carvalhal Gomes

Rio de Janeiro - RJ

2019

Olívia Cardoso Souto

**ANÁLISE DE PALINOFÁCIES E GEOQUÍMICA ORGÂNICA DO
TESTEMUNHO 1-PS-11-CE DA BACIA DO ARARIPE, BRASIL.**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado
a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ,
como parte das exigências para a obtenção
do título de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Coorientadora:

Dra. Sinda Beatriz V. Carvalhal Gomes

Rio de Janeiro - RJ

Novembro 2019

ANÁLISE DE PALINOFÁCIES E GEOQUÍMICA ORGÂNICA DO TESTEMUNHO 1-PS-11-CE DA BACIA DO ARARIPE, BRASIL.

Trabalho de conclusão de curso, apresentado a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Local, ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho
(UFRJ)

Dra. Joalice de Oliveira Mendonça
Pesquisadora LAFO (UFRJ)

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

CIP - Catalogação na Publicação

S726a Souto, Olívia Cardoso
Análise de Palinofácies e Geoquímica Orgânica do
testemunho 1-PS-11-CE da Bacia do Araripe, Brasil /
Olívia Cardoso Souto. -- Rio de Janeiro, 2019.
71 f.

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça
Filho.
Coorientadora: Dr. Sinda Beatriz V. Carvalhal
Gomes.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
de Geociências, Bacharel em Geologia, 2019.

1. Geologia. 2. Geoquímica Orgânica. 3.
Palinofácies. 4. Bacia do Araripe. I. Mendonça
Filho, Prof. Dr. João Graciano, orient. II.
Carvalhal Gomes, Dr. Sinda Beatriz V., coorient.
III. Título.

*A minha família, que a todo o momento me fortalece
e motiva a sempre seguir em frente.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, meu alicerce, que a todo o momento estiveram de mãos dadas comigo, apoiando minhas escolhas, aconselhando, ensinando, desde o início na UFRuralRJ até o encerramento do curso na UFRJ. Ao meu irmão cujo amor e dedicação, pessoal e profissional, sempre me impressionaram e inspiraram. Aos demais familiares, avós, tias, tios e primos que sempre torceram e comemoraram todas as pequenas conquistas que eu alcançava. Ao Fernando Rayol por todo o carinho e paciência nos meus melhores e piores momentos.

A toda a equipe do LAFO, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que sempre foram gentis e solícitos, em especial a Sinda Carvalho, Frederico Sobrinho, Joalice Mendonça, Antônio Donizeti, Jaqueline Torres de Souza e, por partilharem suas experiências e conhecimentos como profissionais, pela paciência e pelo jeito acolhedor com que me receberam.

Ao orientador João Graciano Mendonça Filho, pela confiança e oportunidade de realizar iniciação científica em um laboratório de excelência na área de Geoquímica Orgânica.

Aos meus professores, responsáveis pelo conhecimento que adquiri, por me instigarem a sempre buscar respostas aos meus questionamentos, por moldarem meu caráter como pessoa e profissional.

RESUMO

A Bacia do Araripe está associada ao processo de rifteamento e abertura do Atlântico sul. É a mais extensa, e complexa das bacias intracontinentais do nordeste brasileiro. Está localizada na divisa dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí (coordenadas 07°00'N, 08°00'S, 41°00'W e 38°30'E) entre as bacias Potiguar, Tucano Jatobá e Parnaíba. O objetivo do trabalho é o estudo da matéria orgânica particulada contida em amostras retiradas do testemunho 1-PS-11-CE (Projeto Santana), que abrange as formações do Grupo Santana (Barbalha, Crato, Ipubí e Romualdo) da Sequência Pós-Rifte I (Aptiano), a fim de determinar as condições paleoambientais vigentes à época de deposição. Foi utilizada a análise de palinofácies em associação a geoquímica orgânica, dados litoestratigráficos e análises estatísticas para 44 amostras ao longo do testemunho. Os percentuais dos grupos da matéria orgânica particulada obtidos através da palinofácies foram: Grupo Amorfo (1,30 a 98,72%), Fitoclasto (1,28 a 95,79%) e Palinomorfo (0,00 a 41,50%). A análise de COT variou entre 0,13 e 8,28%, S de 0,01 a 3,92% e RI variando entre 3,50 e 87,00%. A correlação de Sperman ($p > 0,05$) mostrou que o subgrupo Fitoclasto Opaco possui correlação com Fitoclasto Opaco Não Bioestruturado (0,68). A Moa Vegetal com COT (0,5). Os Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados possuem correlação com Cutícula (0,73); Membrana (0,62); Esporomorfos (0,53); e Microplânctons de Água Doce (0,65). O dendrograma gerado pelo *Modo-R* determinou quatro associações de palinofácies: A (MOA Fitoplanctônica); B (COT, S, MOA Vegetal); C (Microplânctons de água doce, Dinocistos, Membranas, Esporomorfos, Cutículas e Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados) e D (MOA, Fitoclasto Não Opacos Não Bioestruturado e Fitoclastos Opacos). O *Modo-Q*, dividiu as amostras em três grupos (G1, G2 e G3). Com o auxílio da estatística e do perfil

litoestratigráfico, foi possível determinar sete intervalos estratigráficos (I, II, III, IV, V, VI e VII), através das variações de abundância relativa entre seus componentes orgânicos particulados. Foram determinadas as condições e características ambientais de acordo com a preservação seletiva (tendência proximal-distal) e sedimentação seletiva (relativo às condições hidrodinâmicas). O intervalo I foi interpretado como um ambiente lacustre de pequenas proporções próximo a uma fonte fluvial; O intervalo II, como de transição e estabilização de um ambiente lacustre de maiores proporções; O intervalo III, corresponde a um ambiente lacustre entre o proximal-intermediário da área fonte; O intervalo IV, relacionado a um ambiente lagunar e entre o intermediário-distal, próximo à costa com clima semi-árido a árido; O V está dentro de um contexto lacustre costeiro com influência de águas continentais, sem conexão com o mar; O intervalo VI representaria um ambiente lacustre costeiro com a ocorrência de aporte de águas continentais. Esse intervalo também registra um primeiro pulso de incursão marinha (presença de dinocistos); O intervalo VII está relacionado a um ambiente lagunar próximo a linha de costa, com influência de águas oceânicas de forma periódica que juntamente com registro de dinoflagelados e palinoforaminíferos, podem caracterizar o evento de incursão marinha registrado em forma de pulsos na região.

Palavras-chave: Geologia, Geoquímica Orgânica, Palinofácies, Bacia do Araripe.

ABSTRACT

The Araripe Basin is associated with the rift and the opening process of the South Atlantic Ocean. It is the most extensive and complex of the intracontinental basins of northeastern Brazil. It is located on the border of the states of Pernambuco, Ceará and Piauí (coordinates 07 ° 00'N, 08 ° 00'S, 41 ° 00'W and 38 ° 30'E) between the Potiguar, Tucano Jatobá and Parnaíba basins. The objective/goal of this work is to study the particulate organic matter contained in core samples (1-PS-11-CE - Santana Project), which covers the Santana Group formations (Barbalha, Crato, Ipubí and Romualdo) of the Post-Rift I Sequence (Aptian), in order to determine the paleoenvironmental conditions prevailing at the time of deposition. Palynofacies analysis in association with Organic Geochemistry, lithostratigraphic data and statistical analysis were used for 44 samples along the core. The percentages of the particulate organic matter groups obtained through the palynofacies were: Amorphous Group (1.30 to 98.72%), Phytoclast (1.28 to 95.79%) and Palinomorph (0.00 to 41.50%). The TOC analysis ranged from 0.13 to 8.28%, S from 0.01 to 3.92% and IR ranged from 3.50 to 87.00%. The Spearman correlation ($\rho > 0.05$) showed that the Opaque Phytoclast subgroup is correlated with Non-Biostructured Opaque Phytoclast (0.68). Vegetable AOM with TOC (0.5). Biostructured Non-Opaque Phytoclasts are correlated with Cuticle (0.73); Membrane (0.62); Sporomorphs (0.53) and Freshwater Microplanckton (0.65). The dendrogram generated by the R-Mode determined four palynofacies associations: A (Phytoplankton AOM); B (TOC, S, Vegetable AOM); C (Freshwater Microplanckton, Dinocysts, Membranes, Sporomorphs, Non-Opaque Biostructured Phytoclasts and Cuticles) and D (AOM, Non-Opaque Non-Biostructured Phytoclasts and Opaque Phytoclasts). The Q-Mode divided the samples into three groups (G1, G2 and G3).

With the aid of statistics and lithostratigraphic profile, it was possible to determine seven stratigraphic intervals (I, II, III, IV, V, VI and VII), through the variations of relative abundance among their particulate organic components. The environmental conditions and characteristics were determined according to selective preservation (proximal-distal tendency) and selective sedimentation (relative to hydrodynamic conditions). Interval I was interpreted as a small lake environment near a river source; Interval II, as transition and stabilization of a larger lake environment; Interval III corresponds to a lacustrine environment between the proximal-intermediate of the source area; The interval IV, related to a lagoon environment and between the intermediate-distal, near the coast with semi-arid to arid climate; V is within a coastal lake context influenced by continental waters, with no connection to the sea; Interval VI would represent a coastal lake environment with continental water input. This interval also records a first marine foray pulse (presence of dinocysts); Interval VII is related to a lagoon environment close to the shoreline, with periodic influence of oceanic waters that together with dinoflagellate and palinoforaminiferal recordings, can characterize the pulse-shaped marine incursion event in the region.

Keywords: Geology, Organic Geochemistry, Palynofacies, Araripe Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quadro com os subgrupos do Grupo Fitoclasto (Traduzido de MENDONÇA FILHO <i>et.al</i> , 2017).....	18
Figura 2: Quadro com os subgrupos do Grupo Palinomorfo (Traduzido de MENDONÇA FILHO <i>et.al</i> , 2017).....	20
Figura 3: Quadro com os subgrupos do Grupo Amorfo (Traduzido de MENDONÇA FILHO <i>et.al</i> , 2017).....	21
Figura 4: Localização e mapa Geológico da Bacia do Araripe (ASSINE <i>et.al.</i> , 2014).	22
Figura 5: Comparativo das colunas litoestratigráficas utilizadas nesse trabalho (modificado de ASSINE, 1992; 2007; ASSINE <i>et.al.</i> , 2014; NEUMANN & ASSINE, 2015).....	24
Figura 6: Sequências Depositionais (SD) 1,2 e 3 (ASSINE <i>et.al.</i> , 2014).....	25
Figura 7: Localização do poço 1-PS-11-CE.	26
Figura 8: Coluna Litoestratigráfica e Carta Estratigráfica (NEUMANN & ASSINE, 2015).....	27
Figura 9: Variação dos valores de COT, ST e RI, ao longo do testemunho 1-PS-11-CE.	36
Figura 10: Variação dos três grupos da matéria orgânica (Fitoclasto, Amorfo e Palinomorfo) ao longo do testemunho 1-PS-11-CE.	40
Figura 11: Dendrograma com as associações de palinofácies (A, B, C e D) e os subgrupos da matéria orgânica particulada referente a cada uma das associações.	50
Figura 12: Dendrograma com os agrupamentos (G1, G2, G3) das amostras do testemunho.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porcentagem de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre) e RI (Resíduo Insolúvel) obtidas para cada uma das amostras.....	35
Tabela 2 : Frequência relativa dos grupos da matéria orgânica.....	38
Tabela 3: Frequência relativa dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação ao total de matéria orgânica (F.O = Fitoclasto Opaco; F.N.O.B = Fitoclasto Não Opaco Bioestruturado; F.N.O.N.B = Fitoclasto Não Opaco Não Bioestruturado; F.N.O = Fitoclasto Não Opaco; MOA = Matéria Orgânica Amorfa).	39
Tabela 4: Correlação pelo método de Sperman utilizadas na análise estatística.....	48
Tabela 5: Abundâncias relativas dos subgrupos da matéria orgânica particulada utilizados para a análise estatística e resultados da análise estatística para cada amostra.	49

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	14
2 GEOQUÍMICA ORGÂNICA	16
2.1 Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre (S) e Resíduo Insolúvel (RI)..	16
3 PALINOFÁCIES	17
4 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	22
4.1 Estratigrafia	23
4.2 Testemunho	25
5 MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1 Processamento para a análise de Geoquímica Orgânica (COT%; S%; RI%) 31	31
5.2 Processamento para a análise de Palinofácies.....	32
6 RESULTADOS	34
6.1 Análise de Carbono Orgânico Total % (COT), Enxofre % (S) e Resíduo Inorgânico % (RI).....	34
6.2 Análise de Palinofácies	37
6.3 Tratamento estatístico dos dados	47
7 DISCUSSÃO	53
7.1 Origens da matéria orgânica amorfa.....	53
7.2 Agrupamentos com predomínio dos componentes amorfos	54
7.3 Agrupamento com predomínio dos componentes continentais.....	55
7.4 Interpretação paleoambiental dos intervalos estratigráficos.....	56
8 CONCLUSÃO.....	62
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	69

ANEXO A: Perfil completo do poço, com posicionamento das amostras em profundidade 70

ANEXO B: Perfil litoestratigráfico e gráficos de linha dos subgrupos da matéria orgânica utilizados na análise estatística para separação os intervalos...71

1 INTRODUÇÃO

A compreensão dos eventos de idade Aptiana-Albiana na Bacia do Araripe é motivada por retratar condições climáticas importantes do Cretáceo. A idade em questão é conhecida por registrar uma grande mudança climática global, com predomínio de condições mais áridas, elevadas temperaturas e taxa de evaporação (BARDOLA, 2015). Apesar de ser bastante pesquisado, esse período contém um registro complexo e com muitas dúvidas ainda a serem esclarecidas. Os estudos realizados especialmente no Grupo Santana (NEUMANN & ASSINE, 2015), buscam entender melhor a sequência de eventos e ambientes que culminaram mudança do clima no topo do Cretáceo Inferior.

As amostras desse trabalho foram provenientes de um dos testemunhos de sondagem que foram recuperados através do “Projeto Santana”, oriundo de um pedido do Departamento de Produção Mineral (DNPM) e executado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) entre os anos de 1975 e 1978. Ele foi dividido em duas etapas principais. Na primeira etapa as principais atividades foram a revisão/compilação bibliográfica, estudos geoquímicos, faciológicos, paleogeográficos, tendo como produto o mapeamento geológico da região na escala 1:25000. A segunda etapa (entre 1977 e 1978) foi voltada para realização dos testemunhos de sondagem com o intuito de observar, em profundidade, o comportamento das sequências estratigráficas (SCHEID *et.al.*, 1978). O principal objetivo desse projeto foi o estudo da existência e viabilidade econômica para a mineralização de sulfetos (cobre, zinco, chumbo) ao longo da Formação Santana especialmente na região da Chapada do Araripe (BEURLLEN, 1971).

A presente monografia visa a caracterização paleoambiental, através do estudo do conteúdo orgânico por meio de análises organogeoquímicas (Análise de palinofácies e geoquímica orgânica) do testemunho 1-PS-11-CE, que abrange a seção de idade Aptiana (Sequência Pós-Rifte I), da Bacia do Araripe, a fim de determinar as condições paleoambientais vigentes à época de deposição.

Em conjunto foram realizadas as análises de correlação de Sperman e Análises de agrupamento das amostras entre os grupos da palinofácies (MODO-Q e MODO-R), através do programa STATISTICA 7.0 (Copyright 1984-97, StrataSoft, Inc.), a fim de oferecer melhor visualização das associações de

palinofácies e auxiliar na caracterização dos intervalos no testemunho utilizados para a interpretação paleoambiental.

2 GEOQUÍMICA ORGÂNICA

2.1 Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre (S) e Resíduo Insolúvel (RI)

O querogênio é a porção insolúvel em solventes orgânicos, da matéria orgânica 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).

O Carbono Orgânico Total (COT) refere-se à quantidade em percentual de carbono orgânico, medido através de uma amostra de rocha, com base em seu peso seco (Jarvie, 1991).

O Enxofre (S) está relacionado às condições oxi-redutoras do ambiente de deposição. Segundo Tyson (1995), quanto maior for o valor obtido na análise de enxofre total, mais redutoras seriam as condições deposicionais. Essa condição poderia ser alcançada especialmente em ambientes de águas profundas, ou em locais com pequena espessura da lâmina d'água onde as taxas de circulação e renovação das águas são baixas ou inexistentes.

O Resíduo Insolúvel (RI) refere-se à parte do querogênio (resultante do tratamento ácido e a qual supõe-se que não estejam mais presentes os elementos carbonáticos) que representa o carbono residual, ou a parte do carbono orgânico que não tem potencial para geração hidrocarbonetos. Isso ocorre devido a suas características estruturais e composicionais, pois estruturas químicas muito condensadas não possuem quantidades significativas de hidrogênio por unidade de carbono orgânico (Jarvie, 1991).

3 PALINOFÁCIES

O termo foi definido pela primeira vez por Combaz (1964). Para este, “palinofácies” se refere à assembléia de componentes orgânicos microscópicos, presente em amostras rochosas, resultante dos processos de maceração ácida utilizando dos ácidos HCL (para a retirada dos componentes carbonáticos) e HF (retirada dos componentes silicáticos).

Outros autores também propuseram definições para palinofácies. Quadros (1975) cunhou o termo “Organopalinofácies” para se referir ao estudo e identificação da matéria orgânica, utilizando técnicas de microscopia em associação com a geoquímica orgânica. Tyson (1995), no entanto, foi o grande responsável por uma definição mais completa e moderna da análise de palinofácies, que seria o estudo da matéria orgânica particulada, contida em rochas sedimentares, a fim de determinar possíveis condições ambientais no momento de sua deposição e seu potencial para a geração de hidrocarbonetos. Para tanto, é necessário classificar e identificar os componentes da matéria orgânica particulada de uma forma quantitativa (expressa em proporções absolutas e relativas) e qualitativa (identificando os componentes de acordo com os grupos e subgrupos da matéria orgânica, observando também seu estado de conservação, tamanho, forma) (MENDONÇA FILHO *et.al*, 2012; TEIXEIRA *et.al*,2017). As análises quantitativa e qualitativa são realizadas através da microscopia ótica nos modos Luz Branca Transmitida (MLBT) e Luz Azul e Ultravioleta Incidente (LA/UI - ou modo Fluorescência).

Ao ser utilizada em conjunto com outras técnicas de análise (geoquímica orgânica, por exemplo), juntamente com informações de cunho geológico, torna-se um excelente recurso para a determinação do tipo de querogênio e interpretação de possíveis condições vigentes no ambiente de deposicional. Através do seu estágio de maturação térmica, é possível também conhecer o potencial para geração de hidrocarbonetos (MENDONÇA FILHO *et.al*,2017).

Segundo Mendonça-Filho *et.al.* (2010b, 2012) e Mendonça Filho *et.al.*, (2017), os três principais grupos da matéria orgânica particulada, reconhecidos através do MLBT, são:

Grupo Fitoclasto: Formado por fragmentos de tecidos de vegetais superiores e por fungos. Os fitoclastos são subdivididos em Opacos (negros – MLBT) e Não Opacos (translúcidos – MLBT). Os Opacos podem ser classificados ainda em: alongado, equidimensional, corroído. Fitoclastos translúcidos (Não Opacos) podem ser: Bioestruturados (listrado, estriado, bandado e perfurado); Não Bioestruturados; Cutícula e Membrana. Para estes, ainda existe uma classificação quanto ao seu estado de preservação, sendo: Degradado; Não degradado ou Amorfizado (Figura 1).

FITOCLASTO	Fragmentos de tecidos derivados de Vegetais Superiores ou Fungos	GRUPOS E SUBGRUPOS		DESCRIÇÃO
		Opacos	Equidimensional comprimento:largura < 2	Cor preta ou opaca, mesmo nas extremidades do grão; contorno agudo; no geral sem estrutura interna.
		Alongado comprimento:largura > 2	Cor preta ou opaca, mesmo nas extremidades do grão; contorno agudo; pode ter buracos.	
		Corroído	Cor preta. Contorno mais difuso;irregular	
	Não opaco (Translúcido)		Hifa de Fungo	Fragmentos de Hifa. Cor marron. Filamentos individuais do micélio da fase vegetativa de fungos eumicóticos (superiores)
		Não degradado Contorno agudo (por vezes levemente irregular). ou Degradado contorno irregular e difuso. ou Pseudoamorfo/"Amorfo" contorno difuso, pode ter cores marrom claro, marrom e marrom escuro. Começa a mostrar algumas características de MOA, mas é homogêneo em aparência, sem nódulos de pirta, sem inclusões. Pode apresentar fluorescência. ou Em decomposição (geleificado) "Alta preservação" Contorno irregular em luz branca transmitida, exibe coloração e fluorescência. Essas características indicam alto grau de preservação química em condições específicas.	Não-bioestruturado	Sem estrutura botânica. Translúcido, geralmente de cor marron. Forma alongada ou equidimensional.
			Cutícula	Tecido epidermal de vegetais superiores. Partículas com cores amarelo-verde pálido, amarelo, amarelo avermelhado. Contornos regulares de células; Aparência de folha, em alguns casos com estômatos visíveis. Podem ocorrer fitoclastos translúcidos espessos que em fluorescência, apresentam uma sobreposição de cutícula fluorescente amarela ("revestimento") nesses fitoclastos. Essa característica particular (fragmentos de camadas cuticulares associados com a parte mais interna da epiderme) poderia indicar que os fragmentos dessas plantas terrestres são derivados de folhas.
			Membrana	Cor amarelo pálido; fina; aparência de folha; irregular. Comumente fluorescente; altamente translúcido. Sem estrutura interna diagnóstica.
			Bioestruturado	Geralmente com cor marrom, forma alongada ou equidimensional estruturas internas claramente visíveis. Estriado: apresenta-se delgado, fino (lineação fibrosa regular) Listrado: apresenta listras irregulares ou diferentes (podem ser espessas) Bandado: apresenta bandas espessas paralelas regulares e iguais Perfurado: apresenta pontuações com bordas ou escalariformes.
	Escleriteios	Geralmente opaco, mas pode aparecer translúcido (marrom escuro). Células do tecido esclerenquimático, com parede secundária espessa e impregnada com lignina. Encontrado em diferentes partes dos vegetais (raízes, tronco, folhas) com funções de sustentação e resistência mecânica.		

Figura 1: Quadro com os subgrupos do Grupo Fitoclasto (Traduzido de MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2017).

Grupo Palinomorfo: Refere-se aos elementos que possuem parede orgânica e que resistiram ao processo de maceração, com a utilização de HCL a 37% (eliminação dos componentes carbonáticos) e HF a 40% (eliminação dos componentes silicáticos) (Figura 2). São subdivididos em:

Palinomorfos terrestres ou Esporomorfos: (Esporos - derivados de Briófitas e Pteridófitas; Grãos de pólen – derivados de Gimnospermas e Angiospermas).

Palinomorfos aquáticos: (Microplâncton de água doce – Botryococcus, Pediastrum, Scenedesmus, zigosporos; Microplâncton Marinho – Dinocistos, Prasinophyta, Acritarco).

Zoomorfos: (Quitinozoários, Palinoforaminíferos, Ovos de Copépoda, Escolecodontes).

GRUPO	SUBGRUPOS		DESCRIÇÃO		
PALINOMORFO	Esporomorfos	Esporos	Palinomorfo terrestre produzido por Pteridófitas, Briófitas e Fungos	Palinomorfo de forma circular ou triangular, com marca trilete ("Y") ou monolete (cicatriz). Podem ocorrer como massículas de samambaias de água doce (Azolla), aglomerados e tétrades. "Primeiros esporos" (Cambriano): Criptoesporos (corpos parecidos com esporos) e Esporos embrionários: Ordoviciano Superior - Recente.	
		Grão de Polen	Palinomorfo Terrestre produzido por Gimnospermas e Angiospermas.	Palinomorfo com variedades ornamentais, a maioria com contorno circular ou oval; pode se apresentar aberto ou não. Podem ocorrer como aglomerados ou tétrades. Ordoviciano - Recente.	
	Microplânctons de água doce	Botryococcus	Algas verdes	Clorofiladas (Clorococcales)	Colônias globulares irregulares; tamanho 30 a 2000 µm, as vezes com vários lóbulos (como uma miniatura de couve-flor). Ordoviciano-Recente.
		Pediastrum			Algas verdes coloniais (cenocítico). Colônias arredondadas com 30 a 200 µm de diâmetro. Na forma poligonal as células possuem um arranjo concêntrico; as células apresentam dois chifres em suas extremidades. Jurássico (?) - Recente.
		Scenedesmus			<i>Scenedesmus</i> é um gênero de algas verdes coloniais (cenocítico) com 4,8 ou 16 células dispostas em uma fileira e sem mobilidade. Diferentes formas de cenocítico podem ser encontradas incluindo padrões lineares, costulatoide, irregulares, alternados ou dactilocócidos.
		Zignemataceas	Clorofiladas (Zignemataceas)	São algas verdes hidro-terrestres, filamentosas ou unicelulares, unisseriadas (não ramificadas) que produzem esporos resistentes a ácidos. Os filamentos são septados e eles apresentam diversas formas de cloroplastos, como o estrelado em Zygnema, helicoidal em Spirogyra, e plana em Mougeotia. Somente os esporos de algas filamentosas são preservados. A maioria das espécies possuem esporos com forma constante, apenas alguns poucos são polimórficos. São quatro formas principais (globoso, obovóide, elipsóides e quadrangular) das quais muitas variações são conhecidas (Grenfell, 1995).	
		Gloeocapsomorpha prisca	Algas verdes (?)	Clorofiladas	G.prisca é um organismo colonial. Nas colônias, os vazios das células são completamente encobertos por paredes com multicamadas, espessas e que não se abrem para a superfície da colônia.
	Algas Verdes-Azuis (?)		Cianofíceas	A outra camada da parede celular das colônias é lisa.	
	Microplânctons Marinhos	Cistos de Dinoflagelados	Células produzidas durante a fase sexual do ciclo de vida dos Dinoflagelados.		O registro fóssil de dinocistos é quase que inteiramente restrito à formas que possuem um ciclo de vida meroplantônico. As principais morfologias de cistos de dinoflagelados são: Proximado, Cavado e Corado. Triássico - Recente
		Prasinófitas	Estrutura fossilizada produzida por pequena fase móvel quadri-flagelada.		A maioria, como <i>Tasmanites</i> , é esférica; diâmetro de 50 a 2000 µm. Espécies modernas incluem as de água doce. Precambriano-Recente
		Acritarco	Cistos unicelulares fossilizados com células de parede orgânica. Elas não possuem uma categoria taxonômica formal.		Os acritarcos são um grupo polifilético de palinófitos cujo nome significa "de origem incerta". Acritarcha (<i>akritos</i> = incerto, misturado e <i>ache</i> = origem). Organismo de pequenas dimensões (5 a 150 µm). Forma simétrica com ornamentação variada. Sua primeira aparição foi no Precambriano tardio, atingindo seu apogeu durante o Ordoviciano - Devoniano.
	Zoomorfos	Foraminífero Teste-revestimento	Revestimento orgânico quitinoso de conchas calcáreas de foraminíferos.		Os revestimentos são tipicamente de cor marrom escuro, embora suas câmaras externas sejam frequentemente mais finas e translúcidas. Bom indicador de condições marinhas.
		Escolecodonte	Elementos da mandíbula de vermes anelídeos da classe poliquetas bentônicas		São a parte calcificada e escleroprotênica ("quitinosa") de partes da boca ("maxilares faríngeos") de vermes anelídeos poliquetas bentônicos. Ordoviciano - Recente.
		Quitinozoário	Vesículas em formato de frascos ou pequenas garrafas ocas (30 a 2000 µm). Afinidade incerta.		Eles consistem em um grupo extinto de microfósseis de parede orgânica encontrados nos sedimentos marinhos do Paleozóico. Ordoviciano recente - Devoniano tardio.
	Outros	Zooclastos (Graptólitos, ovos de Crustáceos); <i>Spongiophyton</i>			

Figura 2: Quadro com os subgrupos do Grupo Palinomorfo (Traduzido de MENDONÇA FILHO et.al, 2017).

Grupo Amorfo: Corresponde aos elementos que não possuem forma ou estrutura em MLBT. Estão aqui incluídos a matéria orgânica amorfa derivada de fitoplâncton (MOA fitoplanctônica); matéria orgânica amorfa derivada de atividade bacteriana (MOA bacteriana); resinas de vegetais; produtos amorfos originados a partir da diagênese de tecidos de macrófitas (Figura 3).

GRUPO	SUBGRUPO	DESCRIÇÃO
Amorfo	<p>"MOA" "MOA" derivada de retrabalhamento microbiológico de fitoplâncton.</p>	Material sem estruturação, sem morfologia ou forma; cor: vermelho - laranja - amarelo; laranja - marrom ou cinza; frequentemente contém inclusões de piritas e palinomorfos, pode as vezes exibir fluorescência.
	<p>"Produtos de tecidos de macrófitas" (<i>Pseudoamorfo</i>/"Amorfos") MOA derivada de retrabalhamento microbiológico de tecidos de macrófitas (vegetais superiores).</p>	Contorno difuso, cores marron claro, marron e marron escuro. Começa a mostrar características de MOA, mas é homogênea em aparência (fluorescência plana), sem pirita salpicada, sem inclusões. Pode exibir fluorescência.
	<p>Esteiras Microbianas MOA derivada da produtividade primária de bactérias (fotossíntese).</p>	Elas consistem predominantemente da lamalginita maceral quando examinada em luz branca transmitida. Elas formam preferencialmente partículas coesivas com fluorescência forte e uniforme, que mostram contornos agudos e distintos (algumas vezes angulares) após maceração.
	<p>Produtos de bactérias Substância Polimérica Extracelular Bacteriana (SPE).</p>	Camada mucilaginosa. Contorno difuso, fina, com cores amarelo - pálido, amarelo, laranja e cinza. Sem partículas de pirita, sem inclusões. Exibe intensa fluorescência.
	<p>Resina Produzida principalmente por vegetais terrestres superiores em climas tropicais .</p>	Partículas sem estruturação (fragmento vítreo), hialino, normalmente arredondado, homogêneo com forte fluorescência.

Figura 3: Quadro com os subgrupos do Grupo Amorfo (Traduzido de MENDONÇA FILHO *et al*, 2017).

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

A formação da Bacia do Araripe está associada à abertura do Atlântico Sul e à fragmentação do Supercontinente Gondwana. É a mais complexa e extensa das bacias intracontinentais do nordeste brasileiro, sendo sua forma e localização, assim como de outras bacias dessa região, muito influenciada pela reativação de estruturas de idade pré-cambriana devido à propagação dos esforços tectônicos em sua fase rifte. Situa-se na divisa dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, tendo como coordenadas 07°00'N, 08°00'S, 41°00'W e 38°30'E. Sua área de aproximadamente 9.000 km² ultrapassa os limites da Chapada do Araripe, especialmente a leste, abrangendo também o Vale do Cariri (ASSINE, 1994, 2007; ASSINE *et.al*, 2014). (Figura 4).

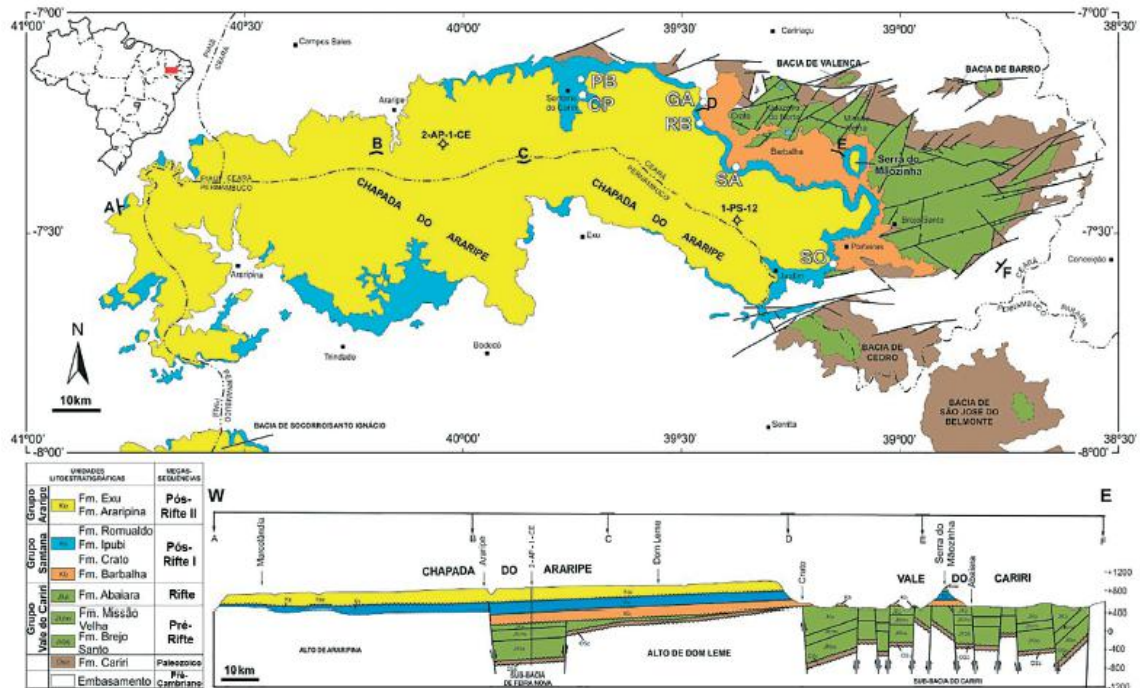


Figura 4: Localização e mapa Geológico da Bacia do Araripe (ASSINE *et.al.*, 2014).

Seu registro sedimentar é formado por seqüências estratigráficas delimitadas por discordâncias regionais que possivelmente associadas a uma série de embaciamentos em ambientes tectônicos diferentes (PONTE & APPI, 1990; ASSINE, 1992,2007; ASSINE *et.al*,2014). O contexto geográfico que deu origem a estratigrafia da Bacia do Araripe pode ter abrangido uma área muito mais ampla e até mesmo ter tido a contribuição de antigas bacias, localizadas entre os lineamentos de Pernambuco e Paraíba.

4.1 Estratigrafia

O estudo do preenchimento sedimentar da Bacia do Araripe, a cerca do que atualmente se sabe sobre suas sequências, foi incentivado a partir da busca pelo conhecimento dos potenciais petrolíferos que as bacias brasileiras teriam.

Assine (1992) realizou um levantamento histórico da divisão estratigráfica do conteúdo sedimentar da bacia e propôs diversas divisões da área (Figura 5). Segundo esse trabalho, o primeiro a propor uma divisão para o conteúdo sedimentar foi Small (1913), delimitando o registro encontrado na bacia por Conglomerado Basal, Arenito Inferior, Calcários Santana e Arenito Superior. Em 1962, Beurlen propõe uma redefinição das unidades descritas por Small, nomeando-as da base para o topo como Formação Cariri, Formação Missão Velha, Formação Santana e Formação Exu. Beurlen (1963) subdividiu pela primeira vez a Formação Santana, em Formação Crato e Formação Santana. A divisão em três membros, da Formação Santana, de Beurlen (1962), foi feita pelo trabalho de Beurlen em 1971, adotando-se, da base para o topo, os membros: Crato, Ipubí e Romualdo, sendo mantidas as divisões e hierarquia das demais unidades. Assine (1990) subdivide a Formação Missão Velha de Beurlen (1971) nas seguintes formações: Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, sotoposta em discordância, com a Formação Barbalha. Para esse mesmo autor, a Formação Santana só teria o membro Crato, em sua base, e ao topo estaria em discordância com a Formação Exu, dividida em Formação Exu Inferior e Superior (ASSINE, 1992).

Os trabalhos seguintes muito divergiram quanto à litoestratigrafia da bacia, muitas vezes causando confusões e exibindo divergências entre os autores em relação à estratigrafia (ASSINE, 1992). Os estudos que consolidaram a base do arcabouço basilar estão detalhados em Ponte & Appi (1990) e Assine (1992) sendo o primeiro o mais aceito e seguido pela comunidade acadêmica. Eles são equivalentes em relação à organização das sequências estratigráficas, diferindo-se apenas pela designação litoestratigráfica (ARAI, 2006).

Posteriormente, Assine (2007) revisa os trabalhos de Ponte & Appi (1990) e Assine (1992) apresentando também novas proposições para o registro sedimentar da Bacia do Araripe. As modificações têm como referência a coluna de Ponte & Appi (1990). A antiga Formação Rio da Batateira seria reconhecida por Formação Barbalha; a Formação Santana dividida em apenas dois Membros: Crato (camadas de calcários laminados e evaporitos) e Romualdo (contendo as concreções e

coquinhas); sobreposta e em contato discordante (Albiano), estaria a Formação Araripina referente à Formação Ararajara em Ponte & Appi (1990), sotoposta e em discordância (Albiano Superior) com a Formação Exu.

Small 1913	Beurlen 1962	Beurlen 1963	Beurlen 1971	Assine 1990	Ponte & Appi 1990	Assine 1992	Assine 2007	Assine et. al. 2014	Neumann & Assine 2015
Arenito Superior	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Sup. Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
Calcáreos Santana	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Santana	Gr. Ararajara	Fm. Santana	Gr. Araripina	Gr. Ararajara	Fm. Ararajara
			Mb. Romualdo		Mb. Romualdo		Mb. Romualdo	Fm. Romualdo	Fm. Romualdo
			Mb. Ipubi		Mb. Ipubi		Mb. Ipubi	Fm. Ipubi	Fm. Ipubi
		Fm. Crato	Mb. Crato	Mb. Crato	Mb. Crato	Mb. Crato	Mb. Crato	Fm. Crato	Fm. Crato
Arenito Inferior	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Barbalha	Fm. Rio da Batateira	Fm. Barbalha	Fm. Barbalha	Fm. Barbalha	Fm. Barbalha
				Fm. Abaiara	Fm. Abaiara	Fm. Abaiara	Fm. Abaiara	Fm. Abaiara	Fm. Abaiara
				Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha
				Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo	Fm. Brejo Santo
Conglomerado Basal	Fm. Cariri	Fm. Cariri	Fm. Cariri	Fm. Cariri	Fm. Mauriti	Fm. Cariri	Fm. Cariri	Fm. Cariri	Fm. Cariri

Figura 5: Comparativo das colunas litoestratigráficas utilizadas nesse trabalho (modificado de ASSINE, 1992; 2007; ASSINE et.al., 2014; NEUMANN & ASSINE, 2015).

Assine *et.al.* (2014) tem como foco o andar Alagoas da Bacia e adota a elevação de hierarquia estratigráfica proposta por Neumann (1999) e Neumann e Cabrera (1999), para os membros descritos por Beurlen (1971), que estariam incluídos no chamado Grupo Santana. Assine *et.al.* (2014), divide o Grupo Araripe de ASSINE (2007) em Grupos Santana e Araripe, sendo o primeiro constituído pelas Formações (da base para o topo): Barbalha, Crato, Ipubí e Romualdo, ou seja, todo o registro estratigráfico da Sequência Pós-Rifte I proposta por Assine (2007). Assine *et.al.* (2014) ainda reconhece duas desconformidades internas (topo das “Camadas Batateira” e topo da Formação Ipubí), que subdividiriam sequência Aptiana-Albiana, em três sequências deposicionais. A primeira seria representada pela porção inferior da Formação Barbalha, a segunda pela porção superior da Formação Barbalha e pelas formações Crato e Ipubí, e a terceira pela Formação Romualdo (Figura 6).

Entretanto, ainda existem dúvidas e muitas discussões sobre esse modelo com desconformidades internas a Sequencia Pos-Rift I.

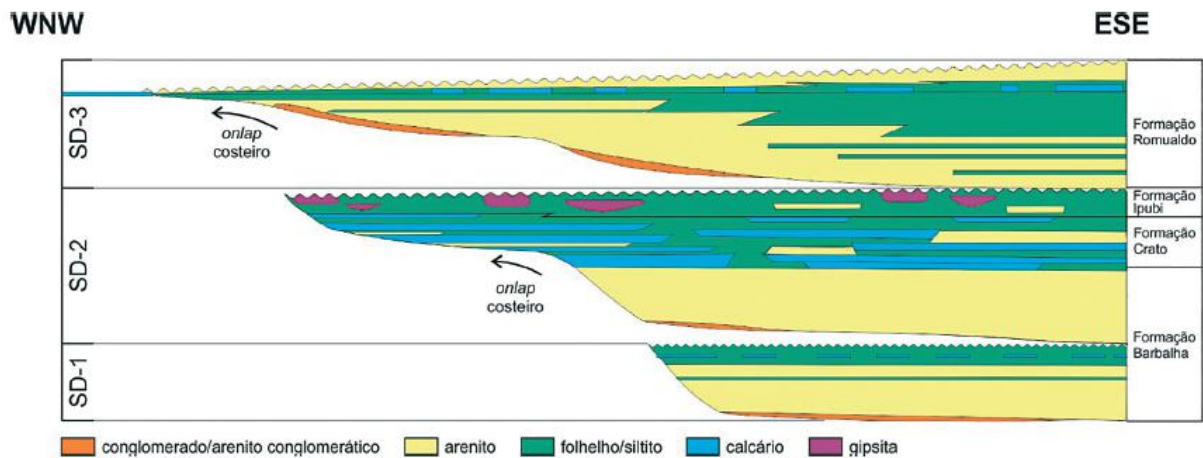


Figura 6: Sequências Depositionais (SD) 1,2 e 3 (ASSINE et.al., 2014).

Neumann & Assine (2015), também propõe a revisão desse mesmo intervalo, dividindo-o em quatro formações. Entretanto, este se difere do Assine *et.al.* (2014) em relação à existência duas desconformidades internas que divide o registro do Andar Alagoas em três sequências sedimentares, aproximando-se mais da descrição de unidade e discontinuidades propostas por Assine (2007).

A figura 5 mostra um resumo comparativo das colunas estratigráficas mencionadas anteriormente.

4.2 Testemunho

O Projeto Santana realizou um total de 14 furos sobre a chapada do Araripe e ao longo de seu contorno na porção nordeste, no estado do Ceará (Figura 7). O testemunho escolhido foi o 1-PS-11-CE, nas coordenadas 446610 E / 9206760 N, estando a noroeste da cidade do Crato. Possui uma altitude de 679 m, com 169,85m de profundidade alcançada e recuperação média de 121,42m (em torno de 71,40%) (SCHEID *et.al.*, 1978).

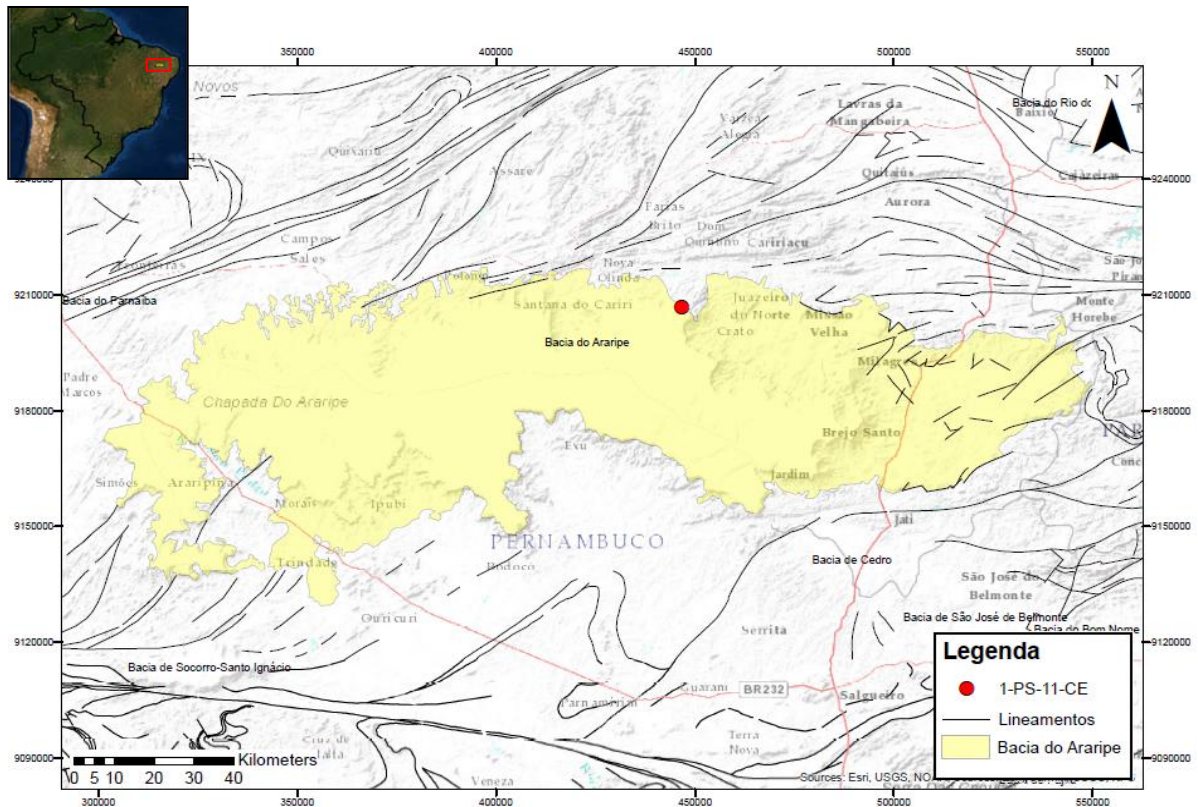


Figura 7: Localização do poço 1-PS-11-CE.

Foram escolhidas 44 amostras em intervalos de interesse geológico e irregularmente espaçadas ao longo de todo o testemunho de sondagem. 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).

As litologias contidas no testemunho, as profundidades das amostras, bem como as unidades estratigráficas presentes no testemunho 1-PS-11-CE estão dispostas no perfil modificado de Rios - Netto (2011), (Anexo I). Rios-Netto (2011)

utilizou como referência para a litoestratigrafia Ponte & Appi (1990) e segundo esses autores, as unidades que estariam presentes no 1-PS-11-CE da base ao topo, seriam: Formação Rio da Batateira, Formação Santana (Membro Crato); Formação Santana (Membro Ipubí) e Formação Santana (Membro Romualdo).

Para a presente monografia, a carta estratigráfica utilizada foi a de Neumann & Assine (2015) (Figura 8), estando a descrição das unidades de acordo com Assine (2007) com contribuições de Assine (1992). No perfil do anexo I, observam-se as modificações feitas quanto ao nome e hierarquia das unidades litoestratigráficas observadas ao longo do testemunho. Estão, portanto, representadas (da base para o topo) todas as unidades da Sequência Pós-Rifte I (Aptiano) ou do Grupo Santana: Formação Barbalha; Formação Crato; Formação Ipubí e Formação Romualdo (NEUMANN & ASSINE, 2015; ASSINE, 2007).

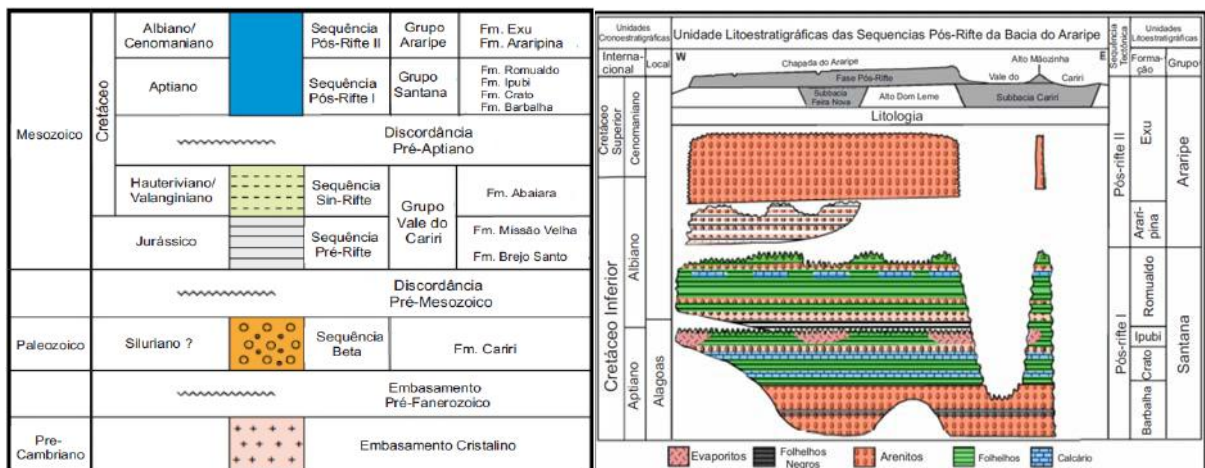


Figura 8: Coluna Litoestratigráfica e Carta Estratigráfica (NEUMANN & ASSINE, 2015).

A Formação Barbalha é descrita como uma intercalação de arenitos avermelhados e folhelhos com níveis delgados de conglomerados. Nela está contido o registro de dois ciclos fluviais com granodecrescência ascendente sendo o topo desses ciclos marcados por intervalos pelítico-carbonáticos lacustres.

Hashimoto *et. al.* (1987) cunhou o termo “Camadas Batateira” para o primeiro dos ciclos fluviais. Este representa o primeiro sistema lacustre na Bacia do Araripe de condições anóxicas e com a preservação de grande quantidade de matéria orgânica. Tal intervalo possui mineralizações de sulfetos encontrados em uma camada de calcário de aspecto brechoide de poucos metros, mas de grande extensão lateral, o que faz das “Camadas Batateira” um importante marco

estratigráfico regional. Isso pode ser comprovado pela segunda fase do Projeto Santana, sendo esse intervalo encontrado em todos os 14 testemunhos recuperados (PONTE & APPI, 1990; ASSINE, 2007).

O segundo ciclo, está em contato erosivo com as “Camadas Batateira”, contendo arenitos mais finos e os folhelhos intercalados, possuem coloração verde sendo mais abundantes no topo da formação. Este último ciclo termina com os calcários micríticos referentes à formação sobreposta. As amostras que estão inseridas no intervalo da Formação Barbalha, são as mais basais do testemunho: 167,60 m a 138,80 m (Anexo I).

A Formação Crato é composta por calcários laminados de espessuras que podem ultrapassar dezenas de metros e estão lateralmente interdigitados com folhelhos verdes. Essas rochas possuem um registro fóssilífero bem diferenciado e rico, com ausência de espécies marinhas, o que para Neumann (1999) pode indicar uma sedimentação lacustre (ASSINE, 2007). Segundo Assine (1992), essa formação estaria relacionada a uma ampliação dos sistemas lacustres, com condições de baixa energia e presença comum de filamentos algálicos nos carbonatos. No testemunho 1-PS-11-CE as amostras referentes a essa formação são: 137,30 m a 77,00.

A Formação Ipubí é formada por uma série de camadas descontínuas de gipsita, em três variedades, com no máximo 30-40m. A primeira variedade é caracterizada por cristais em formas colunares como paliças. A segunda pode se apresentar como alabastro, porfiroblástica e/ou nodular. Por último, no topo dessa formação, é possível encontrar gipsita em formas mais fibrosas (ASSINE, 1992, 2007; ASSINE *et.al*, 2014; NEUMANN & ASSINE, 2015). A Formação Ipubí definida por Neumann & Assine (2015), era considerada uma parte referente ao que se definia como Formação Santana até Beurlen (1971), que pela primeira vez subdividiu o registro considerado como Formação Santana em Membros, sendo o Membro Ipubí, um desses. Nos estudos que se seguiram, muito se divergiu em onde na hierarquia estratigráfica, as camadas caracterizadas pela presença de gipsita, estariam inseridas. Ora eram descritas como Membro; ora como Formação ou ainda como camadas inseridas no Membro Crato, discutidos por Assine (1992). Em Neumann & Assine (2015), usado como referência estratigráfica para essa monografia, as camadas descontínuas de gipsita, são definidas como Formação Ipubí. Estão especialmente presentes na porção oeste da bacia, associadas à algas

verdes e folhelhos negros possivelmente associadas a um ambiente costeiro subaquoso, em condições áridas a semi-áridas (ASSINE, 1992, 2007; NEUMANN & ASSINE, 2015).

A porção basal da formação seguinte (Romualdo) encontra-se em descontinuidade erosiva, com as gipsitas da Formação Ipubí. Esse contato, gerado por um hiato na sedimentação, de curta duração, é observado de forma distinta em algumas regiões da Bacia. Na porção nordeste, próximo à Santana do Cariri (CE), gipsitas e folhelhos negros da Formação Ipubí, encontram-se truncados com os arenitos e conglomerados aluviais, que possuem geometria de canais e afinamento textural em direção ao topo, que compõem a base da Formação Romualdo. A oeste, próximo a Araripina (PE), acima dos evaporitos, ocorre um nível delgado paraconglomerados, evidenciando um possível retrabalhamento. Tal descontinuidade foi definida por Silva (1986) e pode ser observada em áreas onde os evaporitos não são encontrados, apresentando-se como uma camada fina de conglomerados sendo, portanto, de importância regional (ASSINE, 1992; 2007). As amostras de 69,40 m a 60,90 m estão localizadas no intervalo da Formação Ipubí no testemunho.

Formação Romualdo é a mais superior do Grupo Santana, possui em seu registro sedimentar, um ciclo transgressivo-regressivo completo. Da base para o topo, segundo Assine (1992, 2007) apresenta arenitos interestratificados com folhelhos, acima desses, ocorrem folhelhos verdes que mostram uma tendência transgressiva para o topo da formação. Os folhelhos se tornam cada vez mais escuros, culminando com uma camada de folhelhos de coloração cinza escuro a preto, de poucas dezenas de metros, ricos em matéria orgânica, contendo um nível, em torno de cinco metros de concreções fossilíferas, especialmente a leste da Chapada. Tais concreções indicam um evento de mortandade em massa, sendo um importante marco estratigráfico. Elas contêm um registro faunístico marinho, e acima desse nível é possível encontrar coquinas de até um metro de espessura, que através do seu registro fóssil demonstram condições totalmente marinhas.

O final da formação apresenta siltitos e arenitos, interdigitados com folhelhos, que devido à presença de espécies de água doce demonstram condições regressivas. Porém, essa parte mais superior do Grupo Santana não está representada em toda a extensão da bacia. Isso se deve especialmente à erosão gerada a partir da discordância que precede a sequência Pós-Rifte II (ASSINE,

1992; ASSINE, 2007). No pacote referente à Formação Romualdo, no testemunho, estão inseridas as amostras de 59,25 m a 4,20 m.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Processamento para a análise de Geoquímica Orgânica (COT%; S%; RI%)

As análises de COT e S foram realizadas através do equipamento SC 144 da marca LECO seguindo os padrões determinados ASTM D 4239 (American Society for Testing and Materials - ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002).

Primeiramente as amostras são pulverizadas até a fração granulométrica em torno de 2mm. Pesa-se uma quantidade entre 0,25 e 0,30g em um recipiente de massa conhecida (cadinho de porcelana). Em seguida essas amostras são submetidas a um processo de acidificação (a frio) com a utilização de HCl (1:1) para a eliminação dos componentes carbonáticos (processo de descarbonatação), por 24 horas. Após esse período as amostras são lavadas com água destilada quente por uma hora para a eliminação dos possíveis cloretos formados nesse processo. O procedimento de lavagem continua utilizando-se água destilada à temperatura ambiente até que seja atingido o pH 6.

Os cadinhos, a seguir, são colocados na estufa à temperatura de 65°C onde permanecem por um período de 3 horas para que toda a água seja eliminada.

Ao se resfriarem, os recipientes são novamente pesados, a fim de se determinar as porcentagens de resíduo insolúvel (RI) e de carbonatos de cálcio. Assumindo-se a total retirada dos componentes carbonáticos na etapa de acidificação com HCl, a fração de amostra obtida é equivalente aos elementos siliciclásticos. Portanto, o teor de carbonato de cálcio é a quantidade de amostra inicial subtraindo a quantidade do resíduo insolúvel (RI), como abaixo:

$$RI (\%) = \frac{\text{Peso da porção insolúvel} \times 100}{\text{Peso inicial da amostra}}$$

$$CaCO_3(\%) = 100 - RI (\%)$$

A próxima etapa é realizada com a utilização do equipamento SC 144 - LECO, primeiramente calibrado com a massa inicial de cada amostra. Dentro do aparelho, as amostras são submetidas a uma atmosfera de oxigênio à temperatura de 1350°C, levando ao processo de combustão total. Com a combustão, o carbono e o enxofre são convertidos à CO₂ e SO₂ através de reações de oxi-redução, a

presença desses gases é atestada por células de infravermelho e as suas concentrações são determinadas em porcentagem.

5.2 Processamento para a análise de Palinofácies

O processamento para a realização da análise de palinofácies seguiu os padrões determinados por Tyson (1995), Mendonça Filho *et.al* (2010b, 2012), Oliveira *et.al*, (2006) e Mendonça Filho *et.al*, (2017) sem o descarte de sobrenadante.

Primeiramente as amostras são fragmentadas até uma granulometria em torno de 4mm. Em seguida elas sofrem um processo de secagem em estufa à temperatura de 50°C. Após, a quantidade em torno de 25g de cada amostra é colocada em béqueres de plástico (1000 ml), sendo então levadas à capela para a realização das etapas de acidificação.

O processo de maceração ácida inicia-se com a adição do ácido clorídrico (HCl - 37%) para que sejam eliminadas as frações carbonáticas, durante 18h. A seguir inicia-se o processo de neutralização utilizando-se para isso água filtrada e peneiras de malha de 10µm. Na segunda etapa de acidificação, utiliza-se o ácido fluorídrico (HF – 40%) durante o intervalo de 24h para a eliminação dos componentes silicáticos, ao final as amostras são novamente neutralizadas. Por fim, é adicionado novamente o HCl (37%) por um período de 3h, para a eliminação dos fluossilicados, eventualmente formados nas etapas anteriores de acidificação, fossem eliminados. Novamente inicia-se a lavagem com água filtrada para a neutralização.

Na próxima etapa, as amostras são levadas à centrífuga em tubos de 50ml com a adição de cloreto de zinco (ZnCl₂), para a separação por densidade, a fração orgânica do mineral remanescente. Ao final desse processo, obtém-se o resíduo orgânico com o qual são confeccionadas lâminas para a análise de palinofácies.

A análise de palinofácies é feita a partir da observação quantitativa e qualitativa das partículas orgânicas contidas nas lâminas organopalinológicas. São contadas de 300 a 500 partículas e, cada lâmina em microscópio em objetiva de 20x e ocular de 10x , em modo luz branca transmitida (MLBT) e luz azul/ultravioleta incidente, ou modo fluorescência (LAU/MF). Ao final da contagem os dados são normalizados a 100% para tratamento estatístico e confecção de tabelas e gráficos.

A análise microscópica foi realizada em microscópio Zeiss (modelo AXIOSKOP 2 Plus) no LAFO (Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica) do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências (IGEO) da UFRJ.

6 RESULTADOS

Foram processadas 44 amostras retiradas do testemunho 1-PS-11-CE. Entretanto, as amostras 23,10 m, 93,10 m, 145,10 m e 167,60m foram excluídas das análises, por não terem sido detectados valores de COT e/ou S e/ou RI, ou ainda por terem sido consideradas não recuperadas (quantidade de matéria orgânica particulada inferior à quantidade mínima para contagem). Portanto, os resultados a seguir, são referentes a um total de 40 lâminas.

6.1 Análise de Carbono Orgânico Total % (COT), Enxofre % (S) e Resíduo Inorgânico % (RI)

Os resultados de COT, S e RI obtidos para cada uma das 40 amostras estão dispostos na tabela 1 e na figura 9.

Tabela 1: Porcentagem de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre) e RI (Resíduo Insolúvel) obtidas para cada uma das amostras.

Profundidade (m)	COT (%)	S(%)	RI (%)
4,20	0,37	0,05	78,00
10,00	0,39	0,24	85,00
12,40	0,53	0,19	76,00
15,00	0,35	0,19	84,00
17,40	0,46	0,17	79,00
20,00	2,88	0,27	85,00
53,10	2,40	0,15	81,00
54,40	3,69	3,92	77,00
55,20	4,60	0,58	82,00
57,00	1,51	0,32	75,00
58,00	4,52	0,52	77,00
59,25	5,37	0,54	65,00
60,90	8,28	1,28	62,00
62,50	0,30	0,03	80,00
63,30	0,82	0,06	78,00
64,50	4,20	0,74	47,00
66,00	0,57	0,53	72,00
67,00	0,53	1,37	67,00
69,40	1,72	1,59	45,00
77,00	1,10	0,26	3,50
79,60	6,39	1,87	48,00
86,60	1,20	0,10	81,00
88,00	4,35	0,31	82,00
92,00	0,95	0,30	84,00
96,00	0,15	0,04	86,00
108,30	0,21	0,09	83,00
110,40	0,13	0,01	85,00
113,60	1,06	0,37	73,00
123,50	0,38	0,19	84,00
125,80	0,48	0,15	80,00
128,85	0,37	0,13	86,00
130,30	0,61	0,09	80,00
131,20	0,55	0,05	74,00
137,30	1,37	0,10	87,00
138,80	0,26	0,07	87,00
143,00	0,55	0,04	86,00
147,50	0,71	0,12	85,00
150,60	0,57	0,04	86,00
153,70	0,23	0,02	86,00
159,65	0,22	0,08	86,00

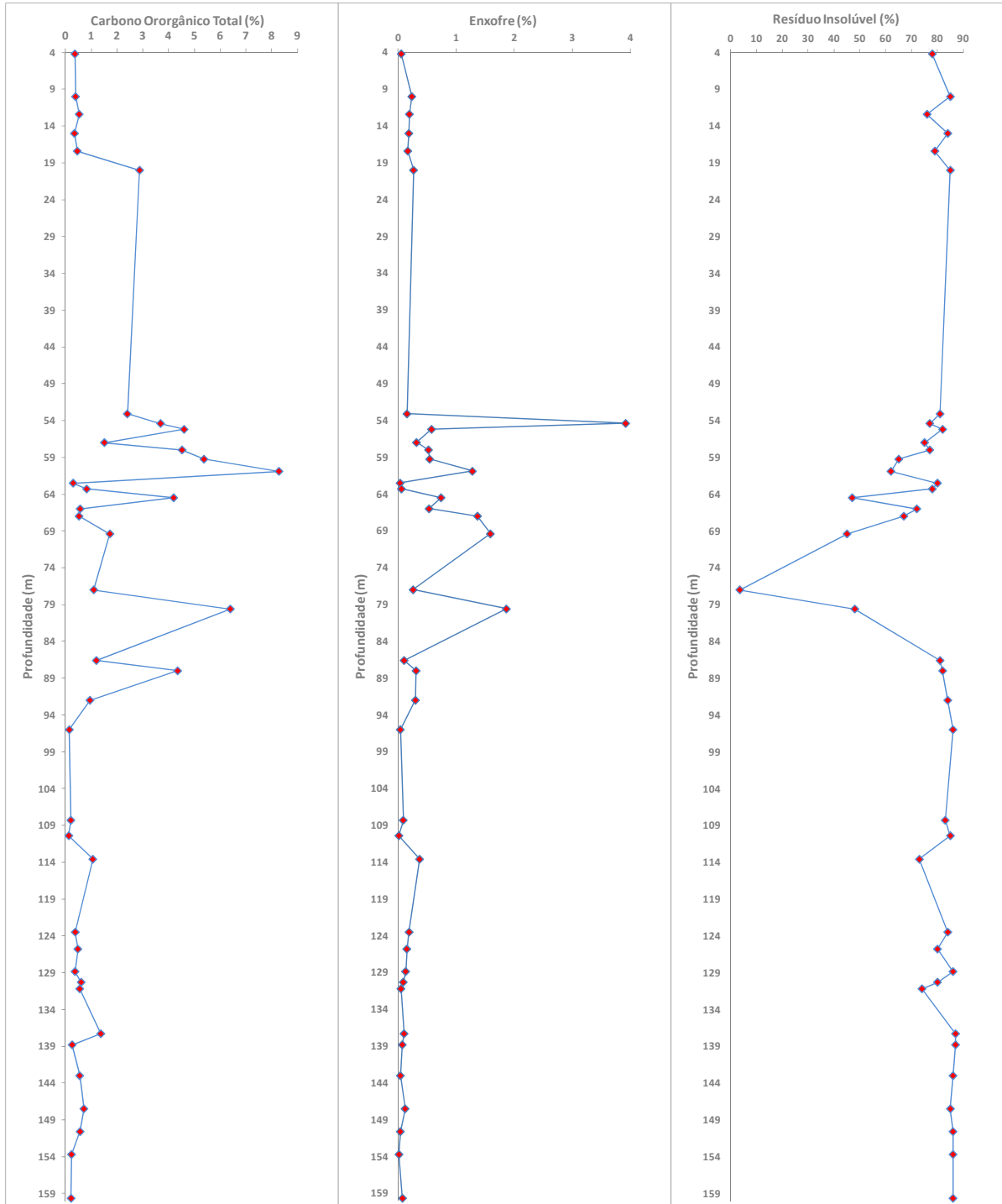


Figura 9: Variação dos valores de COT, ST e RI, ao longo do testemunho 1-PS-11-CE.

6.2 Análise de Palinofácies

Na análise de palinofácies foi possível observar a presença dos três grupos da matéria orgânica particulada (Fitoclasto, Amorfo e Palinomorfo). A tabela 2 e a figura 10 mostram as porcentagens totais em relação à matéria orgânica, desses grupos para cada amostra estudada. A tabela 3 mostra a frequência relativa dos subgrupos em relação ao total de matéria orgânica para cada Formação.

Tabela 2 : Frequência relativa dos grupos da matéria orgânica.

Profundidade (m)	Fitoclasto (%)	Amorfo (%)	Palinomorfo(%)
4,20	36,93	41,13	41,50
10,00	56,03	66,03	22,70
12,40	58,39	70,79	32,21
15,00	51,50	66,50	16,94
17,40	31,63	49,03	19,81
20,00	44,59	64,59	10,14
53,10	42,18	95,28	3,40
54,40	13,49	67,89	2,63
55,20	5,68	60,88	4,42
57,00	14,60	71,60	7,62
58,00	6,09	64,09	2,56
59,25	1,92	61,17	1,92
60,90	4,33	65,23	2,00
62,50	61,77	124,27	24,46
63,30	68,23	131,53	9,03
64,50	4,76	69,26	1,02
66,00	71,71	137,71	3,29
67,00	29,14	96,14	3,31
69,40	17,74	87,14	2,90
77,00	3,66	80,66	1,47
79,60	4,29	83,89	2,15
86,60	10,22	96,82	5,43
88,00	5,61	93,61	0,93
92,00	5,68	97,68	2,84
96,00	67,18	163,18	0,61
108,30	94,16	202,46	4,55
110,40	26,60	137,00	0,00
113,60	88,60	202,20	2,28
123,50	87,22	210,72	11,82
125,80	73,96	199,76	19,23
128,85	32,26	161,11	2,58
130,30	34,41	164,71	5,14
131,20	1,28	132,48	0,00
137,30	95,79	233,09	1,62
138,80	91,15	229,95	1,64
143,00	63,27	206,27	17,59
147,50	39,67	187,17	6,56
150,60	80,83	231,43	5,75
153,70	94,48	248,18	4,22
159,65	81,00	240,65	0,62

Tabela 3: Frequência relativa dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação ao total de matéria orgânica (F.O = Fitoclasto Opaco; F.N.O.B = Fitoclasto Não Opaco Bioestruturado; F.N.O.N.B = Fitoclasto Não Opaco Não Bioestruturado; F.N.O = Fitoclasto Não Opaco; MOA = Matéria Orgânica Amorfa).

	Profundidade (m)	Fitoclasto						Amorfo				Palinomorfo			
		% F.O.	% F.N.O.B	% F.N.O.N.B	% F.N.O Total	% Cutícula	% Membrana	% Resina	% MOA Vegetal	%MOA Fitoplanctônica	% MOA	% Esporomorfo	% Microplancton Marinho	% Microplancton de Água Doce	Palinofo ramífero
Formação Romualdo	4,20	9,80	9,80	5,56	15,36	1,96	9,80	0,33	21,24	0,00	0,00	8,50	25,16	7,52	0,33
	10,00	6,74	32,27	6,74	39,01	6,74	3,55	0,00	21,28	0,00	0,00	16,31	3,19	3,19	0,00
	12,40	4,70	48,32	1,34	49,66	3,36	0,67	0,34	6,38	2,68	0,00	18,79	8,05	4,70	0,67
	15,00	1,66	29,90	15,61	45,51	2,33	1,99	0,00	10,30	21,26	0,00	5,98	8,31	2,66	0,00
	17,40	0,00	28,43	0,96	29,39	0,32	1,92	0,32	0,64	47,60	0,00	14,06	0,00	5,75	0,00
	20,00	0,00	37,50	2,36	39,86	2,70	2,03	0,00	5,07	40,20	0,00	8,78	0,68	0,68	0,00
	53,10	10,88	27,55	2,04	29,59	1,70	0,00	0,00	40,82	13,61	0,00	3,40	0,00	0,00	0,00
	54,40	3,95	5,92	3,62	9,54	0,00	0,00	0,00	82,89	0,99	0,00	2,30	0,00	0,33	0,00
	55,20	0,95	3,15	0,32	3,47	0,32	0,95	0,00	0,00	89,91	0,00	4,42	0,00	0,00	0,00
	57,00	6,35	3,49	4,76	8,25	0,00	0,00	0,32	0,00	77,46	0,00	6,35	1,27	0,00	0,00
	58,00	1,60	1,60	2,56	4,17	0,00	0,32	0,00	6,09	85,26	0,00	2,56	0,00	0,00	0,00
59,25	0,32	0,00	1,60	1,60	0,00	0,00	0,00	96,15	0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	0,00	
Formação Ipubi	60,90	0,67	2,33	1,33	3,67	0,00	0,00	0,00	93,67	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,33
	62,50	16,21	20,18	11,62	31,80	3,98	9,79	1,53	12,23	0,00	0,00	21,41	0,00	3,06	0,00
	63,30	25,08	22,07	12,71	34,78	1,67	6,69	0,00	22,74	0,00	0,00	9,03	0,00	0,00	0,00
	64,50	1,02	1,70	2,04	3,74	0,00	0,00	0,00	94,22	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00
	66,00	24,67	20,39	18,75	39,14	2,30	5,59	25,00	0,00	0,00	0,00	1,97	0,00	1,32	0,00
	67,00	18,87	4,30	5,30	9,60	0,33	0,33	64,24	3,31	0,00	0,00	3,31	0,00	0,00	0,00
	69,40	6,77	5,81	4,84	10,65	0,32	0,00	2,58	76,77	0,00	0,00	0,97	0,00	1,94	0,00
Formação Crato	77,00	0,37	0,37	2,56	2,93	0,00	0,37	0,00	94,87	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00
	79,60	0,61	1,84	1,84	3,68	0,00	0,00	0,00	93,56	0,00	0,00	2,15	0,00	0,00	0,00
	86,60	1,60	0,96	7,67	8,63	0,00	0,00	0,96	36,10	47,28	0,00	4,79	0,00	0,64	0,00
	88,00	0,93	3,74	0,93	4,67	0,00	0,00	14,64	79,13	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00
	92,00	1,26	1,26	0,32	1,58	1,26	1,58	0,00	0,00	91,48	0,00	2,84	0,00	0,00	0,00
	96,00	44,17	3,37	19,33	22,70	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	32,21	0,61	0,00	0,00	0,00
	108,30	10,71	3,25	3,90	7,14	0,32	75,97	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
	110,40	18,59	1,28	6,73	8,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,40	0,00	0,00	0,00	0,00
	113,60	0,98	19,22	7,17	26,38	0,65	60,59	3,58	5,54	0,00	0,00	0,98	0,00	1,30	0,00
	123,50	14,06	27,16	36,10	63,26	4,47	5,43	0,96	5,43	0,00	0,00	9,58	0,00	2,24	0,00
	125,80	10,95	28,99	19,23	48,22	0,30	14,50	2,66	4,14	0,00	0,00	13,31	0,00	5,92	0,00
	128,85	6,45	9,35	14,19	23,55	0,65	1,61	4,19	4,52	0,00	56,45	2,58	0,00	0,00	0,00
	130,30	12,86	8,36	13,18	21,54	0,00	0,00	0,64	59,81	0,00	0,00	4,82	0,00	0,32	0,00
131,20	0,64	0,64	0,00	0,64	0,00	0,00	1,60	97,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
137,30	0,32	79,94	4,85	84,79	2,59	8,09	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	
Formação Barbalha	138,80	75,08	4,59	10,82	15,41	0,00	0,66	7,21	0,00	0,00	0,00	1,64	0,00	0,00	0,00
	143,00	13,89	27,78	13,27	41,05	2,16	6,17	18,52	0,62	0,00	0,00	14,51	0,00	3,09	0,00
	147,50	9,51	14,75	11,80	26,56	0,66	2,95	8,52	0,00	0,00	45,25	3,93	0,00	2,62	0,00
	150,60	4,79	48,88	12,46	61,34	0,32	14,38	3,83	0,00	0,00	9,58	3,83	0,00	1,92	0,00
	153,70	81,49	5,84	5,84	11,69	0,00	1,30	1,30	0,00	0,00	0,00	4,22	0,00	0,00	0,00
	159,65	57,32	9,66	13,08	22,74	0,00	0,93	2,18	0,00	0,00	16,20	0,62	0,00	0,00	0,00

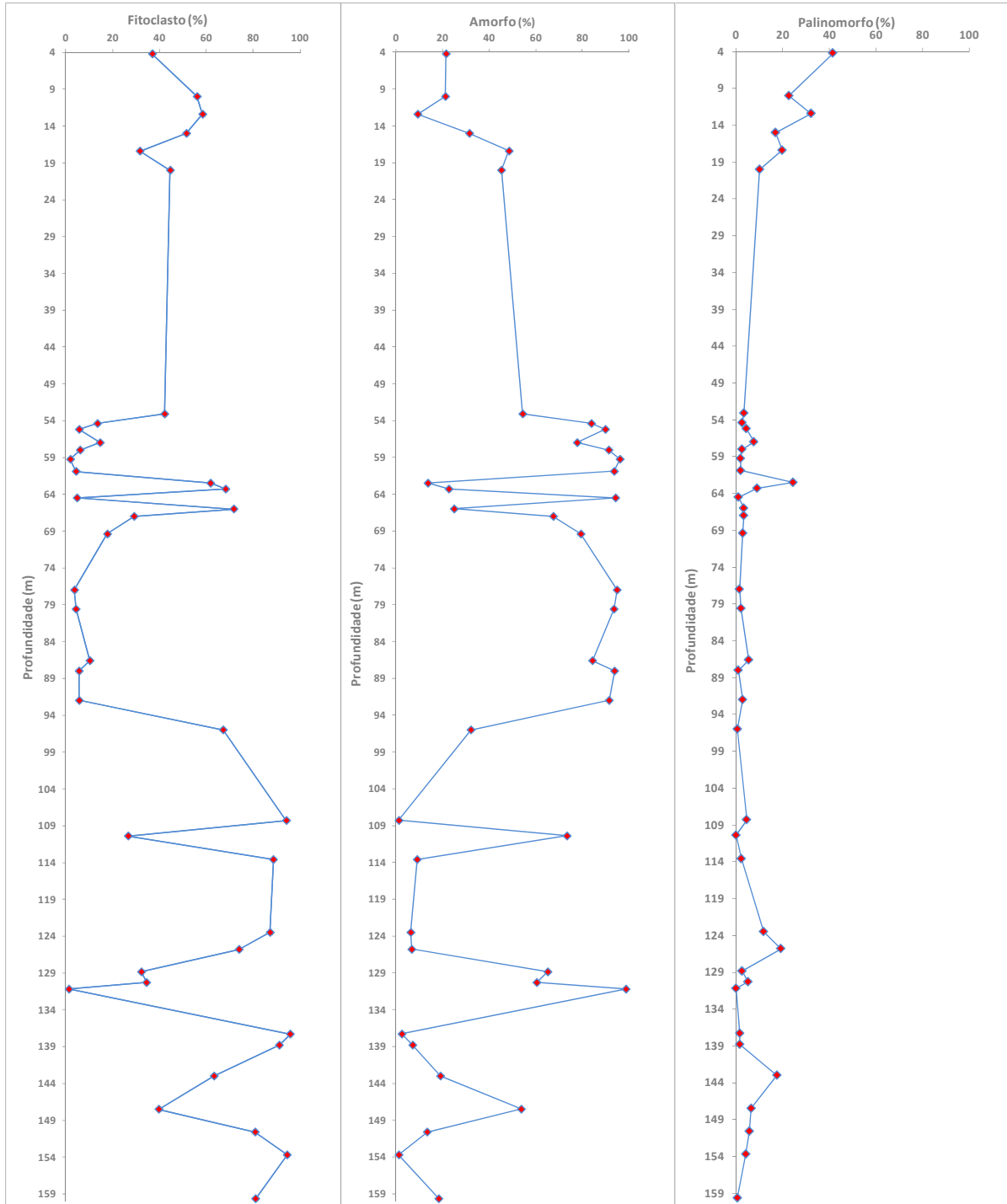
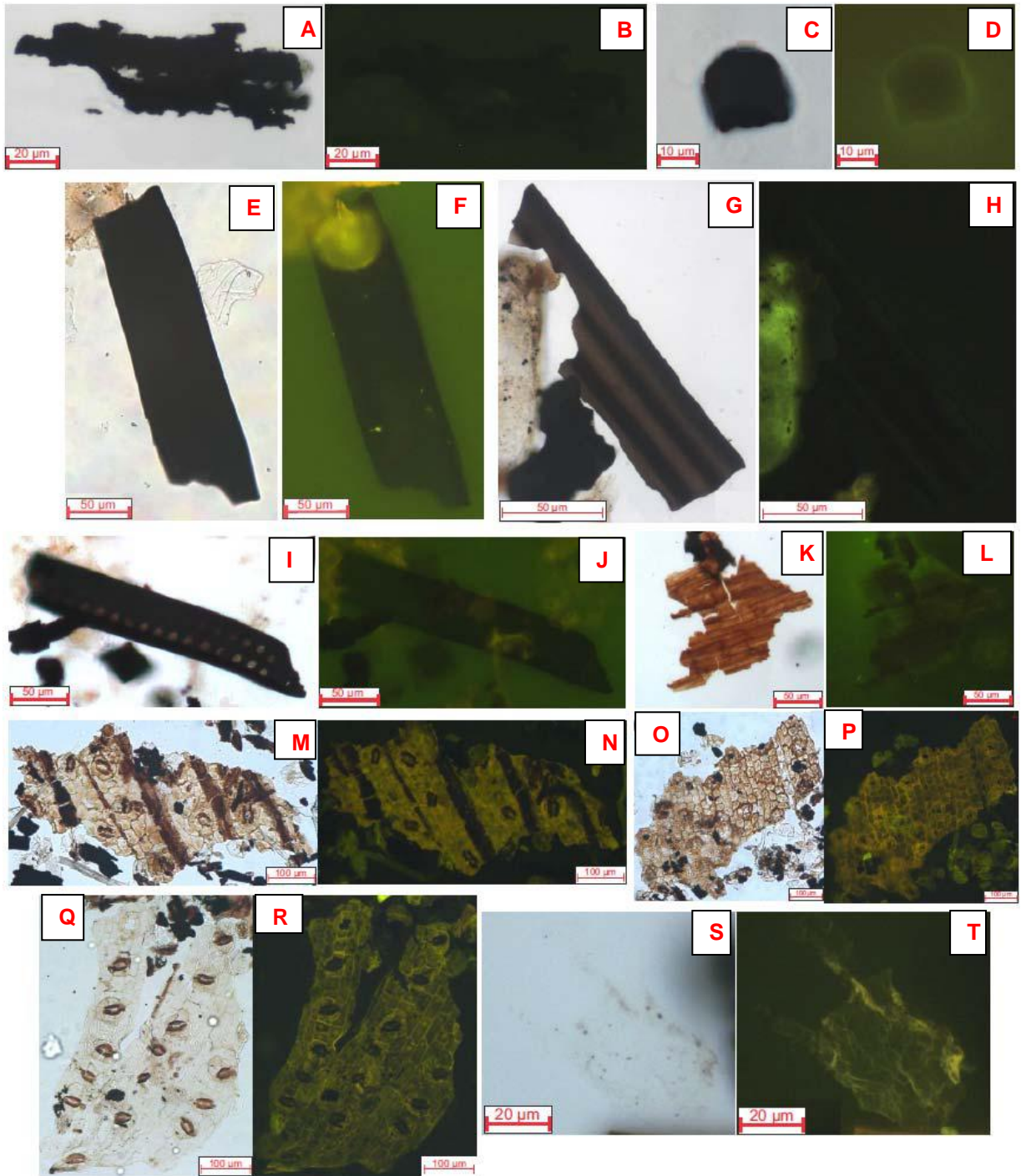


Figura 10: Variação dos três grupos da matéria orgânica (Fitoclasto, Amorfo e Palinomorfo) ao longo do testemunho 1-PS-11-CE.

Através dos dados tabela 3, podemos observar as porcentagens dos subgrupos do grupo Fitoclasto, em relação ao total de matéria orgânica. Os Fitoclastos Opacos apresentam partículas com contornos variando de bem definidos a irregulares, ou até mesmo corroídos. São partículas negras, tanto no MLBT quanto no MF. Os mais representativos no espaço amostral estudado são os opacos alongados.

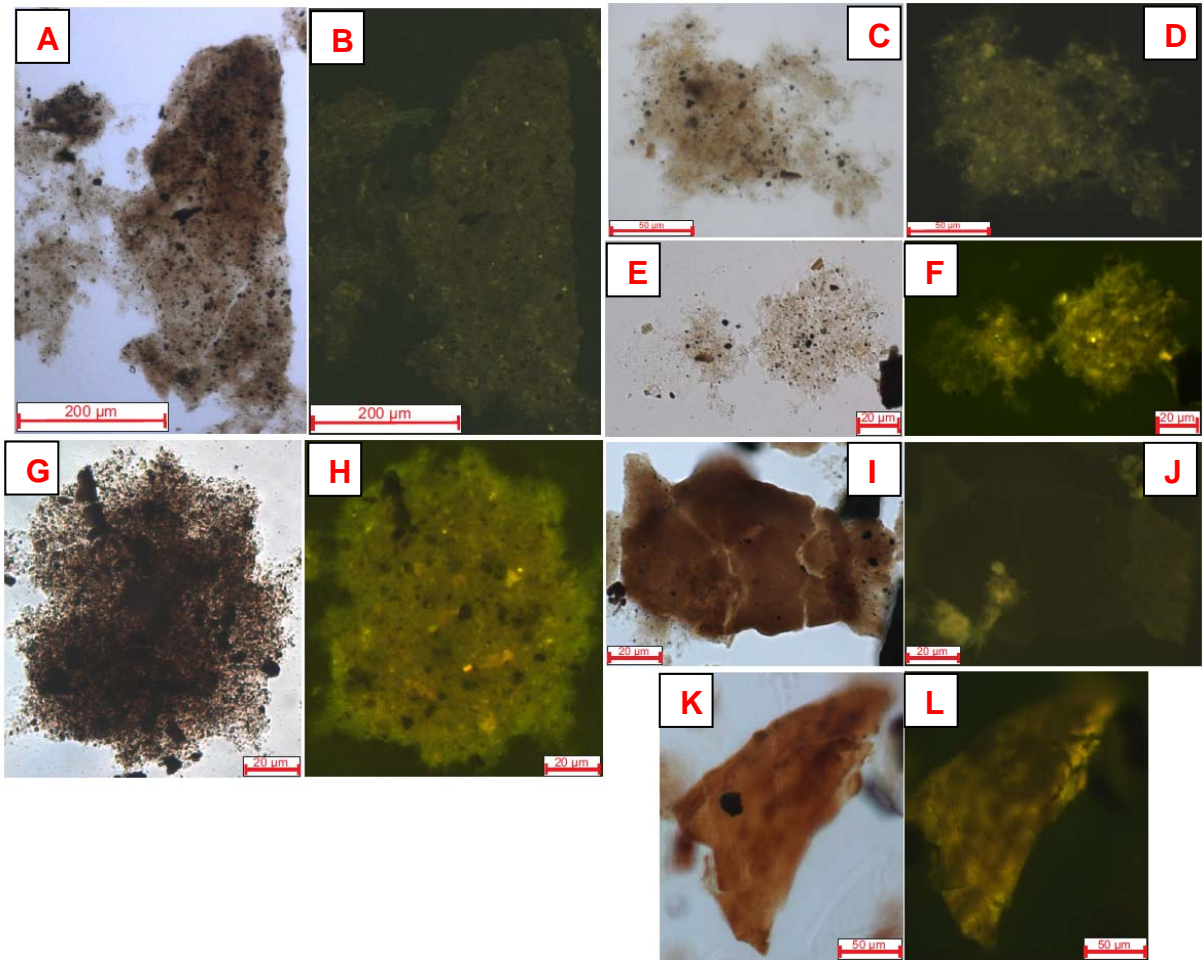
Existem ainda os Fitoclastos Não Opacos, ou translúcidos em MLBT e sem fluorescência em MF. Podem ser divididos em Bioestruturados e Não Bioestruturados. Entre os primeiros, observou-se a predominância dos não degradados, especialmente dos listrados e perfurados ao longo de todo o testemunho, e também dos estriados na base do mesmo. Já para os Não Bioestruturados houve o predomínio dos degradados.

Em relação às Cutículas ocorre o predomínio das degradadas, sendo observadas estruturas internas e até mesmo estômatos, nas mais preservadas. Algumas cutículas apresentam fluorescência baixa, e neste caso, normalmente são mais espessas e estão associadas às camadas mais internas do tecido vegetal (Estampa 1, M-N). As Membranas apresentam-se no geral bastante fluorescentes, translúcidas, finas a muito finas, assemelhando-se a películas. As partículas pertencentes aos subgrupos do grupo Fitoclasto, estão representados na estampa 1.



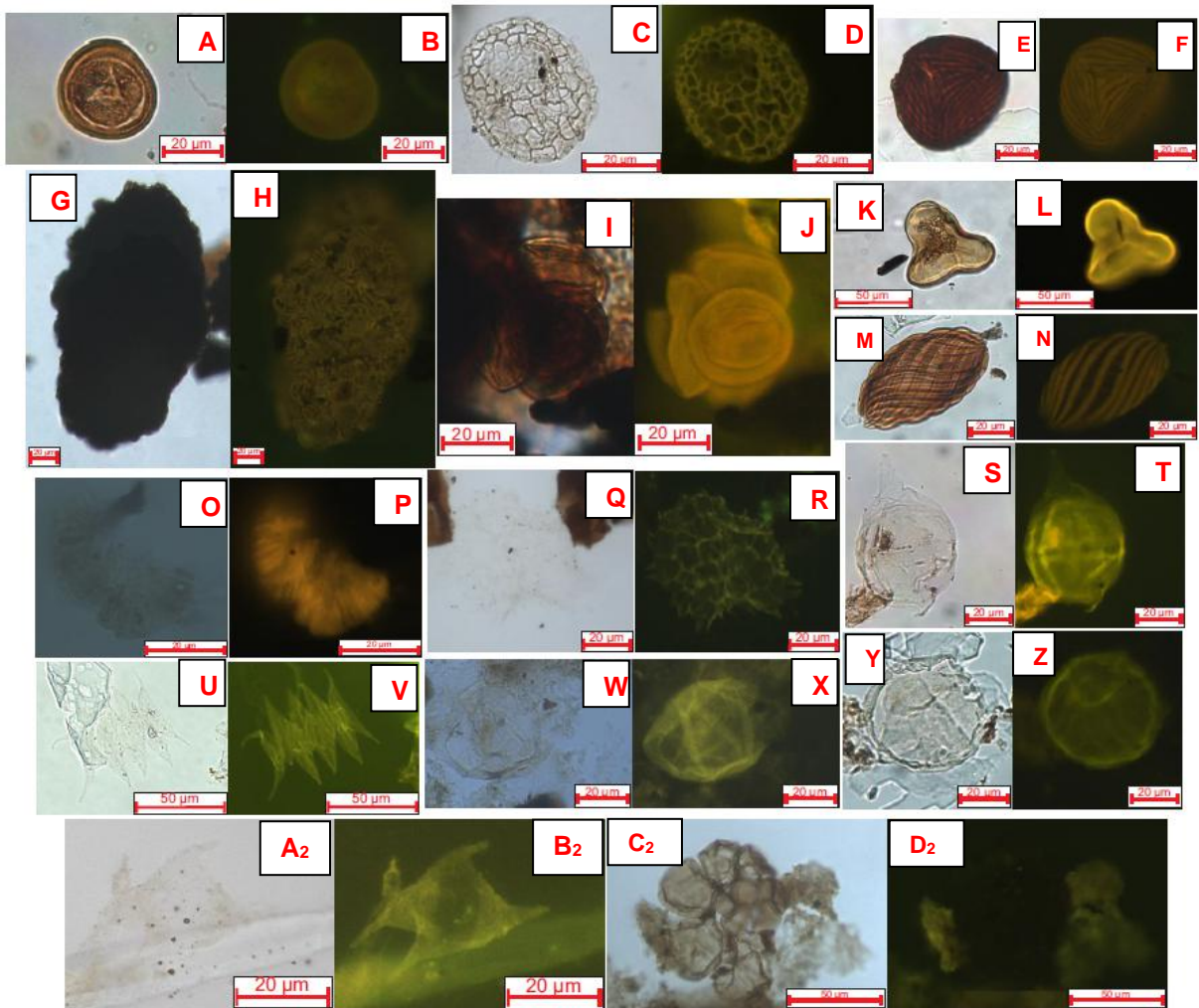
Estampa 1: Fotomicrografias em modo Luz Branca Transmitida (à esquerda) e Fluorescência (à direita). Fitoclastos Opacos: Corroído (A-B), Equidimensional (C-D), Alongado (E-F); Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados: Listrado (G-H), Perfurado (I-J), Estriado (K-L); Cutículas (M-R); Membrana (S-T).

O grupo Amorfo é o que tem maior representatividade dentre os grupos da matéria orgânica (figura 10). Seus subgrupos foram divididos de acordo com a sua possível origem. O subgrupo MOA apresenta três tipos: MOA Vegetal, MOA Fitoplanctônica e MOA (cuja origem não é definida). A MOA Vegetal possui textura mais “lisa” e densa. As partículas apresentam extremidades com contornos regulares (remanescentes das partículas vegetais) e fluorescência variando de intermediária a baixa (Estampa 2, A e B). A MOA Fitoplanctônica é mais delgada, com fluorescência variando de intermediária a alta (Estampa 2, C a F). Algumas partículas apresentam vestígios de algas de água doce, em processo de “amorfização” (Estampa 2, E e F). A MOA (cuja origem não foi identificada) mostra partículas densas com fluorescência intermediária a alta e diminutas partículas associadas (Estampa 2, G e H). Por fim subgrupo Resina (Estampa 2, I a L) se apresenta no geral de forma oxidada, com e sem fluorescência.



Estampa 2: Fotomicrografias, à direita Modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e à esquerda Fluorescência (MF/LA). Matéria Orgânica Amorfa (MOA): MOA Vegetal (A-B), MOA Fitoplanctônica (C-F), MOA (G-H), Resina (I-L).

O grupo Palinomorfo é o de menor representatividade em todo o testemunho (Figura 10) em relação à matéria orgânica total. Os Esporomorfos (grãos de pólen e esporos) estão representados pelos Grãos de Polén *Classopollis*, *Afropollis*, e esporos *Cicatricosisporites* e *Cyathidites*. Aglomerados e tétrades, de grãos de pólen e esporos, também se fazem presentes, porém em menor quantidade. O subgrupo Microplâncton Marinho, é caracterizado pela ocorrência de Cistos de Dinoflagelados, do gênero *Subtilisphaera*, ao longo do testemunho. O subgrupo Microplâncton de Água Doce está representado especialmente pelas algas verdes (*Botryococcus*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, Cistos de Zignemataceae (zigósporo) e pontualmente *Tetraedron*). Por fim, o subgrupo Zoomorfo Marinho representado pelo Palinoforaminífero, está presente de forma restrita no topo do testemunho. Os constituintes desses subgrupos estão representados na Estampa 3.



Estampa 3: Fotomicrografias, à direita Modo Luz Branca Transmitida (MLBT) e à esquerda Modo Fluorescência (MF/LA). Esporos: *Cicatricosisporites* (E-F), *Cyathidites* (K-L), Grãos de Pólen: *Classopollis* (A-B), *Afropollis* (C-D), *Gnetaceaepollenites* (M-N); Tétradede *Classopollis* (I-J); Aglomerado de esporos (G-H); Microplâncton de água doce: *Botryococcus* (O-P), *Pediastrum* (Q-R), *Scenedesmus* (U-V), Zigósporo (W-X) e *Tetraedron* (A₂–B₂); Microplâncton Marinho: *Subtilisphaera* (S-T e Y-Z); Zoomorfo: Palinoforaminífero (C₂-D₂).

6.3 Tratamento estatístico dos dados

Para selecionar os componentes da matéria orgânica utilizados na análise de agrupamento foi aplicado o método de Correlação de Spearman ($p < 0,05$) e as variáveis escolhidas foram aquelas que apresentaram índice de correlação maior que $\rho = 0,5$. Foram observadas correlações entre o subgrupo Fitoclasto Opaco com Fitoclasto Não Opaco Não Bioestruturado (0,68). A MOA Vegetal correlacionada com COT (0,5). Os Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados possuindo correlação com Cutícula (0,73); Membrana (0,62); Esporomorfos (0,53) e Microplâncton de Água Doce (0,65) (Tabela 3).

Para a determinação do grau de similaridade entre as amostras, foram utilizados os valores de abundância relativa dos componentes selecionados pelo método acima. Os subgrupos trabalhados foram: MOAs (Vegetal, Fitoplanctônica e MOA), Fitoclastos Opacos, Fitoclastos Não Opacos (Bioestruturados e Não Bioestruturados), Cutículas, Membranas, Esporomorfos, Dinocistos, Microplancton de Água Doce, Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre (S). A tabela 4 apresenta as abundâncias relativas dos componentes utilizados na análise estatística, bem como a distribuição dos grupos e associações em que estão inseridas cada uma das amostras.

Quatro associações de palinofácies (A, B, C e D) foram determinadas pela análise de agrupamento *Modo-R* (Figura 11). A associação de palinofácies A é composta exclusivamente pela MOA Fitoplanctônica. Associação B, por MOA Vegetal, COT e S. Na Associação de palinofácies C, é maior a presença dos componentes de origem continental, como: Microplâncton de água doce (*Botryococcus*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, Zigósporos, *Tetraedron*), Membranas, Esporomorfos, Cutículas e Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados. Nessa associação, estão inclusos os Cistos de Dinoflagelados (Microplâncton Marinho) que ocorrem nas porções mais superiores do testemunho. A associação de palinofácies D, é constituída por MOA, Fitoclastos Não Opacos Não Bioestruturados e Fitoclastos Opacos.

Através da análise no *Modo-Q*, foi possível a identificação de três grupos amostras (G1, G2, G3). Para uma melhor visualização, o agrupamento G3 ainda foi subdividido em G3 (a) e G3 (b), como ilustrado na figura 12.

Tabela 4: Correlação pelo método de Spearman utilizadas na análise estatística.

Spearman Rank Order Correlations (PLANILHA_LAMINAS_MONOGRAFIA)															
MD pairwise deleted															
Marked correlations are significant at p <.05000															
Variable	OP Total	BIO total	FNB total	CutTotal	Mem	Resina/Hialina	Espom total	Mar	Doce	MOAvegetal	MOA fitoplanctônica	Moa (moa)	C (%)	S (%)	RI (%)
OP Total	1.000000														
BIO total	0.179558	1.000000													
FNB total	0.682398	0.422386	1.000000												
CutTotal	0.095335	0.730034	0.252785	1.000000											
Mem	0.205042	0.628459	0.448690	0.675875	1.000000										
Resina/Hialina	0.312315	0.312202	0.391724	0.150361	0.285389	1.000000									
Espom total	0.115256	0.531300	0.211010	0.520679	0.344554	0.008400	1.000000								
Mar	-0.108488	0.368406	-0.023406	0.409631	0.143185	-0.226263	0.458155	1.000000							
Doce	0.028579	0.656883	0.303366	0.629965	0.635438	0.229050	0.499991	0.381927	1.000000						
MOAvegetal	-0.431457	-0.286800	-0.363401	-0.182038	-0.442770	-0.318159	-0.040529	0.028085	-0.091277	1.000000					
MOA fitoplanctônica	-0.364831	-0.026467	-0.402186	0.048263	-0.183905	-0.406947	0.326101	0.304907	-0.033770	-0.117831	1.000000				
Moa (moa)	0.296852	0.006643	0.387182	-0.146364	0.023967	0.151628	-0.269561	-0.174970	-0.152835	-0.438573	-0.253289	1.000000			
C (%)	-0.666354	-0.268293	-0.576629	-0.223950	-0.437554	-0.246013	-0.100798	-0.128942	-0.320370	0.477842	0.306873	-0.400415	1.000000		
S (%)	-0.495708	-0.227580	-0.453253	-0.085812	-0.355656	-0.205499	-0.096199	0.030952	-0.176078	0.373050	0.289705	-0.415211	0.721951	1.000000	
RI (%)	0.356570	0.393191	0.424810	0.219814	0.374334	0.211102	0.074440	0.014307	0.113165	-0.658458	-0.025344	0.479933	-0.531561	-0.646978	1.000000

Tabela 5: Abundâncias relativas dos subgrupos da matéria orgânica particulada utilizados para a análise estatística e resultados da análise estatística para cada amostra.

Estratigrafia	Profundidade	Amorfo (%)			Fitoclasto (%)					Palinomorfo (%)			Geoquímica		Estatística			
		MOA Vegetal	MOA Fitoplânctônica	MOA	Não opaco				Continentais		Marinhos	COT	S	Grupos (MODO-Q)	Associações de polinoácies (MODO-R)			
					Opaco	Bioestruturado	Não Bioestruturado	Cutícula	Membrana	Grãos de Pólen e Esporo						Algas (marinhas)		
										Esporomorfo	Botryococcus + Pediastrum + Scenedesmus + Zigosporo + Tetraedrum						Dinocisto	
Formação Romualdo	4,20	21,24	0,00	0,00	9,80	9,80	5,56	1,96	9,80		8,50		7,52	25,16	0,37	0,05	G3(b)	C+B
	10,00	21,28	0,00	0,00	6,74	32,27	6,74	6,74	3,55		16,31		3,19	3,19	0,39	0,24		C
	12,40	6,38	2,68	0,00	4,70	48,32	1,34	3,36	0,67		18,79		4,70	8,05	0,53	0,19	C+A	C
	15,00	10,30	21,26	0,00	1,66	29,90	15,61	2,33	1,99		5,98		2,66	8,31	0,35	0,19		C
	17,40	0,64	47,60	0,00	0,00	28,43	0,96	0,32	1,92		14,06		5,75	0,00	0,46	0,17	G1	C+B
	20,00	5,07	40,20	0,00	0,00	37,50	2,36	2,70	2,03		8,78		0,68	0,68	2,88	0,27		C
	53,10	40,82	13,61	0,00	10,88	27,55	2,04	1,70	0,00		3,40		0,00	0,00	2,40	0,15	G1	C+B
	54,40	82,89	0,99	0,00	3,95	5,92	3,62	0,00	0,00		2,30		0,33	0,00	3,69	3,92		B
	55,20	0,00	89,91	0,00	0,95	3,15	0,32	0,32	0,95		4,42		0,00	0,00	4,60	0,58	G2	A
	57,00	0,00	77,46	0,00	6,35	3,49	4,76	0,00	0,00		6,35		0,00	1,27	1,51	0,32		A
	58,00	6,09	85,26	0,00	1,60	1,60	2,56	0,00	0,32		2,56		0,00	0,00	4,52	0,52	G1	B
	59,25	96,15	0,00	0,00	0,32	0,00	1,60	0,00	0,00		1,92		0,00	0,00	5,37	0,54		C
60,90	93,67	0,00	0,00	0,67	2,33	1,33	0,00	0,00		1,67		0,00	0,00	8,28	1,28	G3(b)	C	
62,50	12,23	0,00	0,00	16,21	20,18	11,62	3,98	9,79		21,41		3,06	0,00	0,30	0,03		C+B	
63,30	22,74	0,00	0,00	25,08	22,07	12,71	1,67	6,69		9,03		0,00	0,00	0,82	0,06	G1	C	
64,50	94,22	0,00	0,00	1,02	1,70	2,04	0,00	0,00		1,02		0,00	0,00	4,20	0,74		C	
66,00	0,00	0,00	0,00	24,67	20,39	18,75	2,30	5,59		1,97		1,32	0,00	0,57	0,53	G3(b)	B	
67,00	3,31	0,00	0,00	18,87	4,30	5,30	0,33	0,33		3,31		0,00	0,00	0,53	1,37		C	
69,40	76,77	0,00	0,00	6,77	5,81	4,84	0,32	0,00		0,97		1,94	0,00	1,72	1,59	G1	C	
77,00	94,87	0,00	0,00	0,37	0,37	2,56	0,00	0,37		1,47		0,00	0,00	1,10	0,26		B	
79,60	93,56	0,00	0,00	0,61	1,84	1,84	0,00	0,00		2,15		0,00	0,00	6,39	1,87	G2	A+B	
86,60	36,10	47,28	0,00	1,60	0,96	7,67	0,00	0,00		4,79		0,64	0,00	1,20	0,10		B	
88,00	79,13	0,00	0,00	0,93	3,74	0,93	0,00	0,00		0,93		0,00	0,00	4,35	0,31	G1	B	
92,00	0,00	91,48	0,00	1,26	1,26	0,32	1,26	1,58		2,84		0,00	0,00	0,95	0,30		A	
96,00	0,00	0,00	32,21	44,17	3,37	19,33	0,00	0,31		0,61		0,00	0,00	0,15	0,04	G3(a)	D	
108,30	1,30	0,00	0,00	10,71	3,25	3,90	0,32	75,97		0,00		4,55	0,00	0,21	0,09		C	
110,40	0,00	0,00	73,40	18,59	1,28	6,73	0,00	0,00		0,00		0,00	0,00	0,13	0,01	G3(a)	D	
113,60	5,54	0,00	0,00	0,98	19,22	7,17	0,65	60,59		0,98		1,30	0,00	1,06	0,37		C	
123,50	5,43	0,00	0,00	14,06	27,16	36,10	4,47	5,43		9,58		2,24	0,00	0,38	0,19	G3(b)	C	
125,80	4,14	0,00	0,00	10,95	28,99	19,23	0,30	14,50		13,31		5,92	0,00	0,48	0,15		C	
128,85	4,52	0,00	56,45	6,45	9,35	14,19	0,65	1,61		2,58		0,00	0,00	0,37	0,13	G3(a)	D	
130,30	59,81	0,00	0,00	12,86	8,36	13,18	0,00	0,00		4,82		0,32	0,00	0,61	0,09		B	
131,20	97,12	0,00	0,00	0,64	0,64	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00	0,00	0,55	0,05	G1	B	
137,30	0,00	0,00	0,00	0,32	79,94	4,85	2,59	8,09		0,00		1,62	0,00	1,37	0,10		C	
138,80	0,00	0,00	0,00	75,08	4,59	10,82	0,00	0,66		1,64		0,00	0,00	0,26	0,07	G3(a)	D	
143,00	0,62	0,00	0,00	13,89	27,78	13,27	2,16	6,17		14,51		3,09	0,00	0,55	0,04		C	
147,50	0,00	0,00	45,25	9,51	14,75	11,80	0,66	2,95		3,93		2,62	0,00	0,71	0,12	G3(a)	D	
150,60	0,00	0,00	9,58	4,79	48,88	12,46	0,32	14,38		3,83		1,92	0,00	0,57	0,04		C	
153,70	0,00	0,00	0,00	81,49	5,84	5,84	0,00	1,30		4,22		0,00	0,00	0,23	0,02	G3(a)	D	
159,65	0,00	0,00	16,20	57,32	9,66	13,08	0,00	0,93		0,62		0,00	0,00	0,22	0,08		D	

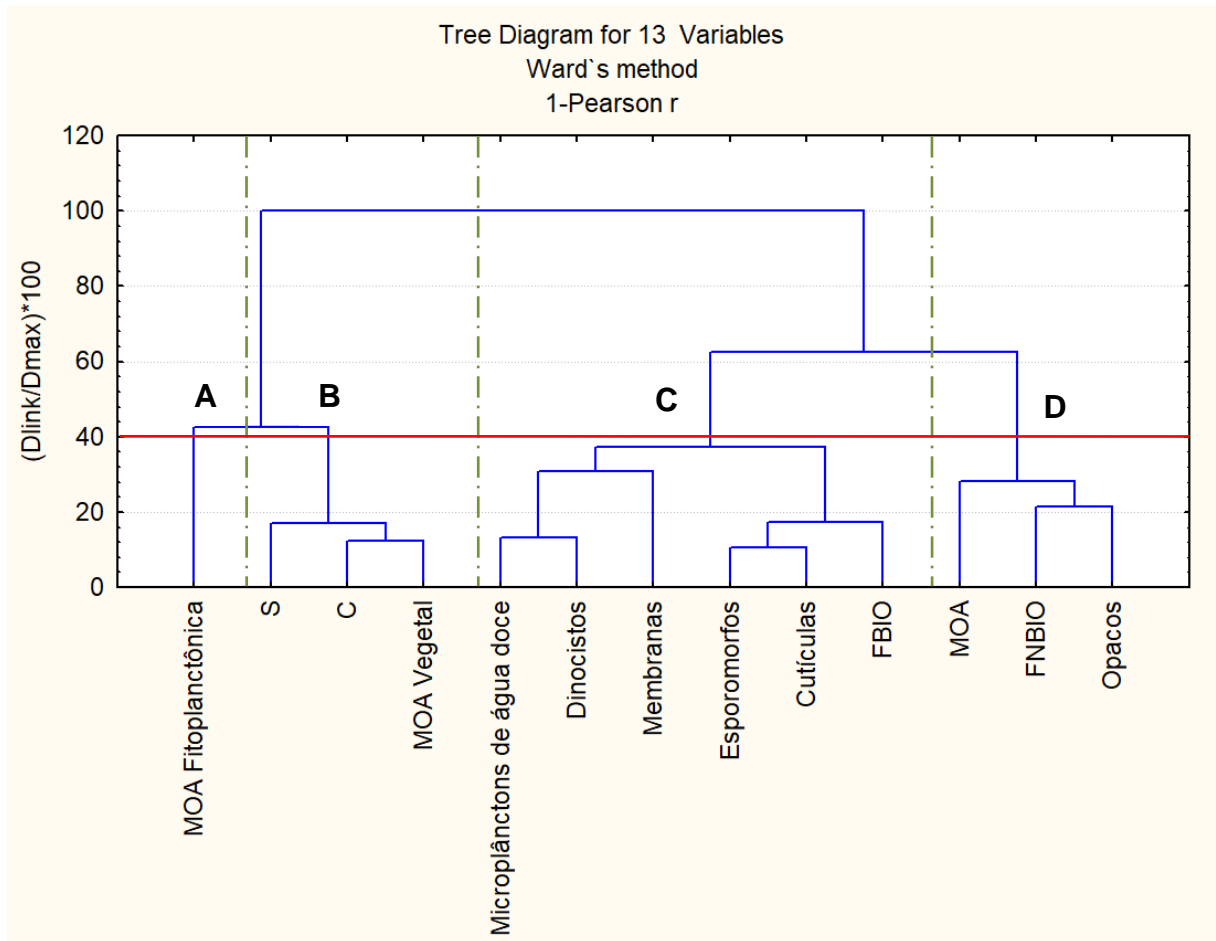


Figura 11: Dendrograma com as associações de palinofácies (A, B, C e D) e os subgrupos da matéria orgânica particulada referente a cada uma das associações.

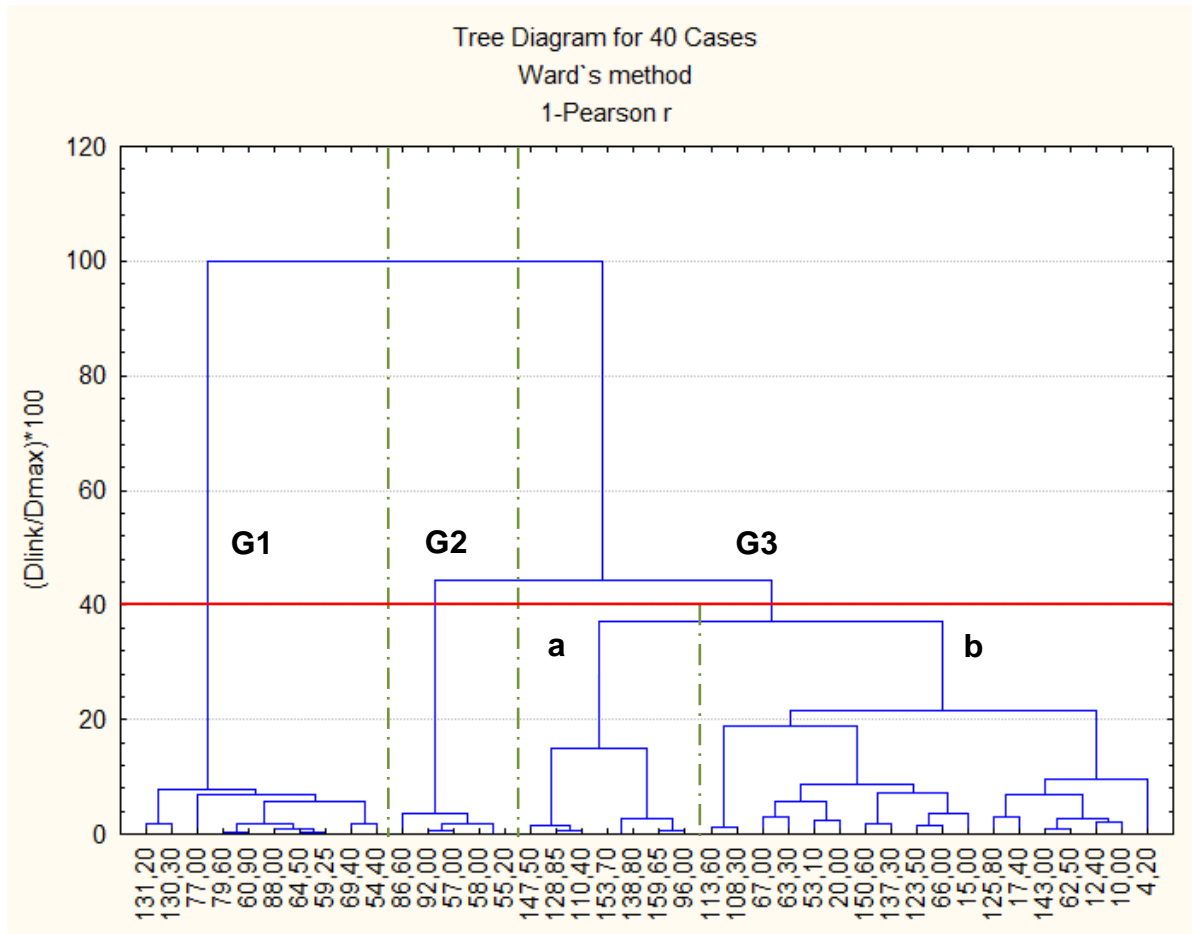


Figura 12: Dendrograma com os agrupamentos (G1, G2, G3) das amostras do testemunho.

O agrupamento G1 é caracterizado pela associação de palinofácies B: MOA Vegetal (59,81 a 97,12%), como o mais abundante dessa associação; COT (0,55 a 8,28%) e S (0,05 a 3,92%). É mais representativo na porção intermediária do perfil, contudo ocorre pontualmente na porção inferior e superior do testemunho.

O agrupamento G2 está inserido nas porções mais medianas do testemunho, sendo representado pela associação de palinofácies A. Essa possui como único constituinte a MOA Fitoplanctônica, variando entre 47,28 e 91,48%.

O agrupamento G3 reúne o maior número de amostras e conseqüentemente o maior número de elementos da matéria orgânica particulada associados. Para um melhor entendimento, o agrupamento foi dividido em G3(a) e G3(b) (Figura 12). No subagrupamento G3(a) predomina a associação D, cujos representantes, em ordem decrescente de abundância são: Fitoclastos Opacos (6,45 a 81,49%), MOA (0,00 a 73,40%) e Fitoclastos Não Opacos Não Bioestruturados (5,84 a 19,33%).

O subagrupamento G3(b) está representado pela associação de palinofácies C: Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados (0,96 a 36,10%), Membranas (0,00 a

75,97%), Dinocistos (0,00 a 25,16%) que ocorrem especialmente na porção superior do testemunho, Esporomorfos (0,00 a 21,41%), Microplâncton de água doce (0,00 a 7,52%) e Cutículas (0,32 a 6,74%). É importante ressaltar que na amostra 57,00 (inclusa no agrupamento G2) além da associação A, ocorre de forma restrita a associação C, devido à presença de dinocistos (tabela 3).

Através dos agrupamentos *Modo-R* e *Modo-Q*, foi possível a determinação de sete intervalos estratigráficos (I, II, III, IV, V, VI e VII) no perfil (Anexo II)

7 DISCUSSÃO

7.1 Origens da matéria orgânica amorfa

Todo o material do grupo Amorfo foi dividido, de acordo com sua possível origem, em MOA Vegetal, MOA Fitoplanctônica e MOA. As duas primeiras, ocorrem com mais frequência ao longo do testemunho e a MOA (de origem indeterminada) é mais abundante na base do mesmo.

A MOA Vegetal foi assim classificada, baseando-se em duas variedades de matéria orgânica amorfa, que ainda preservavam algumas características de seus componentes precursores. Tais características incluíram formatos e estruturas que se não observadas com atenção poderiam passar despercebidas. Os Fitoclastos foram atribuídos como a origem da primeira variedade de MOA vegetal, pois essas possuíam extremidades que ainda preservavam algum tipo de contorno parcialmente definido (arestas ou vértices), junto com uma textura mais plana, partículas geralmente densas e com fluorescência moderada. As MOAs Vegetais que apresentam estruturas internas, com padrões definidos, foram associadas à Cutículas. Algumas destas apresentam fluorescência e são menos densas que as de origem de fitoclastos. Outras não apresentam fluorescência e as estruturas são mais proeminentes e densas. Nesse caso, as cutículas estariam associadas a tecidos mais internos das folhas. Teixeira *et.al.* (2017), também definiu duas variações (MOA fina e MOA espessa) para a Formação Romualdo, baseado-se nas mesmas características, sendo os fitoclastos não opacos e as cutículas, as principais fontes da MOA Vegetal.

A MOA Fitoplanctônica foi assim definida por apresentar-se como partículas coesas com fluorescência alta, extremidades e contornos difusos e às vezes pontiagudos (TYSON, 1995). Em algumas amostras é possível notar a “amorfização” de algas de água doce, como na estampa 2 (E-F) (*Pediastrum* sendo amorfizado), o que corrobora para a determinação da sua origem como sendo de micróplâncton de água doce. Em MLBT são no geral bem delgadas, sendo mais aparentes apenas em modo fluorescência.

A MOA, cuja origem não é identificada, apresenta fluorescência alta, não possui formas ou contornos definidos. Possui partículas diminutas de fitoclastos associados a ela e possíveis inclusões de pirita e no geral são densas. Esse tipo de MOA ocorre na base do perfil apenas (Formação Barbalha e até a porção intermediária da Formação Crato). E pode ser oriunda de retrabalhamento de

material em momentos de maior anoxia associada a condições mais redutoras, corroborado por TYSON (1993, 1995).

7.2 Agrupamentos com predomínio dos componentes amorfos

Os agrupamentos G1 e G2 apresentam predominância de componentes do grupo amorfo.

O agrupamento G1 é constituído por valores elevados de MOA Vegetal, Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre (S). Segundo Mendonça Filho (2012) elevados percentuais de MOA, oriundas de partes de vegetais superiores, geralmente estão associados a altos valores de COT. É exatamente o que acontece com as amostras que contém MOA Vegetal desse agrupamento. Seus maiores valores estão diretamente relacionados com valores médios a altos de COT, como mostra a tabela 2. A elevada quantidade de material orgânico amorfo, geralmente está associada a condições redutoras, em ambientes com baixa circulação de oxigênio na porção mais profunda da lâmina d'água, podendo ou não estar associada a áreas com alta produtividade primária (TYSON, 1993; MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2010b). Segundo Tyson (1993), em bacias com deficiência em oxigênio que possuem alta preservação de MOA, materiais terrestres alóctones só são dominantes e representativos na proximidade de fontes fluvio-deltáicas ou em turbiditos. Nesse sentido, a MOA Vegetal, associada aos valores consideráveis de COT, S e à litoestratigrafia, nos remetem a um ambiente proximal, em um contexto redutor, possivelmente com estratificação da coluna d'água.

O agrupamento G2 apresenta apenas a MOA de variedade Fitoplanctônica, como elemento em sua associação de palinofácies. Como dito anteriormente, sua origem está relacionada à palinomorfos continentais, nesse caso especificamente as algas dos gêneros *Pediastrum* e *Scenedesmus*. Essas algas estão principalmente relacionadas a ambientes lagunares de baixa salinidade, com significativa profundidade de lâmina d'água, em climas tropicais a subtropicais. Podem também ser encontradas em contextos de eutrofização em lagos anóxicos-disóxicos. (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2010b; MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2017). Nessas amostras, também ocorre a presença de Zigósporos. Para Mendonça Filho *et. al.* (2012) a ocorrência abundante das algas da família Zygnemataceae no registro fossilífero possibilita a inferência de um ambiente não marinho. Apesar das

Zignematáceas habitarem variados tipos de ambientes de água doce, a sua preferência é por ambientes fluviais ou lagunares.

7.3 Agrupamento com predomínio dos componentes continentais.

O agrupamento G3 inclui a maior parte dos subgrupos da análise de palinofácies, especialmente os componentes de forte origem continental, exceto pela ocorrência de microplâncton de origem marinha, que nesse caso possivelmente estão relacionados à incursão marinha de idade aptiana (Teixeira *et.al.*, 2017) também registrada em outras bacias da margem leste brasileira.

Apesar dos dendrogramas terem sido cortados em 40%, para efeito de melhor visualização e análise, o agrupamento G3 foi subdividido em G3(a) e G3(b) (figuras 11 e 12).

O subagrupamento G3(a), tem como componentes os Fitoclastos Opacos, MOA e Fitoclastos Não Opacos Não Bioestruturados.

Os Fitoclastos Opacos sugerem condições e maior dinamismo, baixa taxa de deposição remetendo a ambientes de maior energia. Segundo Tyson (1993, 1995) ocorre a oxidação de componentes devido ao transporte prolongado, comprovado pela presença de fitoclastos corroídos. Esses elementos são derivados de vegetais superiores e geralmente são mais resistentes por terem maior porcentagem de lignina (TYSON, 1993, 1995; MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2017).

A MOA está relacionada a ambientes de menor energia, geralmente em condições redutoras e com anoxia.

Os Fitoclastos Não Opacos Não Bioestruturados ocorrem com maior abundância nas regiões proximais, especialmente as fluviais, pois tais partículas diluem qualquer outra (fitoclastos, palinomorfos ou matéria orgânica amorfa) que venha a se depositar nesses locais. (TYSON, 1995, MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2010b, TEIXEIRA *et. al.*, 2017).

O subagrupamento G3(b) tem entre seus constituintes os Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados, Membranas, Dinocistos, Esporomorfos, Microplâncton de Água Doce e Cutículas. A maioria dos elementos desse agrupamento está vinculada a um contexto continental. Os Fitoclastos Não Opacos Não Bioestruturados dentro da tendência de preservação indicada por Mendonça Filho *et. al.*, (2010b) estão relacionados ao aumento das condições redutoras, de preservação com diminuição da degradação, se comparados aos Fitoclastos Opacos.

A presença de Esporomorfos, Cutículas e Membranas direcionam para áreas bem próximas à flora de origem. Tyson (1993) relaciona a variedade de grãos de pólen e esporos, a climas quentes. Espécies dos gêneros *Classopollis*, *Afropollis*, *Cicatricosisporites* e *Cyathidites* são reportados para essa área (Teixeira *et. al.*, 2017 e Neumann *et.al.*, 2003). Grãos de pólen do gênero *Classopollis* junto com cutículas atribuídas à família *Cheirolepidiaceae*, onipresente na região segundo Neumann *et. al.* (2003), com estômatos bem preservados remetem a uma condição de aridez como destacado por Alvin (1982). Esse autor também diz que algumas espécies dessa família de gimnospermas podem estar associadas às algas de água doce, tanto em lagos ou rios, associação essa que pode ser observada no agrupamento G3(b).

Dentre os microplânctons de água doce, os de maior representatividade são os gêneros *Pediastrum* e *Scenedesmus*, porém o gênero *Botryococcus* também se faz presente em algumas amostras. Os três gêneros podem ocorrer juntos, porém os primeiros estão relacionados a um ambiente lagunar, no geral, com maior lâmina d'água (7 metros) e baixa salinidade, enquanto que o *Botryococcus* tem uma maior resistência em relação à salinidade suportando condições momentaneamente hipersalinas. (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2010b).

Os cistos de algas marinhas estão representadas pelo gênero *Subtilisphaera* e estão praticamente restritos ao topo do testemunho. Mesmo não sendo relacionadas aos componentes continentais, essas algas segundo Arai & Coimbra (1990) estão associadas à incursão marinha de idade Aptiana, que teria ocorrido através de pulsos que concederam a condição mixohialina ao ambiente.

7.4 Interpretação paleoambiental dos intervalos estratigráficos

Através da análise conjunta do perfil litoestratigráfico e das análises geoquímicas, foram estabelecidos sete intervalos estratigráficos (I, II, III, IV, V, VI e VII), selecionados a partir das variações dos componentes orgânicos particulados, com o intuito de fazer uma reconstrução paleoambiental baseada na preservação seletiva (tendência proximal-distal) e sedimentação seletiva (condições hidrodinâmicas) (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO *et.al.*, 2010b) (Anexo II).

Intervalo I

A estratigrafia desse intervalo abrange a Formação Barbalha, presente na base do testemunho até os primeiros metros da base da Formação Crato.

É formado por intercalações de pacotes métricos de arenito com siltitos, e folhelhos delgados, sendo estes mais presentes no topo da Formação Barbalha. São encontradas também camadas centimétricas a métricas de calcário e outras litologias com percentuais consideráveis de carbonato (calcarenito e calcilutitos), especialmente na porção inserida na Formação Crato. Esse intervalo possivelmente está inserido no contexto do segundo ciclo fluvial definido por Assine (2007), que se finaliza com a deposição dos carbonatos da base da Formação Crato.

Nele são predominantes às associações C e D. Entre os componentes dessas associações, ocorre uma alternância de abundância especialmente entre os Fitoclastos (Não Opacos Bioestruturados e Opacos) e a MOA. Nos momentos de maior variedade de Fitoclastos Não Opacos (Bioestruturados, Não Bioestruturados), Cutículas e Membranas seriam relacionadas a uma condição de maior energia, com entrada de água, com a presença de algas de água doce e maior aporte sedimentar. A presença de Fitoclastos Não Opaco Não Bioestruturados e os Não Opacos Bioestruturados, segundo a tendência apresentada por Mendonça Filho *et.al.* (2010b), são característicos de um ambiente intermediário. As partículas desses subgrupos apresentam-se no geral degradadas e fragmentadas estariam indicando transporte intenso.

Os momentos de predominância de Fitoclastos Opacos e MOA, seriam relacionados a um ambiente restrito, de calmaria, sem a entrada de água e de componentes orgânicos de origem continental. Isso pode indicar uma sazonalidade na precipitação, bem como, uma alternância entre ciclos secos e úmidos, como citado por Teixeira *et. al.* (2017). Nos períodos mais úmidos, ocorre a entrada de água junto com Fitoclastos, Cutículas e Membranas. Nos momentos mais secos e, em condições anóxicas, predominam os Fitoclastos Opacos mais resistentes à degradação e amorfização, e a MOA.

Intervalo II

Abrange litologias de rochas siliciclásticas de granulometria fina (siltito e argilito-síltico) com laminação plano-paralela, localizadas na base da Formação Crato.

Está representado apenas pela associação de palinofácies B, onde apenas duas amostras estão inseridas. Esse intervalo marca uma mudança brusca nas taxas de aporte sedimentar e entrada de água que praticamente cessam (não existe ou é mínima a quantidade de Fitoclastos e Microplâncton de água doce). As

porcentagens de MOA Vegetal são bastante elevadas, diluindo os fitoclastos, o que poderia indicar uma condição redutora e anóxica. Na amostra do topo do intervalo II ocorre uma diminuição da porcentagem de MOA Vegetal, um pequeno aumento dos Fitoclastos e a ocorrência de Esporomorfos.

Intervalo III

Formado por uma alternância entre a predominância de siltitos e arenitos. Os arenitos no geral apresentam laminação plano-paralela e estratificação cruzada de baixo ângulo. Calcilitos e Calcarenitos aparecem no meio do intervalo, também com laminações plano paralelas. Esse intervalo abrange predominantemente a porção intermediária da Formação Crato.

Em relação aos tipos de associações, é semelhante ao intervalo I (associações C e D), representando possíveis ciclos secos e úmidos (TEIXEIRA *et.al.*, 2017), porém existem diferenças nas abundâncias dos componentes, que fazem com que esse seja classificado como um novo intervalo. As principais diferenças são em relação à porcentagem de membranas, bem maiores do que no intervalo I, quando estão associadas àqueles momentos de maior entrada de água e aporte sedimentar (pela diversidade e quantidade de fitoclastos), bem como uma maior lâmina d'água (devido à espessura dos siltitos e presença de Microplânctons de água doce, principalmente *Pediastrum* e *Scenedesmus*) e com proximidade com a área fonte (devido à presença massiva das Membranas).

Porcentagens pequenas de MOA Vegetal podem indicar uma estratificação da coluna d'água, proporcionando condições anóxicas e redutoras possibilitando a amorfização principalmente de Membranas e Fitoclastos, como já observado por Neumann (1993).

Esse ambiente também possui momentos de menor perturbação, com pouca ou nenhuma entrada de água (diminuição da abundância e variedade de fitoclastos, preservação de componentes refratários). Com alguma taxa de evaporação e a restrição à circulação de água, esse ambiente estaria sob condições redutoras, o que favorece a preservação da matéria orgânica amorfa, nesse caso especialmente da MOA.

Intervalo IV

Esse intervalo ocorre no topo da Formação Crato e base da Formação Ipubí. É caracterizado na base por espessos pacotes de arenitos com estruturas diversas (estratificações plano paralelas e cruzadas, marcas de corrente, escorregamentos)

apresentando ainda em sua base pacotes de granulometria mais fina (argilito-síltico) e também camadas centimétricas de calcilutitos. No topo do intervalo, já no contexto da Formação Ipubí, ocorre à predominância de argilitos-sílticos com estruturas diagenéticas (boxwork, cimento calcífero, vênulos de calcita). O destaque nessa porção vai para as camadas de gipsita, que possuem espessuras que vão desde centímetros a poucos metros.

As associações presentes são A e B. Na base do intervalo observa-se ainda uma pequena influência da entrada de água no ambiente. Pode ser considerado um ambiente intermediário-distal devido à diminuição drástica tanto da quantidade quanto da variedade de Fitoclastos (Mendonça-Filho *et al.*, 2010b). Cutículas e Membranas são escassas ou não aparecem. A presença de MOA Fitoplanctônica pode estar associada a uma mortalidade de algas de água doce devido a uma mudança nas condições de salinidade do ambiente. Os Esporomorfos se apresentam em pequenas porcentagens e são especialmente Grãos de Pólen, o que corrobora para a interpretação de afastamento da área fonte. No topo, a preservação da matéria orgânica amorfa se torna dominante. As altas porcentagens (principalmente de MOA Vegetal) estão associadas a altos valores de COT, e vinculadas a um momento de maior salinidade. Segundo o perfil litoestratigráfico é nessa porção que também ocorrem os pacotes de litologias oriundas de evaporitos, que indicam uma maior taxa de evaporação. Assine (2007), através de observações mineralógicas, de natureza e geometria dos pacotes de evaporitos, sugere que esse ambiente teria condições deposicionais semelhantes ao das salinas no sul da Austrália, que não possuem conexão com o mar, não sendo muito extensas, com camadas de poucas dezenas de metros de evaporitos.

Intervalo V

Está contido em parte da porção superior da Formação Ipubí. Litologicamente é formado por uma intercalação de argilitos-sílticos e calcilutitos (com cimento calcífero, vênulos de calcita) intervalados com camadas centimétricas de arenito (contendo marcas de corrente e laminações ondulares) ao longo de todo o intervalo. Na base existe uma camada de poucos centímetros de calcarenito.

A associação C é predominante com ocorrência restrita da associação B na porção intermediária desse intervalo. Aparentemente ocorre uma nova influência de águas continentais, isso porque voltam a ocorrer consideráveis porcentagens e variedades de fitoclastos, especialmente Opacos e Não Opacos Bioestruturados não

degradados. A MOA Vegetal tem considerável diminuição de abundância, mas ainda se faz presente. Os esporomorfos estão presentes ao longo de todo o intervalo, porém apresentam maiores porcentagens no topo. Os arenitos ocorrem associados a esses momentos de maior influência continental, um possível indicativo de aumento no aporte de sedimentos. Existe uma quebra nessa influência continental, à profundidade de 64,50m, onde os fitoclastos praticamente desaparecem, a MOA Vegetal volta a ser predominante e o COT apresenta valores bastante elevados (associação B).

Intervalo VI

Os folhelhos são predominantes nesse intervalo. Na base, pertencente ao topo da Formação Ipubí, é possível encontrar uma camada de poucos centímetros de siltito, sobreposta por um pacote de um metro de gipsita. O pacote de folhelho acima dessa gipsita contém delgadas camadas de calcilutito, calcarenito e calcário na base, e arenito, calcário e siltitos ao topo (base da Formação Romualdo). Estruturas como laminações plano-paralelas, estratificações cruzadas de baixo ângulo são encontradas nos folhelhos e litologias ricas em carbonatos.

As associações A e B compõem esse intervalo. As condições são semelhantes às do intervalo IV. Nas duas primeiras amostras da base, predominam condições de maior salinidade e aridez (gipsita), com restrições a entrada de água. A porção intermediária do intervalo pode ter sido submetida a novo aporte de águas e sedimentos continentais (devido ao pequeno aumento nas porcentagens e diversidade de fitoclastos). Porém, as condições de salinidade não são favoráveis para microplânctons de água doce, o que pode explicar as altas porcentagens de MOA Fitoplanctônica. Outro fator que indica um aumento de salinidade é o primeiro registro de cistos de dinoflagelados do gênero *Subtilisphaera* na amostra de 57,00m, que possuem representantes que podem se adaptar aos ambientes de baixa salinidade ou mixohalinos (ARAI & COIMBRA, 1990). Ainda segundo esses autores o gênero *Subtilisphaera* é característico de incursão marinha que ocorreu de forma variável. A presença dessas algas nesse intervalo foi interpretada como sendo um primeiro pulso dessa incursão. A presença de camadas de evaporitos (gipsita e calcário) no perfil litoestratigráfico também corroboram para essa interpretação de um ambiente mais salinizado.

No topo do intervalo, a condição de salinidade ainda permanece, porém de forma mais branda, com possibilidade de ter ocorrido alguma influência de águas

continentais, o que explica o pequeno aumento nas porcentagens de fitoclastos, esporomorfos e a presença de poucos microplânctons de água doce, nesse caso da família Zignemataceae.

Intervalo VII

O intervalo VII está totalmente inserido na Formação Romualdo. É caracterizado da base (aproximadamente 53m) até 23,10m por pacotes de espessuras consideráveis de arenito fino, mais espessos na base e mais delgados em direção ao topo, seguido de intercalação entre folhelhos e siltitos com restrita presença de camadas centimétricas de marga e argilito síltico no topo. Nos arenitos da base do intervalo são encontradas laminações plano-paralelas, estratificações cruzadas de baixo ângulo e estruturas maciças. Nos folhelhos do topo do testemunho, podem ser observadas laminações onduladas, laminações lenticulares e estrutura maciça, fósseis de bivalves, detritos vegetais e ainda estruturas diagenéticas (cimento calcífero e alguns tipos de concreções).

Esse intervalo mostra uma contribuição considerável dos componentes continentais, prioritariamente pelos componentes da associação C (principalmente dos Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados) com ocorrências intercaladas, entre os componentes da associação A (MOA Fitoplanctônica) e B (MOA Vegetal).

Entre os Fitoclastos Não Opacos Bioestruturados os mais representativos são dos tipos listrados e perfurados que segundo a tendência de preservação de Mendonça Filho *et. al.*, (2012b), indica um ambiente com aumento da oxidação, degradação e diminuição da preservação. Os Esporomorfos estão representados principalmente por *Cicatricosisporites* e *Classopollis*. A preservação das MOAs é predominante nas amostras mais basais, corroborando para a interpretação de um pequeno aumento de energia e de condições mais oxidantes em direção ao topo do intervalo. As algas marinhas aparecem juntamente com algas de água doce, o que seria possível se o ambiente estivesse sobre condições de baixa salinidade com considerável espessura de lâmina d'água. Existe uma interrupção entre os registros de dinocistos, na base e no topo do intervalo. No topo do testemunho, os dinocistos são de pequeno tamanho e estão aglomerados, ocorre também a presença de palinoforaminíferos. Essa interpretação foi baseada nos resultados e discussões apresentados no trabalho de Arai & Coimbra (1990), que evidencia a coexistência entre palinomorfos marinhos e continentais, especialmente em relação ao gênero *Subtilisphaera* (que para esses autores marca a incursão marinha na região).

8 CONCLUSÃO

A partir da realização das análises de palinofácies, organogeoquímicas e aplicação de elementos estatísticos ao intervalo amostral do testemunho 1-PS-11-CE, foi possível dividir o perfil, em sete intervalos tendo como parâmetro as variações quantitativas e qualitativas entre os componentes orgânicos particulados.

Foram determinados os seguintes paleoambientes com base nos intervalos: O Intervalo I foi interpretado como um ambiente lagunar de pequenas proporções, próximo a uma fonte fluvial, em um contexto anóxico-disóxico. Os momentos de maior anoxia e condições redutoras, se relacionariam aos períodos de estiagem, onde se preservariam a MOA e os fitoclastos mais refratários (Opacos). Nos períodos mais úmidos, esse ambiente sofreria aporte de águas da fonte fluvial vizinha, trazendo uma maior diversidade e quantidade de componentes entre eles fitoclastos (Opacos e Não Opacos), cutículas, membranas, esporomorfos e microplânctons de água doce.

O Intervalo II mostra uma mudança brusca nas abundâncias dos subgrupos da matéria orgânica. A contribuição de águas continentais cessa ou se torna mínima (diminuição drásticas das abundâncias relativas de fitoclastos), há o predomínio da MOA Vegetal que dilui os fitoclastos. Foi interpretado como um momento de estabilização de um ambiente lacustre. A pequena porcentagem de esporomorfos no topo do intervalo, com a diminuição da MOA Vegetal, pode estar relacionado a uma transição entre os intervalos I e III.

A interpretação do Intervalo III está relacionado a um contexto lagunar de grandes proporções, com relativa proximidade (proximal-intermediário) da área fonte (fitoclastos não degradados), com variações de maior e menor aporte de águas continentais e sedimentos, com espessa lâmina d'água e possível estratificação da coluna d'água.

Para o Intervalo IV, foi definida a interpretação de um ambiente lagunar intermediário-distal, próximo à costa, sem ligação com o mar, possivelmente em clima semi-árido a árido (assim definido a partir dos tipos de grãos de pólen e esporos - *Afropollis*, *Classopollis*, *Cicatricosisporites* –presentes em ambientes mais secos), com processo de evaporação intenso com deposição de sais (principalmente gipsita).

No Intervalo V, foi observada uma pequena influência de águas continentais dentro do contexto lacustre costeiro, na base e topo desse intervalo. Esse pequeno

aporte pode ter ocasionado um espessamento da coluna d'água e a tornou menos salina, talvez concomitante a uma diminuição da taxa de evaporação, a ponto de terem sido identificadas diminutas porcentagens de algas como *Scenedesmus* e *Pediastrum*. Na porção intermediária do intervalo, ocorre quebra nessa influência continental, um período de maior aridez e salinidade, com alta taxa de evaporação (litologias ricas em carbonato) e sob condições redutoras e anóxicas, evidenciadas pelas altas porcentagens de MOA Vegetal, COT e S.

O Intervalo VI foi interpretado como sendo um ambiente lacustre costeiro, com variações de salinidade, ainda com certo aporte de águas e sedimentos continentais. A principal diferença nesse intervalo é o primeiro registro de microplâncton marinho.

Por fim, o último intervalo estratigráfico, o Intervalo VII, foi interpretado como um ambiente lagunar bem próximo à linha costa com abertura para o mar, possibilitando a influência periódica de águas oceânicas, a partir de incursão marinha em forma de pulsos com presença de dinocistos e palinoforaminíferos.

Através desse modelo de determinação paleoambiental, a partir da análise dos componentes orgânicos particulados, foi possível determinar a ocorrência de incursão marinha, evidenciada na porção superior do testemunho 1-PS-11-CE. Contudo, se faz necessário um estudo mais aprofundado e de correlação com outros poços da área, para propor um modelo regional para Bacia do Araripe.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIN, K.L. (1982). **Cheirolepidiaceae: biology, structure and palaeoecology. Review Palaeobotany and Palynology.** Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam – Printed in The Netherlands, 37, 71– 98.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (2008). **Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods.** ASTM International.

ARAI, M.; COIMBRA, J. C. (1990). **Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe).** Simpósio Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, v. 1, 225-240. Crato: DNPM.

ASSINE, M. L. (1990). **Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil).** Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, 124 pp.

ASSINE, M. L. (1992). **Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, 22, 289-300.

ASSINE, M. L. (1994). **Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, 24(4), 1-10.

ASSINE, M. L. (2007). **Bacia do Araripe**. Boletim de Geociências da Petrobras, 15(2), 371-389.

ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; ANDRIOLLI, M. C.; NEUMANN, V. H.; MESCOLOTTI, P. C.; VAREJÃO, F. G. (2014). **Sequências Depositionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. Boletim de Geociências da Petrobras, 22: 3–28.

BARDOLA, T.P. (2015). **Caracterização paleoambiental dos carbonatos microbiais do Membro Crato, Formação Santana, Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe**. Dissertação (Mestrato). Porto Alegre: Instituto de Geociências – UFRGS.

BEURLEN, K. (1962). **A geologia da Chapada do Araripe**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 34(3): 365–370.

BEURLEN, K. (1963). **Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe**. 17º Congresso Brasileiro de Geologia. Suplemento. SBG/Sudene, Recife, pp. 1–47.

BEURLEN, K. & MABESOONE, J.M. (1969). **Bacias cretácicas intracratônicas do Nordeste do Brasil**. Notícias Geomorfológicas, v. 9, n. 18, p. 19-34.

BEURLEN, K. (1971). **As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil)**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 43, Suplemento, p. 411-415.

BEURLEN, K. (1971b). **A paleontologia na geologia do Cretáceo no Nordeste do Brasil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 43 (suplemento): 89–101.

COMBAZ, A. (1964). **Les palynofaciès**. Revue de Micropaléontologie, 7: 205-218.

HASHIMOTO, A. T.; APPI, C. J.; SOLDAN, A. L.; CERQUEIRA, J. R. (1987). **O neo-Alagoas nas bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 118-122.

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, p. 113 – 118.

MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J.O.; OLIVEIRA, A. D., CARVALHO, M. A.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T. (2010b). **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, *et.al.*; (2017). **ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter Integrating and reflected light microscopy**. GFZ, Potsdam, Germany.

NEUMANN, V. H. (1999). **Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptienses-Albienses de lá Cuenca de Araripe (Nororeste do Brasil)**. 233 f. Tese (Doutorado) Universidade de Barcelona, Barcelona.

NEUMANN, V.H.; CABRERA, L. (1999). **Uma nueva proposta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil.** Boletim do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, pp. 279–285.

NEUMANN, V. H.; BORREGO, A. G.; CABRERA, L.; DINO, R. (2003). **Organic matter composition and distribution through the Aptian-Albian lacustrine sequences of the Araripe Basin, Northeastern Brazil.** International Journal of Coal Geology, 54, 21-40.

NEUMANN, V. H.; ASSINE, M. L. (2015). **Stratigraphic proposal to Post-Rift I Tectonic-Sedimentary Sequence of Araripe Basin, Northeastern Brazil.** Abstract. 2nd International Congress on Stratigraphy. . Berichte des Institutes für Erdwissenschaften der Universität Graz, Áustria. pp. 274.

OLIVEIRA, A. D.; MENDONÇA FILHO, J. G.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T.; FREITAS, A. G.; MENEZES, T. R.(2006). **Inovação no processamento químico para isolamento da Matéria Orgânica Sedimentar.** In: Congresso Brasileiro de Geologia,43.,2006, Aracaju. Anais... Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia- Sergipe. p. 324.

PONTE, F.C., APPI, C.J. (1990). **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe.** 36º Congresso Brasileiro de Geologia. Anais. SBG, Natal-RN, pp. 211– 226.

QUADROS, L.P. (1975). **Organopalinologia na prospecção de petróleo.** Rio de Janeiro. Boletim Técnico da Petrobras, 18(1):3-11.

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>, Acesso em 26/10/2019.

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.

SILVA, M. A. M.(1986). **Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 306-310, 1986.

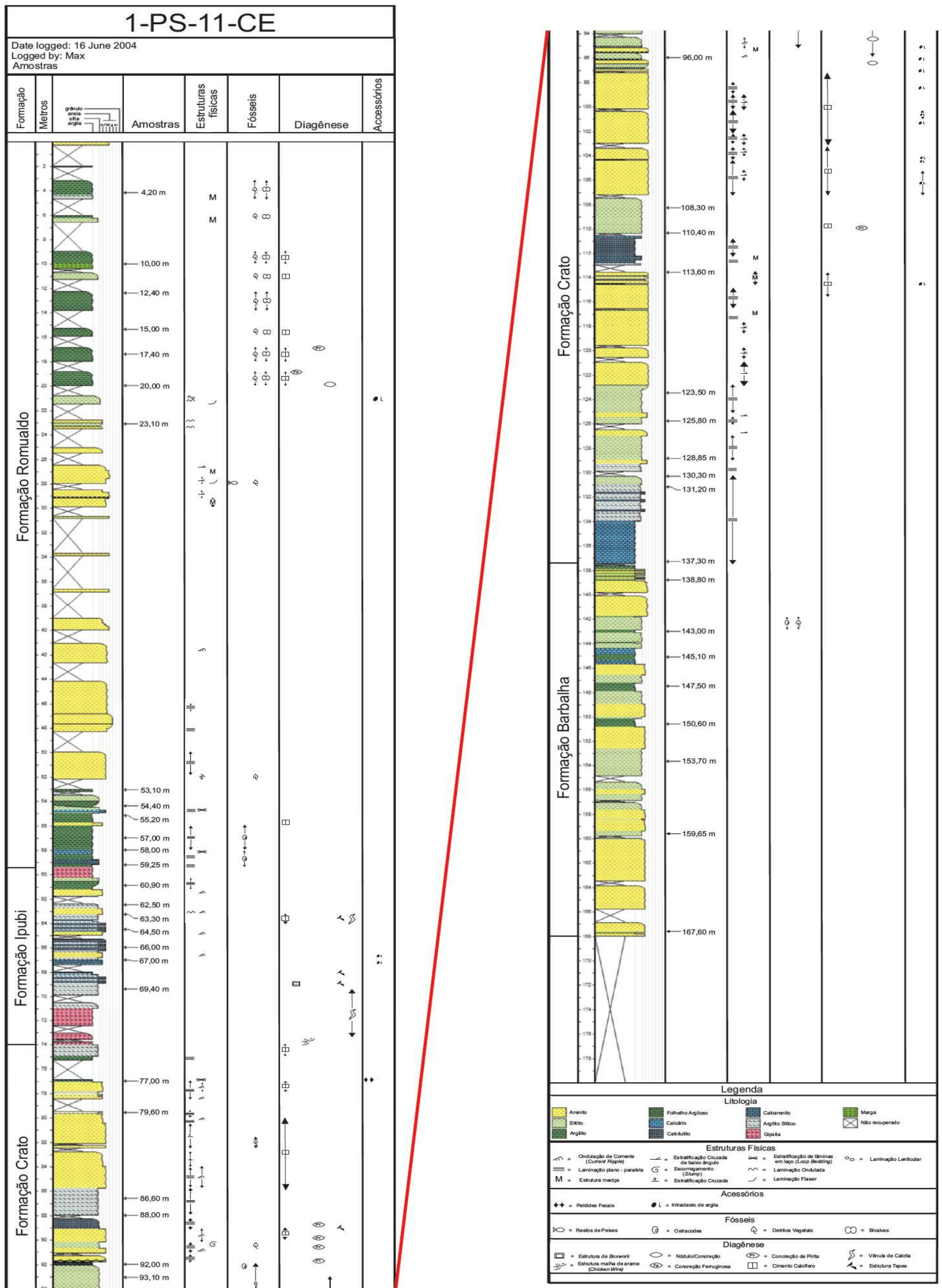
Tyson, R.V. (1989). **Late Jurassic palynofacies trends, Piper and Kimmmeridge Clay Formations, UK onshore and northern North Sea.** In: Northwest European Micropalaeontology and Palynology, Batter, D.J., Keen, M.C. (Eds.), The British Micropalaeontological Society Series, Ellis Horwood, Chichester, pp. 135-172.

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

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

ANEXOS

ANEXO A: Perfil completo do poço, com posicionamento das amostras em profundidade



ANEXO B: Perfil litoestratigráfico e gráficos de linha dos subgrupos da matéria orgânica utilizados na análise estatística para separação os intervalos.

