



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

VALQUÍRIA VERÔNICA DA SILVA

**ANÁLISE DE PALINOFÁCIES DA FORMAÇÃO MARACANGALHA, CRETÁCEO
INFERIOR, BACIA DO RECÔNCAVO: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS**

Recife
2023

VALQUÍRIA VERÔNICA DA SILVA

**ANÁLISE DE PALINOFÁCIES DA FORMAÇÃO MARACANGALHA, CRETÁCEO
INFERIOR, BACIA DO RECÔNCAVO: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre(a) em Geociências. Área de concentração: Geociências. Linha de pesquisa: Paleontologia.

Orientadora: Profa. Dra. Elenise Katia Piovesan

Coorientador: Prof. Dr. Claus Fallgatter

Recife

2023

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Valquíria Verônica da.

Análise de palinofácies da Formação Maracangalha, Cretáceo Inferior, Bacia do Recôncavo: Implicações paleoambientais / Valquíria Verônica da Silva. - Recife, 2023.

47f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Geociências, 2023.

Orientação: Elenise Katia Piovesan.

Coorientação: Claus Fallgatter.

Inclui referências.

1. Análises de afloramentos; 2. Matéria orgânica sedimentar; 3. Sistema deposicional. I. Piovesan, Elenise Katia. II. Fallgatter, Claus. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

VALQUÍRIA VERÔNICA DA SILVA

**ANÁLISE DE PALINOFÁCIES DA FORMAÇÃO MARACANGALHA, CRETÁCEO
INFERIOR, BACIA DO RECÔNCAVO: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre(a) em Geociências. Área de concentração: Geociências. Linha de pesquisa: Paleontologia.

Aprovada em: 20/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Enelise Katia Piovesan (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Marcelo de Araújo Carvalho (Examinador Externo)
Museu Nacional do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Rodolfo Dino (Examinador Externo)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dedico este trabalho aos meus pais (Verônica e José), irmãos e a toda minha família e amigos que me ajudaram em toda essa minha jornada. Dedico também aos meus filhos felinos que estiveram comigo em todos os momentos de alegria e tristeza no decorrer do trabalho, em especial à Galego que se foi antes de finalizar o trabalho, mas que esteve sempre comigo me dando muito amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Verônica e José, por terem me cedido a vida e por sempre fazer de tudo por mim e pelos meus irmãos, sempre nos apoiando e incentivando.

Aos meus irmãos, Branca, Ilma, Sandra, Alberis e Adjailson, por sempre cuidar de mim e me apoiar nas minhas decisões. Também Camila e Sandra por me acolherem no Recife como se eu fosse da família. E a todos os meus familiares que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui.

A minha orientadora Profa. Dra. Enelise Katia Piovesan, pela oportunidade de realizar esse trabalho. Pela orientação, sempre me ajudando, tirando minhas dúvidas e me apoiando no trabalho.

Ao Juan Vallejo, por também me orientar em todas as etapas do meu trabalho e me ajudar na realização do mesmo. Por ter tido toda paciência em me ensinar sobre a palinologia.

Ao meu coorientador Claus Fallgatter pela coorientação e ajudar nas minhas dúvidas sobre sedimentologia.

Aos pesquisadores Dra. Deise Silveira e Prof. Dr. Fernando Vesely pela parceria e coautoria no desenvolvimento do artigo que compõem essa dissertação.

Aos meus colegas de laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LMA) por toda ajuda, troca de conhecimentos diários e cafés tomados. E a todos os meus colegas que conheci durante o curso, por todas as experiências vividas.

Ao programa de Pós-graduação em Geociências (PPGEOC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) que em parceria com a Universidade Federal do Paraná (UFPR), na pessoa do Professor Fernando Vesely, concedeu as amostras para realização deste estudo.

A PETROBRAS (Projeto: "Bioestratigrafia de alta resolução e paleoambientes das bacias do Araripe, Tucano Norte e Jatobá, projeto n. 2019/00280-0) pelo suporte financeiro fornecido durante a realização deste projeto.

Por fim, obrigada a todos que contribuíram de alguma forma em toda minha jornada no curso e na vida.

RESUMO

O estudo da matéria orgânica sedimentar é de grande importância, pois através desse tipo de análise podem ser realizadas inferências sobre o tipo de querogênio presente nas rochas sedimentares, sobre o paleoambiente deposicional, além de outros parâmetros. O presente trabalho teve como objetivo avaliar e classificar a matéria orgânica sedimentar na Formação Maracangalha (Bacia do Recôncavo, Cretáceo Inferior) e inferir o paleoambiente deposicional. A análise foi realizada a partir de 21 amostras coletadas nos afloramentos denominados Manguinhos, Gameleira, Praia da Falha e Penha. Para a preparação das amostras, foram empregadas técnicas que consistem na utilização de ácido clorídrico (HCl) e fluorídrico (HF) para a eliminação da fração mineral. Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas das partículas orgânicas, além de análise de agrupamento com base nas características das partículas encontradas. As partículas orgânicas foram agrupadas em: matéria orgânica amorfa (MOA) (fina, espessa e pseudomorfa); fitoclastos opacos (equidimensional, alongado e corroído); fitoclastos não opacos (não bioestruturados e bioestruturados); e palinórfos (grãos de pólen e esporos). Foi possível a individualização de quatro palinofácies distintas. A palinofácies I (PI) é composta por uma alta abundância de fitoclastos não opacos (51,22%), seguidos por palinórfos (23,61%), no afloramento Praia da Falha. A palinofácies II (PII) apresenta uma alta abundância de fitoclastos não opacos (71,67%), seguidos pelos fitoclastos opacos (12%), no afloramento Penha. A palinofácies III (PIII) é composta por uma alta abundância de MOA (48,07%), seguida por fitoclastos opacos (32,6%), ocorrendo no afloramento Manguinhos. A palinofácies IV (PIV) também apresenta uma alta abundância de MOA (47,05%), seguida de fitoclastos não opacos (28,76%), ocorrendo no afloramento Gameleira. De acordo com as associações de matéria orgânica sedimentar, sugere-se um cenário lacustre (também corroborado pela literatura), com partículas de origem continental. As palinofácies indicam um sistema deposicional fortemente controlado por influência flúvio-deltaica. No geral, os afloramentos da Praia da Falha e da Penha sugerem assentamento das partículas próximo da fonte de deposição num ambiente de alta energia. A predominância de fitoclastos não opacos indica deposição em condições óxicas, provavelmente nas margens do lago. Nos afloramentos de Gameleira e Manguinhos, o predomínio de OMA sugere deposição afastada da fonte

deposicional em ambiente de baixa energia, com condições subóxico-anóxicas, depositado em área mais distal do sistema lacustre.

Palavras-chave: Análises de afloramentos; matéria orgânica sedimentar; sistema deposicional.

ABSTRACT

The study of sedimentary organic matter is of great importance, because through this type of analysis inferences can be made about the type of kerogen present in the sedimentary rocks, about the depositional paleoenvironment, as well as other parameters. The aim of this study was to evaluate and classify the sedimentary organic matter in the Maracangalha Formation (Recôncavo Basin, Lower Cretaceous) and infer the depositional paleoenvironment. The analysis was carried out using 21 samples collected from the Manguinhos, Gameleira, Praia da Falha and Penha outcrops. The samples were prepared using techniques consisting of hydrochloric acid (HCl) and hydrofluoric acid (HF) to remove the mineral fraction. Qualitative and quantitative analysis of the organic particles was carried out, as well as grouping analysis based on the characteristics of the particles found. The organic particles were grouped into: amorphous organic matter (AOM) (fine, thick and pseudomorphous); opaque phytoclasts (equidimensional, elongated and corroded); non-opaque phytoclasts (non-biostructured and biostructured); and palynomorphs (pollen grains and spores). It was possible to identify four distinct palynofacies. Palynofacies I (PI) is composed of a high abundance of non-opaque phytoclasts (51.22%), followed by palynomorphs (23.61%), in the Praia da Falha outcrop. Palynofacies II (PII) shows a high abundance of non-opaque phytoclasts (71.67%), followed by opaque phytoclasts (12%) at the Penha outcrop. Palynofacies III (PIII) is composed of a high abundance of MOA (48.07%), followed by opaque phytoclasts (32.6%), occurring in the Manguinhos outcrop. Palynofacies IV (PIV) also shows a high abundance of MOA (47.05%), followed by non-opaque phytoclasts (28.76%), occurring in the Gameleira outcrop. According to the associations of sedimentary organic matter, a lacustrine setting is suggested (also corroborated by the literature), with particles of continental origin. The palynofacies indicate a depositional system that is strongly controlled by a fluvio-deltaic influence. Overall, the Praia da Falha and Penha outcrops suggest settlement of the particles close to the depositional source in a high-energy environment. The predominance of non-opaque phytoclasts, indicate deposition under oxic conditions probably on the shores of the lake. In the Gameleira and Manguinhos outcrops, the predominance of AOM suggest deposition away from the depositional source in a low-energy environment, with suboxic-anoxic conditions, deposited in a more distal area of the lacustrine system.

Keywords: Outcrop analysis; sedimentary organic matter; depositional system

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	SISTEMAS LACUSTRES.....	12
1.2	PALINOFÁCIES.....	14
1.3	IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS NA BACIA DO RECÔNCAVO.....	17
1.4	OBJETIVOS	18
1.4.1	Objetivo Geral	18
1.4.2	Objetivos Específicos	18
2	CONTEXTO GEOLÓGICO.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	SEÇÕES ESTUDADAS.....	25
3.2	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	26
3.3	ANÁLISE DE PALINOFÁCIES.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
4.1	ARTIGO 1 - PALYNOFACIES ANALYSIS OF A LACUSTRINE SUCCESSION: THE MARACANGALHA FORMATION (LOWER CRETACEOUS), RECÔNCAVO BASIN, BRAZIL.....	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação foi desenvolvida conforme as normas do Programa de Pós-graduação em Geociências da UFPE e se apresenta na forma de um artigo científico intitulado “*Palynofacies analysis in lacustrine systems in the Maracangalha Formation (Lower Cretaceous), Recôncavo Basin, Brazil: Paleoenvironmental implications*”. Na Introdução (tópico 1), apresenta-se uma breve revisão sobre os sistemas lacustres, estudos da matéria orgânica sedimentar e uso das palinofácies. O tópico 2 compreende a caracterização da área de estudo, ressaltando aspectos referentes ao contexto geológico e a estratigrafia da Bacia do Recôncavo, com apresentação da carta estratigráfica. O tópico 3 apresenta o material e metodologia empregada no trabalho. O tópico 4 apresenta os Resultados e Discussões da dissertação na forma de um artigo,”. Por fim, no tópico 5, têm-se as conclusões do trabalho.

1.1 SISTEMAS LACUSTRES

Um lago é um corpo de água parada, não marinha, que se forma onde há o abastecimento de água para uma baixa topográfica na superfície terrestre (Prothero e Schwab, 1996; Nichols, 2009). São encontrados geralmente em regiões de depressão tectônica como rift grabens, depressões glaciais, crateras de meteoritos, entre outros (Prothero e Schwab, 1996). Apresentam sensibilidades às alterações climáticas, sendo bons indicadores de paleoclima continental, e variações abruptas das fácies sedimentares em sequências verticais (Talbot e Allen., 1978).

Os lagos são alimentados principalmente por rios (que fornecem água e sedimentos) ou águas subterrâneas, e perdem água pela evaporação e/ou escoamento do rio. O equilíbrio entre a entrada e saída da água e a taxa de evaporação, controlam o nível e a química da água no lago (Nichols, 2009). Segundo Talbot e Allen (1978), a regulação da dinâmica física e química dos lagos e suas interações, é controlada em grande parte pelas diferenças na densidade da água, que determina a estratificação dos lagos. Os lagos estratificados termicamente geralmente apresentam: Uma camada superior denominada de epilímnio, que é quente e oxigenada; e uma camada inferior mais fria denominada hipolímnio, que pode ser anóxica favorecendo a preservação da matéria orgânica do fundo do lago. Essa preservação depende das taxas de produtividade orgânica, das condições anóxicas do fundo ou de uma combinação das duas.

Do ponto de vista sedimentológico, Nichols (2009) considera que há três tipos de lagos: Os lagos de água doce, que apresenta baixa salinidade, baixo abastecimento de íons dissolvidos e são hidrologicamente abertos ou fechados; os lagos salinos, que são hidrologicamente fechados e apresenta corpos de água perenes com alta concentração de íons dissolvidos; e os lagos efêmeros, que ocorrem principalmente em ambientes com clima árido, são corpos de água temporários que se formam após grandes tempestades na área de influência.

Os rios são os responsáveis pela maior parte dos sedimentos depositados nos lagos, seja em suspensão ou como carga de fundo e a natureza e o tamanho das bacias de drenagem circundantes exercem uma grande influência na entrada desses sedimentos (Talbot e Allen., 1978). Muitos lagos antigos são grandes o suficiente para produzir padrões semelhantes aos das sequências marinhas. Podendo por exemplo, ter correntes de turbidez, e formação de depósitos deltaicos lacustres, sendo esses de escala menor quando comparados aos seus análogos marinhos (Prothero e Schwab, 1996). As características dos depósitos de ambientes lacustres são controladas por fatores que controlam a profundidade e o tamanho da bacia, o fornecimento de sedimentos ao lago e o equilíbrio entre o abastecimento e a perda de água através da evaporação (relacionada com o clima). Assim, por exemplo, se o clima for úmido um lago será hidrologicamente aberto e seus depósitos são caracterizados pela acumulação tanto nas margens, onde os sedimentos são fornecidos aos deltas e praias, e em águas profundas, através das correntes de suspensão e turbidez (Nichols, 2009).

O preenchimento sedimentar das antigas bacias lacustres pode ser dividido em quatro associações principais de fácies: dominada por clásticos, evaporitos, carbonatos, ou por matéria orgânica (Talbot e Allen., 1978). Sendo a areia e a lama os componentes mais comuns dos depósitos lacustres (Nichols, 2009). As fácies lacustre rasas apresentam características semelhantes aos depósitos lagunares, com areias onduladas intercaladas com lamas, depositadas em suspensão. E os ambientes mais profundos do lago se assemelham aos dos mares com profundidades semelhantes ou maiores, que incluem depósitos de suspensão e turbiditos. Um dos critérios que distinguem entre as fácies marinhas e lacustres, são as diferenças entre os organismos e habitats existentes nesses ambientes. (Nichols, 2009).

1.2. PALINOFÁCIES

O termo palinofácies foi introduzido pela primeira vez por Combaz (1964), que a descreve como uma associação total de constituintes da matéria orgânica contida em uma amostra após a remoção da matriz inorgânica pela acidificação com ácidos clorídrico (HCl) e fluorídrico (HF). A análise de palinofácies compreende o estudo da fração particulada da matéria orgânica sedimentar contida em rochas sedimentares, sendo dividida em duas frações, o querogênio (fração da matéria orgânica insolúvel em solventes orgânicos, ou seja, a própria matéria orgânica sedimentar) e o betume (matéria orgânica solúvel em solventes orgânicos) (Mendonça Filho et al., 2010).

O objetivo do estudo das palinofácies consiste em integrar todos os aspectos das associações dos componentes orgânicos, tais como: a identificação dos componentes palinológicos individuais, a classificação dos grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada e a determinação das proporções relativas atentando para a dimensão, forma e o estado de preservação. A subdivisão criteriosa em categorias, com o principal objetivo de identificar qualquer variação quantitativa relacionada aos principais controles na distribuição da matéria orgânica, permite utilizar tais fatores para a determinação do significado paleoambiental (Mendonça Filho et al., 2010).

A análise de palinofácies preservadas em registo sedimentar é de grande importância devido à sua abordagem interdisciplinar, que é útil para estabelecer o conteúdo da matéria orgânica contida em sedimentos e rochas sedimentares, fornecendo interpretações paleoambientais (por exemplo, Carvalho et al., 2006, 2013, Silva et al., 2013; Trindade et al., 2015; Portela et al., 2016; Teixeira et al., 2017; Crud et al., 2017; Gonzalez et al., 2019; Amaral et al., 2020; Vallejo et al., 2023). A análise permite a visualização direta dos constituintes do querogênio, avaliando a origem e o estado de preservação da matéria orgânica através de métodos qualitativos e quantitativos. Com base nos autores Tyson (1995) e Mendonça Filho et al. (2010, 2011), pode-se identificar e quantificar os três principais grupos que constituem a matéria orgânica particulada: a matéria orgânica amorfa (MOA), fitoclastos e palinomorfos. A MOA são as partículas orgânicas microscópicas sem estruturas proveniente de produtos amorfos derivados de fitoplâncton, bactérias, resinas de vegetais superiores e da diagênese de tecidos macrófagos, podendo ser de origem marinha ou não marinha. Os fitoclastos são fragmentos de tecidos derivados de plantas ou fungos e sua autofluorescência depende do tecido

derivado. Podem ocorrer fitoclastos translúcidos (não opacos) ou pretos (opacos). Os fitoclastos não opacos referem-se às partículas de coloração marrom, laranja ou amarela, provenientes de plantas terrestres ou hifas de fungos. Os fitoclastos opacos são representados pelas partículas pretas e incluem todos os tecidos lenhosos oxidados ou partículas carbonizadas derivadas das plantas. Os palinomorfos são todos os microfósseis de paredes orgânicas resistentes ao ataque com ácidos clorídrico e fluorídrico (exemplos: esporos, grãos de pólen, algas, cistos de dinoflagelados) (Quadro 1). Em relação à abordagem sedimentológica, as palinofácies podem fornecer informações sobre os sistemas deposicionais, tais como: determinar a relação proximal-distal com a fonte sedimentar (através de fitoclastos e palinomorfos), condições dióxicas-anóxicas (MOA) a óxicas, identificar tendências regressivas e transgressivas na estratigrafia de seqüências e distinguindo ambientes deposicionais (Tyson, 1995).

Quadro 1 – Classificação da matéria orgânica particulada – Grupo MOA, Fitoclastos e Palinomorfos.

GRUPOS E SUBGRUPOS			ORIGEM	DESCRIÇÃO
MATÉRIA ORGÂNICA AMORFA	"MOA"		Derivado de fitoplâncton ou degradação de bactérias.	Material não estruturado com formato variado; amarelo-laranja-vermelho; laranja-marrom; cinza. Homogêneo; com "speckles"; com inclusões (palinomorfos, fitoclastos, piritita).
	RESINA		Derivado de plantas superiores de florestas tropicais e subtropicais.	Partícula não estruturada, hialina, homogênea, não-fluorescente e arredondada.
	OPACO	Equidimensional		Partícula preta quadrada e sem bioestrutura interna
		Alongado		Partícula preta de forma alongada. Eixo longo três vezes mais do que o eixo curto. Sem bioestrutura interna.
		Corroído		Partícula de cor preta com contornos difusos e irregulares.
FITOCLASTO	NÃO OPACO	Não bioestruturado	Derivados de tecidos lenhosos de plantas superiores ou fungos	Partícula marrom sem bioestruturas
		Bioestruturado		Partícula marrom bioestruturada (estriado, listrado, bandado, etc.)
		Cutícula		Partículas amarelo pálido a marrom claro, delgadas, alguns casos com estômatos visíveis.
		Membranas		Partículas amarelo pálido, comumente transparente.
		Hifa de Fungos	Derivados de fungos	Filamentos individuais do micélio da fase vegetativa dos fungos.
		Esporos	Palinomorfo terrestre produzido por pteridófitas, briófitas e fungos.	Palinomorfo de forma em geral triangular ou circular, usualmente apresentando a marca trilete ("Y") ou monolete (I). Ornamentação variada.
PALINOMORFOS	ESPOROMORFOS	Grãos de pólen	Palinomorfo terrestres produzidos por plantas gimnospermas e angiospermas.	Palinomorfos com morfologia complexa a simples; usualmente esférico à subesférico; com vários tipos de ornamentação; aberturas podem estar presentes.
		Palinoforaminífero	Parede ("forro") interna de foraminíferos bentônicos.	Parede interna quitinosa; marrom; câmaras menores muitas vezes mais escuras.
	ZOOMORFOS	Escolecodonte	Partes do aparelho bucal de alguns vermes poliquetos (maioria marinha).	Aparelho bucal em forma de "dente" constituído de quitina, marrom escuro; tamanho 100-1000 µm.
	FITOPLÂNCTON	Acrítarcos	Pequenos microfósseis de origem desconhecida.	Microfósseis com várias formas e esculturas que lembram dinoflagelados. Apresentam uma cavidade central fechada por uma parede com uma camada simples ou por múltiplas camadas; Tamanho 5-240 µm.
		Dinoflagelados	Restos dos cistos produzidos durante a parte sexual do ciclo de vida da Classe Dinophyceae.	Principal característica é a paratabulação que divide a teca e o cisto em placas retangulares ou poligonal separadas por suturas. Três principais morfologias: proximados, cavados e corados; muitas vezes com uma abertura (arqueópilo) através do qual ocorre o encistamento.
		Prasinófitas	Microfósseis produzidos por pequenas algas quadriflageladas.	Maioria, como <i>Tasmanites</i> , são esféricos; diâmetro 50 à 2000 µm.
		Algas Chlorococcales	Algas exclusivamente de água doce (<i>Botryococcus</i> e <i>Pediastrum</i>).	<i>Botryococcus</i> : colônias globular irregular; tamanho 30 à 2.000 µm, algumas vezes com vários lóbulos; laranja-marrom. <i>Pediastrum</i> : algas verdes coloniais, radialmente simétricas; tamanho 30-200 µm em diâmetro e com um ou 2 chifres no anel mais externo das células. Células internas podem ser de forma irregular com espaços entre elas ou compactadas.

Fonte: Modificado de Silva (2017) e de Mendonça Filho et al. (2010).

A elevada percentagem de MOA em relação ao querogênio total resulta de um ambiente com uma elevada taxa de preservação e condições de baixa energia. Este fato pode ser interpretado como um ambiente redutor ou, pelo menos, temporariamente disóxico a anóxico e está relacionado com uma elevada produtividade primária (Tyson, 1993). Uma proporção significativa do querogênio total representado por fitoclastos, está principalmente associada a condições de deposição na proximidade da fonte pontual flúvio-deltaica. O principal fator de influência é a distância limitada ao longo da qual as partículas foram transportadas. Outros fatores, incluindo as condições de oxidação e a resistência inerente dos tecidos de revestimento, também estão ligados à proximidade da área de origem (Mendonça Filho et al., 2011). Os fitoclastos opacos são mais resistentes à degradação e podem ser transportados por longas distâncias, sendo encontrados em ambientes mais distais. Os fitoclastos não opacos, por outro lado, estão associados a ambientes mais proximais e são progressivamente degradados à medida que são transportados (Tyson, 1995). Os palinomorfos apresentam as taxas mais baixas dos três grupos principais e a sua incidência é controlada pela MOA e pela diluição dos fitoclastos. Assim, as elevadas percentagens de palinomorfos, dominados por esporomorfos (sobretudo esporos), podem estar associadas a ambientes oxigenados e podem estar relacionadas com a proximidade da vegetação de origem ou com o transporte flúvio-deltaico na bacia. Consequentemente, a MOA apresenta uma percentagem baixa (Tyson, 1993).

1.3 IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS NA BACIA DO RECÔNCAVO

A área estudada faz parte da Bacia do Recôncavo, é constituída por depósitos preenchidos por sedimentos durante o Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior, durante a fase de abertura do Supercontinente Gondwana (Santos e Braga, 1990; Costa, 2007; Silva et al., 2007). É uma das pioneiras na exploração de petróleo, sendo a primeira descoberta do óleo na região em 1939, no Distrito de Lobato na cidade de Salvador (Santos e Braga, 1990) e sua importância na geração de hidrocarbonetos, está relacionada aos depósitos lacustres, que estão representados basicamente folhelhos e arenitos (Magnavita et al., 2005; Bastos, 2017). A maior parte dos dados exploratórios da Bacia do Recôncavo consistem em relatórios internos de empresas petrolíferas. Dentre os trabalhos realizados na bacia que analisam o estudo da matéria orgânica sedimentar, destacam-se: Magacho

(2011); Cerqueda (2014); Portela et al. (2016) e Amaral et al. (2020), que realizaram estudos na Bacia do Recôncavo abordando as condições paleoambientais e geração de hidrocarbonetos, a partir da caracterização geoquímica orgânica e análise de palinofácies nas formações Pojuca, Candeias e Maracangalha.

A Formação Maracangalha (Cretáceo Inferior), foco deste estudo, registra a fase sin-rifte da Bacia do Recôncavo. Seus depósitos consistem basicamente em folhelhos e arenitos de granulação fina (Caixeta et al., 1994; Silva et al., 2007). A natureza dominante de granulação fina dos depósitos da Formação Maracangalha é ideal para a preservação da matéria orgânica sedimentar. A sedimentologia e a bioestratigrafia da Formação Maracangalha, são mais prevalentes na literatura (ex. Guerra, 2002; Coura, 2006; Freire et al., 2017; Amorim, 2018; Britto et al., 2022, 2023; Castro et al., 2023; Silveira et al., 2023), com alguns poucos focando no estudo das palinofácies (e.g., Amaral et al., 2020).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do estudo, é avaliar a matéria orgânica sedimentar e refinar o paleoambiente deposicional da Formação Maracangalha através da análise de palinofácies com base em amostras de afloramento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar os diferentes componentes da matéria orgânica sedimentar;
- Fazer uma análise qualitativa e quantitativa das partículas orgânicas;
- Individualizar as diferentes palinofácies com base na associação das partículas presentes no sedimento;
- Caracterizar o paleoambiente deposicional presente nos afloramentos utilizando análise de palinofácies.

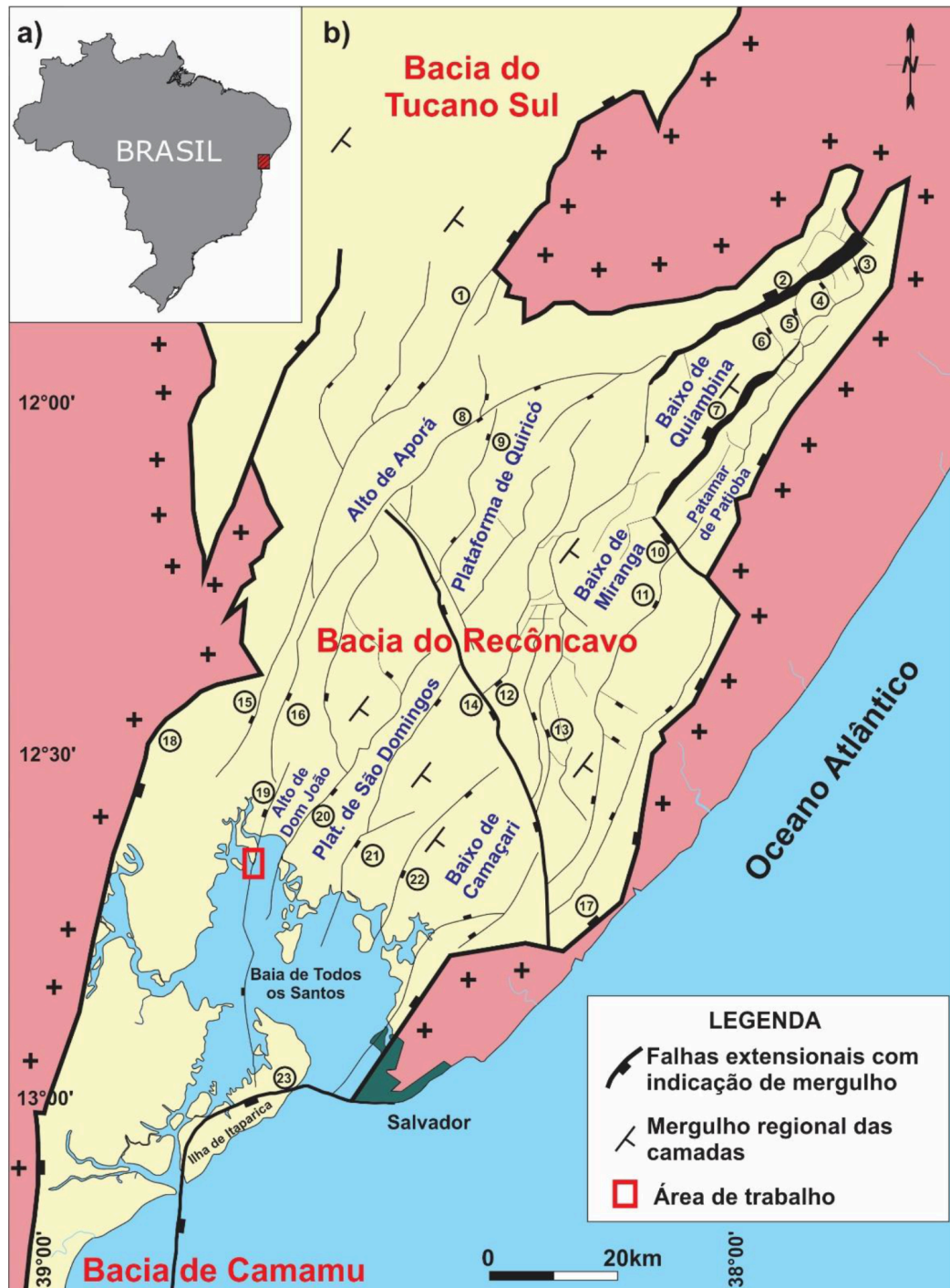
2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Recôncavo está localizada no nordeste do Brasil, no estado da Bahia, ocupando uma área de aproximadamente 11.500 km², e compõem a porção sul do sistema de riftes intracontinentais Recôncavo-Tucano-Jatobá. Tais bacias compreendem um sistema de rifte abortado que foi preenchido por sedimentos do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior, durante a fase de abertura do Supercontinente Gondwana. Seus limites são definidos pelo Alto Aporá, a norte e noroeste; pelo sistema de falhas da Barra, a sul; a oeste pela Falha de Maragogipe; e a leste pelo sistema de falhas de Salvador (Silva et al., 2007) (Figura 1).

Sua arquitetura básica é a de um gráben assimétrico, se alongando na direção NE-SW, com suas camadas mergulhando para SE (Santos e Braga, 1990; Silva et al., 2007). O mergulho regional das camadas para leste é condicionado por falhamentos normais planares com direção preferencial N30°E. Zonas de transferência com orientação N40°W acomodaram taxas de extensão variáveis entre diferentes compartimentos da bacia ao longo de sua evolução (Silva et al., 2007). De acordo com Abrahão e Warme (1990), o campo de tensões responsável pelo rifteamento da Bacia teria atuado entre o Mesojurássico e o Eocretáceo.

Segundo Silva et al. (2007) o embasamento da Bacia do Recôncavo foi desenvolvido sobre o Cráton do São Francisco e é composto predominantemente por gnaisses granulíticos arqueanos do Bloco Serrinha, a oeste e norte; pelos cinturões Itabuna-Salvador-Curaçá, a oeste-sudeste; e Salvador-Esplanada, a Leste-nordeste. Ao Norte, ocorrem também rochas metassedimentares de idade Neoproterozóica, relacionadas ao Grupo Estância.

Figura 1 – (a) Mapa de localização da Bacia do Recôncavo no Brasil. (b) Arcabouço estrutural e principais estruturas da Bacia do Recôncavo, que incluem as falhas de: 1) Inhambuque, 2) Pedras, 3) Fazenda Cajueiro, 4) Fazenda Alvorada, 5) Baixa Grande, 6) Palmeiras, 7) Patioba, 8) Tombador, 9) Sauípe, 10) Itanagra, 11) Pedra do Salgado, 12) Araçás-Boa Esperança, 13) Biriba, 14) Mata-Catu, 15) Orobó, 16) Paranaguá, 17) Salvador, 18) Maragogipe, 19) Capimirim, 20) Nova América, 21) Candeias, 22) Lamarão, 23) Barra.



Fonte: Modificado por Amorim (2018) de Milhomem et al. (2003).

Os depósitos sedimentares mais antigos da Bacia do Recôncavo se iniciam no Paleozóico, e correspondem à unidade permiana da Formação Afligidos (Membros Pedrão e Cazuza). Sendo o Membro Pedrão caracterizado por arenitos, laminitos algais e evaporitos; e o Membro Cazumba, por pelitos e lamitos vermelhos lacustres, com nódulos de anidrita constituído por arenitos sobrepostos por folhelhos vermelhos (Magnavita et al., 2005; Silva et al., 2007). A estratigrafia do Mesozóico da Bacia do Recôncavo (Figura 2) é constituída por depósitos continentais do Supergrupo Bahia e incluem sedimentos com idades entre o Neojurássico e o Eocretáceo, baseados no conteúdo de ostracodes destas rochas (Viana et al., 1971; Magnavita et al., 2005). De acordo com a litologia a bacia é dividida em: Grupo Brotas (Jurássico Superior) composto pelas as formações Aliança e Sergi; Grupo Santo Amaro (Cretáceo Inferior, Berriasiano–Barremiano) com as formações Itaparica, Água grande, Salvador, Candeias e Maracangalha; Grupo Ilhas (Barremiano) com as formações Marfim, Pojuca e Taquipe; Grupo Massacará (Barremiano – Aptiano Inferior) composto pela Formação São Sebastião; A Formação Marizal de idade Neo-alagoas; e por fim a sequência do Neógeno com a Formação Sabiá de idade Miocênica e Grupo Barreiras de idade Pliocênica (Caixeta et al., 1994; Magnavita et al., 2005; Silva et al., 2007).

As sequências sedimentares relacionadas ao preenchimento da bacia ocorreram durante os estágios início de rifte, clímax de rifte e pós-rifte (ver Kuchle et al., 2011). Utilizando novos conceitos de tratos de sistemas tectônicos para a Bacia do Recôncavo, Kuchle e Scherer (2010) consideram a Formação Afligidos como embasamento da bacia, pertencente ao estágio tectônico pré-rifte, e posicionando o Grupo Brotas como sin-rifte (início de rifte).

No início de rifte ocorreram os estágios iniciais de flexura da crosta, que originaram a sequência rifte, e correspondem a três ciclos flúvio-eólico representados pelo Membro Boipeba da Formação Aliança e pelas formações Sergi e Água Grande e transgressões lacustres de caráter regional, correspondendo ao Membro Capianga (Formação Aliança) e a Formação Itaparica (Silva et al., 2007).

A sequência rifte é composta por sistema deposicional flúvio-lacustre, deltaico e leques aluvionares, que compreendem as outras formações do Grupo Santo Amaro, Grupo Ilhas e Formação São Sebastião (Grupo Massacará) (Magnavita et al., 2005; Silva et al., 2007). A seção rifte é marcada pela ativação da grande Falha de Salvador, que foi o elemento tectônico que controlou a subsidência do gráben

(Milani et al., 2007). A Formação Salvador, caracterizada por conglomerados e arenitos, ocorre próxima a esta falha (Caixeta et al., 1994; Milani et al., 2007).

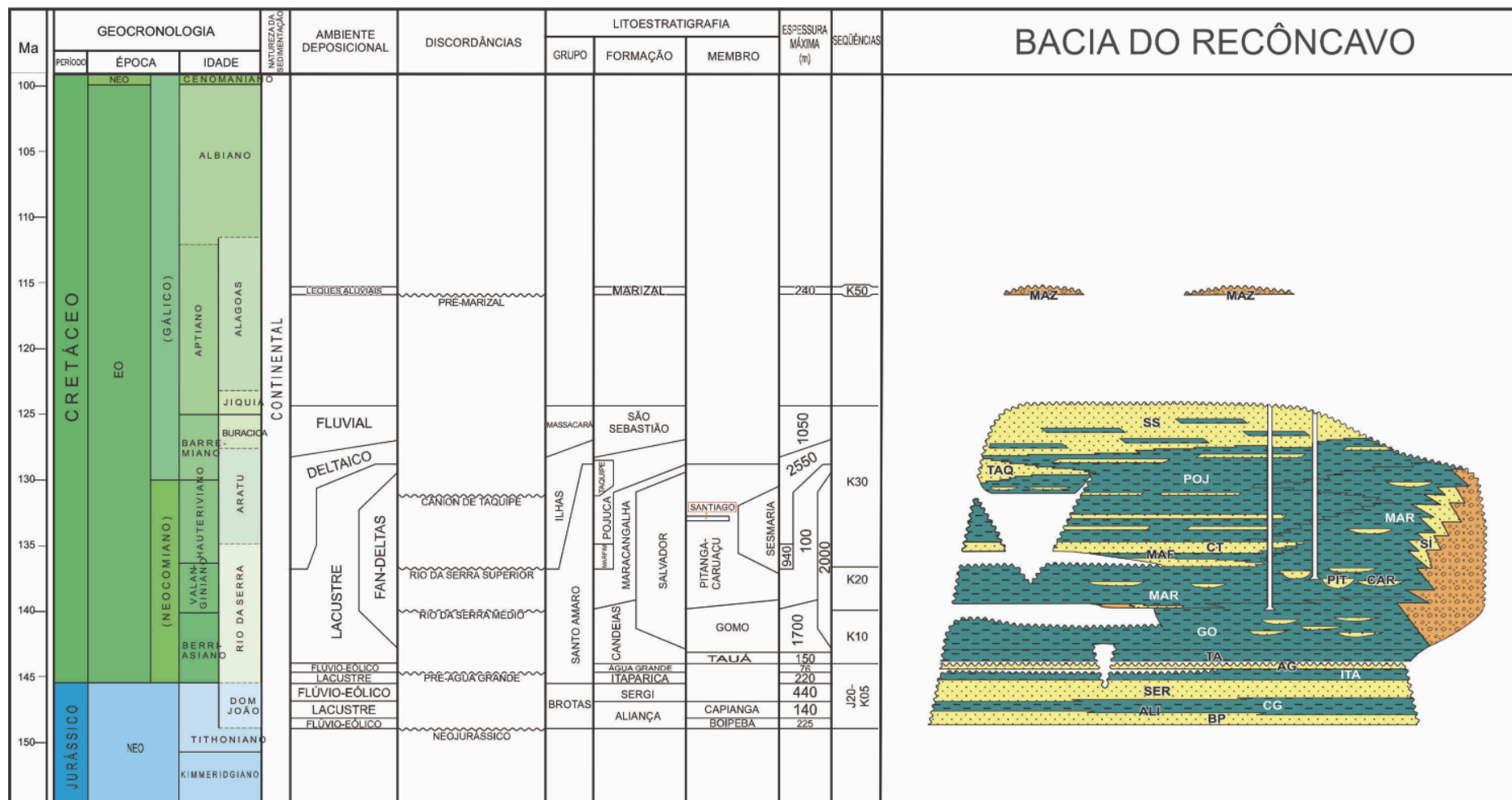
Os depósitos lacustres e deltaicos, incluem folhelhos, arenitos turbidíticos e progradações deltaicas da porção superior do Grupo Santo Amaro (formações Candeias e Maracangalha); e na sequência deposicional, uma sedimentação deltaica compreende as formações Marfim e Pojuca do Grupo Ilhas (Caixeta et al., 1994; Milani et al., 2007). A Formação Taquipe representa uma porção erosiva em forma de Cânion, caracterizada por folhelho cinza e arenitos muito finos, finos e médios (Caixeta et al., 1994; Magnavita et al., 2005). A Formação São Sebastião apresenta arenito grosso com intercalações de argila siltica, depositados por sistemas fluviais, que testemunha a fase final de assoreamento do rifte. (Caixeta et al., 1994; Silva et al., 2007).

O início da fase pós-rifte é caracterizado pelo preenchimento de depósitos arenosos clásticos da Formação Marizal, e termina com deposição da Formação Sabiá, relacionada a uma transgressão marinha e com sistema de leques aluviais na Formação Barreiras (Magnavita et al., 2005; Silva et al., 2007).

A Formação Maracangalha (Grupo Santo Amaro), foco deste trabalho, sobrepõe-se à Formação Candeias e é sobreposta pelo Grupo Ilhas (Magnavita et al., 2005). É geralmente subdividida na literatura em membros Pitanga e Caruaçu. O Membro Caruaçu é constituído por arenitos lenticulares, de granulação fina a média, que apresentam estratificação cruzada e plana, com deformações locais de sedimentos moles, enquanto o Membro Pitanga é composto por estratos intensamente deformados, constituídos por arenitos muito finos e lamitos (Caixeta et al., 1994; Silva et al., 2007; Silveira et al., 2023). Esses depósitos têm sido interpretados na literatura como turbiditos de águas profundas (Membro Caruaçu) e slumps de frentes deltaicas (Membro Pitanga) (ver Silva et al., 2007). No entanto, o recente estudo sedimentológico realizado por Silveira et al. (2023) considerou os depósitos da Formação Maracangalha como sistemas deltaicos de águas rasas, deformados por processos de fluidização (ver também Klein et al., 1972). Estudos de análise de fácies, dispersão de sedimentos e proveniência sedimentar demonstram dois sistemas principais preenchendo a bacia: um axial ao eixo do rifte, progredindo para sul, e um sistema transversal associado à falha ativa (Falha de Salvador), progredindo para oeste-noroeste (Castro et al., 2023; Silveira et al., 2023). Além disso, a Formação Maracangalha possui uma organização deformacional complexa

atribuída a numerosas deformações de sedimentos moles e injeções de arenitos, causadas por fluidização pós-deposicional (Silveira et al., 2023). Estudos sobre ostracodes não marinhos realizados por Britto et al. (2022) mostram uma idade Berriasiana-Valanginiana (estágio local de Rio da Serra), com associação faunística sugerindo uma idade Valanginiana-Hauteriviana (estágio local tardio de Rio da Serra a Aratu).

Figura 2 – Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo.



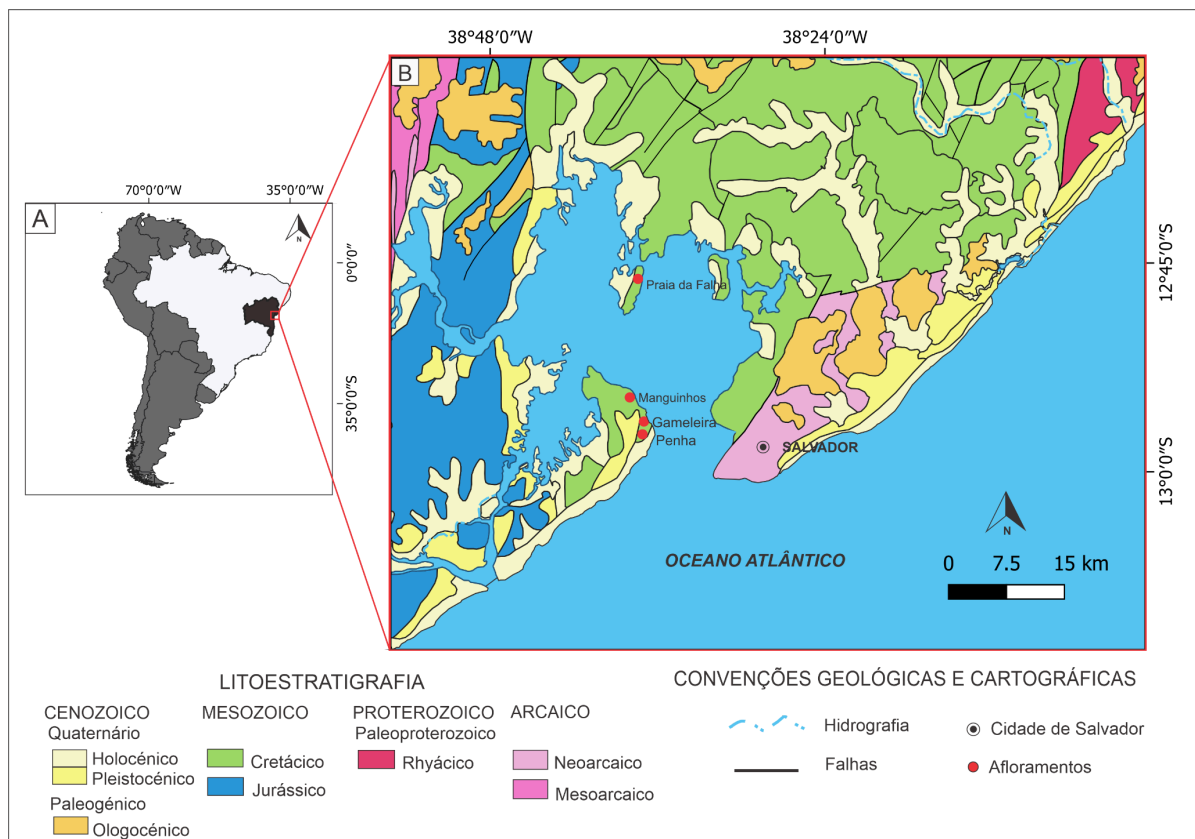
Fonte: Adaptado de Silva et al. (2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SEÇÕES ESTUDADAS

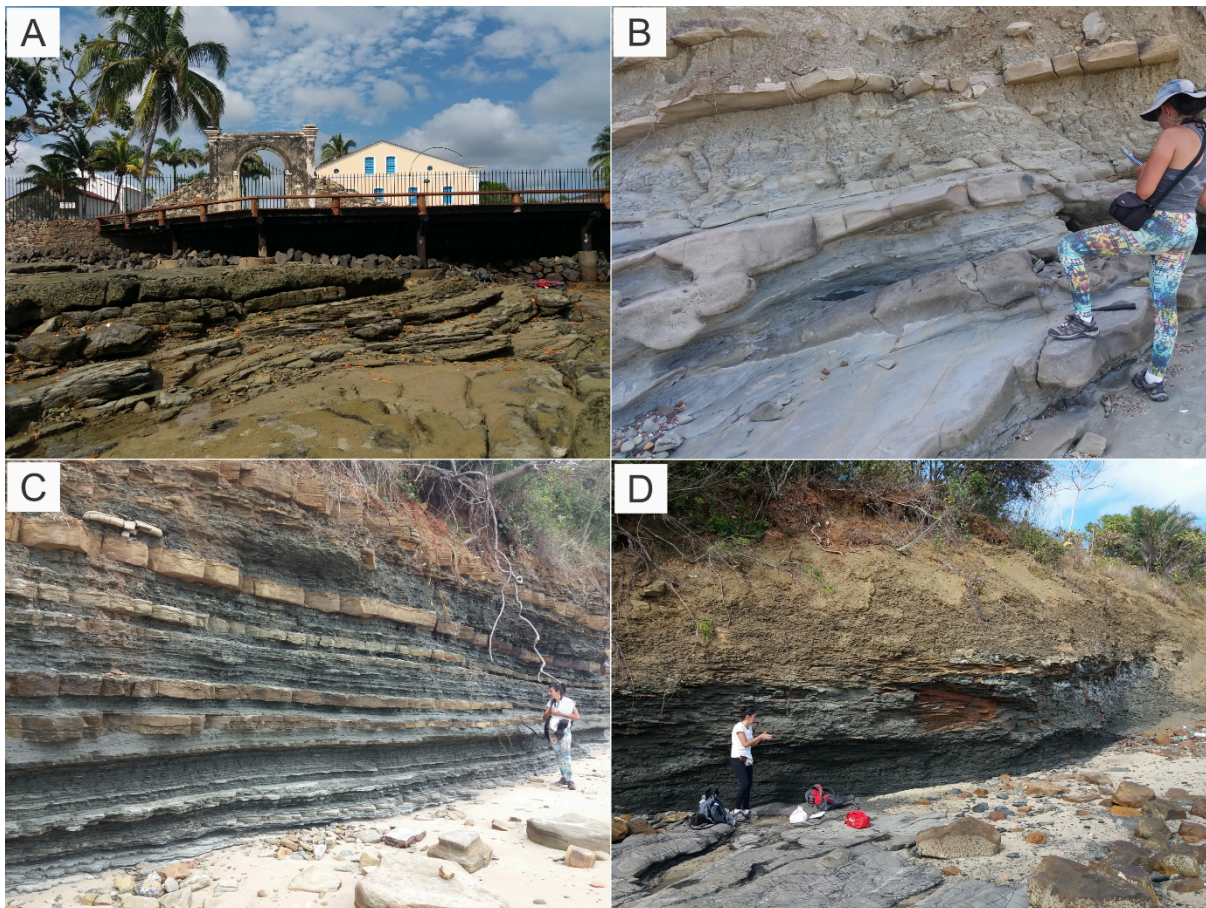
Um total de vinte e uma (21) amostras foram obtidas de quatro afloramentos localizados nas ilhas de Itaparica (afloramento Manguinhos, Gameleira e Penha) e Frades (afloramento Praia da Falha), na região da Baía de Todos os Santos, estado da Bahia, Brasil. (Figuras 3, 4 e 5). O controle sedimentológico para a recolha de amostras é derivado do trabalho de Silveira (2023). Os afloramentos da Praia da Falha e Gameleira pertencem ao sistema deposicional axial, enquanto os afloramentos da Penha e Manguinhos pertencem ao sistema transversal (Silveira et al., 2023). Portanto, a amostragem engloba os dois sistemas deposicionais que controlam os padrões de dispersão de sedimentos na bacia da Maracangalha ao longo do tempo (Figura 5).

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo. (A) Localização do estado da Bahia (NE do Brasil) na América do Sul; (B) Mapa geológico da área de estudo e posições dos afloramentos de Manguinhos, Gameleira, Penha e Praia da Falha na Baía de Todos os Santos, estado da Bahia.



Fonte: A autora (2023).

Figura 4 – Fotografias dos afloramentos estudados. A) Afloramento Penha (Ilha de Itaparica). B) Afloramento Praia da Falha (Ilha dos Frades). C) e D) Afloramentos Gameleira e Manguinhos, respectivamente (Ilha de Itaparica).



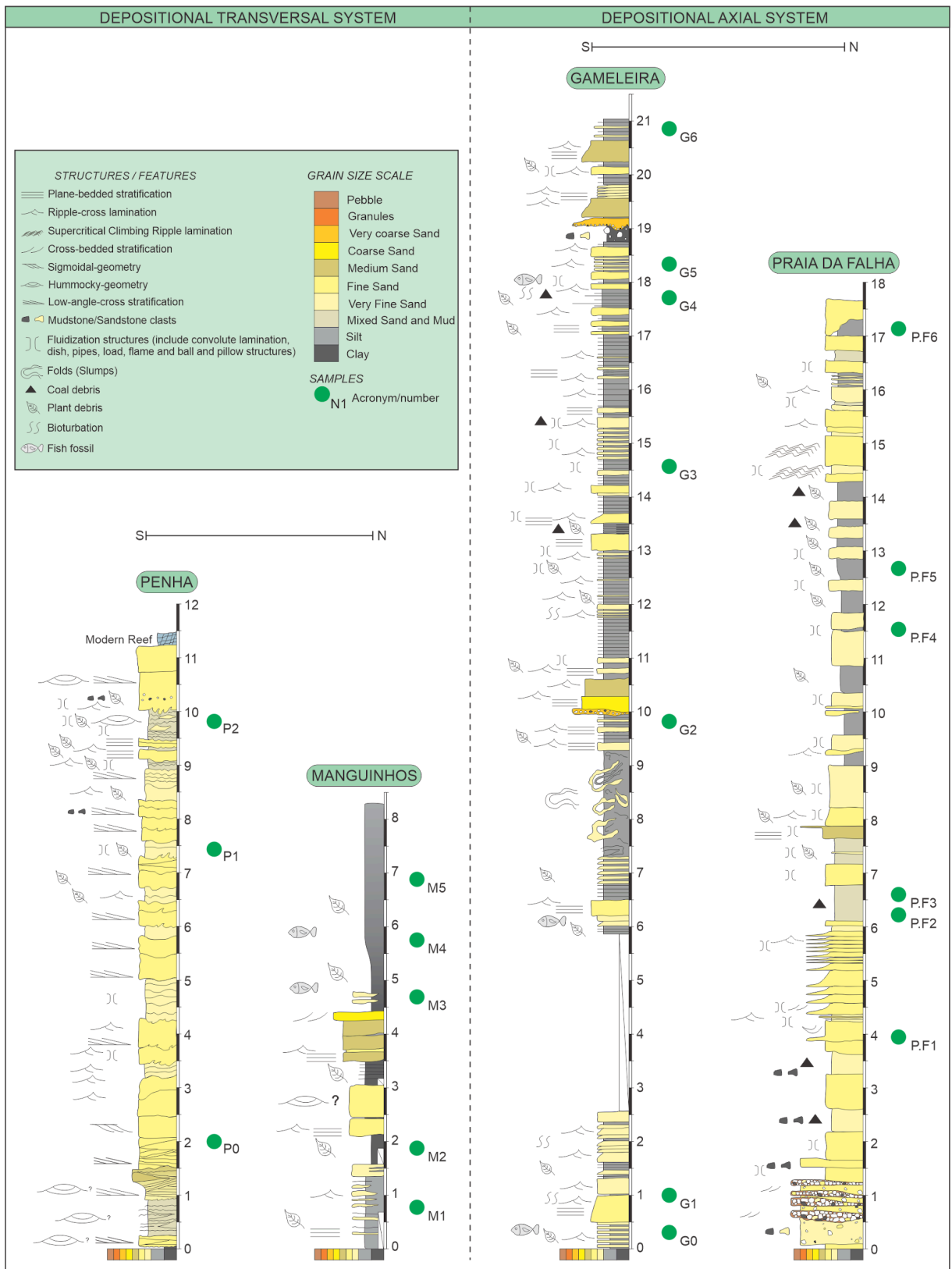
Fonte: A autora (2023).

3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras foi desenvolvida no Laboratório de Micropaleontologia Aplicada da Universidade Federal de Pernambuco (LMA-UFPE). Foram utilizadas técnicas descritas por Tyson (1995) e Mendonça Filho et al. (2011), fazendo algumas alterações quanto ao tempo de preparação com ataque ácido. Essas técnicas envolvem o uso de ácido clorídrico (HCl) e ácido fluorídrico (HF) para a eliminação da fração mineral. Foi realizada a pesagem da rocha (30 gramas), desagregação mecânica (reduzindo-as a partículas de 2 a 5 mm), e o ataque químico com ácido clorídrico (HCl) (37-10%), e ácido fluorídrico (HF) (40%), a fim de eliminar carbonatos e silicatos respectivamente. Adicionou-se HCl (37%) suficiente para cobrir completamente a amostra, deixando agir por 24 horas. As amostras foram lavadas com água destilada e em seguida adicionou-se HF (40%), cobrindo a

amostra deixando-a reagir por 24 horas. As amostras foram lavadas novamente com água destilada e peneiradas em malha de poliéster com abertura de 10 μm . HCl (10%) foi adicionado novamente ao resíduo, cobrindo a amostra por mais 24h e finalmente lavado com água destilada. Neste trabalho as amostras não passaram pelo método de oxidação, devido o trabalho focar na análise da matéria orgânica. Após isso, foi feita a preparação das lâminas usando álcool polivinílico e cola *Norland optical adhesive* para montagem.

Figura 5 – Registros sedimentares dos afloramentos mostrando a posição estratigráfica das amostras. Escala vertical em metros.



Fonte: Modificado de Silveira, (2023).

3.3 ANÁLISE DE PALINOFÁCIES

Para análise das lâminas, assim como para execução de fotomicrografias, foi utilizado o microscópio Zeiss AXIO Imager A2 com fonte de fluorescência HxP 120v e câmera acoplada, utilizando objetivas de 20x com realização de varredura em sentido verticais consecutivos, com a luz branca e luz ultravioleta. No estudo de palinofácies, foi utilizado a análise qualitativa e quantitativa dos diferentes componentes da matéria orgânica particulada (querogênio), baseando-se no sistema de classificação proposto por Tyson (1995) e Mendonça Filho et al. (2011). A análise quantitativa foi realizada a partir da contagem de 300 partículas do material orgânico em cada amostra. A análise qualitativa teve como finalidade identificar os diferentes componentes da matéria orgânica particulada, sua forma e seu estado de preservação. As partículas foram agrupadas em: matéria orgânica amorfa, ou MOA (MOA fina, espessa e pseudomorfa); fitoclastos opacos (equidimensional, alongado e corroído); fitoclastos não opacos (não bioestruturados e bioestruturados); e palinomorfos (grãos de pólen, esporos). Através dessas análises pode-se fazer as inferências do paleoambiente deposicional. Os dados foram depois representados em gráficos utilizando o programa riojaPlot version 0.9-31, 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ARTIGO 1 - PALYNOFACIES ANALYSIS OF A LACUSTRINE SUCCESSION: THE MARACANGALHA FORMATION (LOWER CRETACEOUS), RECÔNCAVO BASIN, BRAZIL

Autores: Valquíria Verônica da Silva, Enelise Katia Piovesan, Juan David Vallejo, Claus Fallgatter, Deise Marli da Silveira, Fernando Farias Vesely

Os resultados e discussões referentes a esta dissertação são apresentados na forma de um artigo científico. O artigo apresenta a análise de palinofácies do Cretáceo Inferior da Formação Maracangalha, visando contribuir na discussão sobre o paleoambiente deposicional através da caracterização da matéria orgânica sedimentar do sistema lacustre durante a fase sin-rift da Bacia do Recôncavo, Nordeste brasileiro.

O artigo intitulado “*Palynofacies Analysis of a Lacustrine Succession: The Maracangalha Formation (Lower Cretaceous), Recôncavo Basin, Brazil*”, foi publicado na revista “*Journal of South American Earth Sciences*” em 03 de agosto de 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105050>>



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of South American Earth Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsames

Palynofacies analysis of a lacustrine succession: The Maracangalha Formation (Lower Cretaceous), Recôncavo Basin, Brazil

Valquíria Verônica da Silva ^{a,b,*}, Enelise Katia Piovesan ^{a,b,c}, Juan David Vallejo ^{a,b},
Claus Fallgatter ^{b,c}, Deise Marli da Silveira ^d, Fernando Farias Vesely ^d

^a Universidade Federal de Pernambuco, Laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LMA/i-LITPEG), Av. da Arquitetura, s/n, 50740-550, Recife, PE, Brazil

^b Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. da Arquitetura, s/n, 50740-550, Recife, PE, Brazil

^c Instituto de Pesquisas em Petróleo e Energia (i-LITPEG), Laboratório de Geologia Sedimentar (LAGESE), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, 50740-550, Recife, PE, Brazil

^d Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), R. XV de Novembro, 80060-000, Curitiba, PR, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Lacustrine environment
Outcrop analysis
Sedimentary organic matter

ABSTRACT

A palynofacies analysis was carried out using samples collected from the Manguinhos, Gameleira, Praia da Falha and Penha outcrops of the Lower Cretaceous Maracangalha Formation, Recôncavo Basin, NE Brazil. Qualitative and quantitative analysis of the organic particles, as well as grouping analysis based on the characteristics of the particles found, were conducted to establish the present database. The organic particles were grouped into amorphous organic matter (AOM); opaque phytoclasts; non-opaque phytoclasts and palynomorphs and four distinct palynofacies were recognized. The palynofacies I (P I), present in the Praia da Falha outcrop, is composed of a high abundance of non-opaque phytoclasts (51.22%), followed by palynomorphs (23.61%). The palynofacies II (P II), occurring in the Penha outcrop, shows a high abundance of non-opaque phytoclasts (71.67%), followed by opaque phytoclasts (12%). The palynofacies III (P III), occurring in the Manguinhos outcrop, consists of a high abundance of AOM (48.07%), followed by opaque phytoclasts (32.6%). The palynofacies IV (P IV), occurring in the Gameleira outcrop, also has a high abundance of AOM (47.05%), followed by non-opaque phytoclasts (28.76%). According to the associations of sedimentary organic matter, essentially represented by particles of continental origin, a lacustrine setting is well characterized, corroborating what has been previously suggested in the literature. The palynofacies interpretation also indicates deposition strongly controlled by fluvio-deltaic input. Overall, the Praia da Falha and Penha outcrops suggest proximity to the depositional source in a high-energy environment. In these localities, the predominance of non-opaque phytoclasts indicates deposition under oxic conditions probably near the lake shore. On the other hand, in the Gameleira and Manguinhos outcrops, the predominance of AOM suggests deposition away from the sediment source in a more distal, low-energy environment, with prevalence of suboxic-to-anoxic conditions.

1. Introduction

Palynofacies analysis is an interdisciplinary approach that provides insights for paleoenvironmental interpretations based on the particulate organic matter preserved in the sedimentary record (e.g., [Carvalho et al., 2006, 2013](#); [Silva et al., 2013](#); [Trindade et al., 2015](#); [Portela et al., 2016](#); [Teixeira et al., 2017](#); [Crud et al., 2017](#); [Gonzalez et al., 2019](#); [Amaral et al., 2020](#); [Vallejo et al., 2023](#)). The analysis allows direct visualization of kerogen constituents, allowing to assess the origin and state of

preservation of organic matter through qualitative and quantitative methods. Thus, it enables the identification and quantification of the three main groups that make up palynofacies: amorphous organic matter (originating from bacterial or algal organic matter and degradation of plants), phytoclasts (predominantly representative of plants) and palynomorphs (spores, pollen grains, dinoflagellates, chitinozoans, acritarchs and other benthic and planktonic microorganisms). Relative to the sedimentological approach, palynofacies can provide information about depositional systems by defining the proximal-distal

* Corresponding author. Universidade Federal de Pernambuco, Laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LMA/i-LITPEG), Av. da Arquitetura, s/n, 50740-550, Recife, PE, Brazil.

E-mail addresses: valquiria.veronica@ufpe.br, valquiriav165@gmail.com (V.V. Silva).

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105050>

Received 10 June 2024; Received in revised form 24 July 2024; Accepted 24 July 2024

Available online 26 July 2024

0895-9811/© 2024 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

relationship of the sedimentary source (through phytoclasts and palynomorphs), dysoxic-anoxic (AOM) to oxic conditions, identifying regressive and transgressive trends, and distinguishing depositional environments (Tyson, 1995).

The high percentage of AOM relative to total kerogen results from an environment with both high preservation rate and low energy conditions. This can be interpreted as a reducing environment or, at least, temporarily dysoxic to anoxic, and is related to high primary productivity (Tyson, 1993). A significant proportion of the total kerogen, represented by phytoclasts, is primarily associated with depositional conditions near the fluvio-deltaic point source. The key influencing factor is the limited distance over which particles have been transported. Additional factors, including oxidizing conditions and the inherent resistance of living tissues, are also linked to the proximity of the source area (Mendonça Filho et al., 2011). Opaque phytoclasts are more resistant to degradation and can be transported over long distances, being found in more distal settings. Non-opaque phytoclasts, on the other hand, are associated with more proximal environments and are progressively degraded as they are transported (Tyson, 1995). Palynomorphs show the lowest rates of the three main groups and their incidence is controlled by AOM and phytoclast dilution. Thus, the high percentages of palynomorphs, dominated by sporomorphs (mainly spores), may be associated with oxygenated environments and may be related to the proximity of the vegetation of origin or fluvial-deltaic transport in the basin and the AOM shows a low percentage (Tyson, 1993).

The Maracangalha Formation, focus of this study, records the syn-rift phase of the Reoñcavo Basin (Brazil) and hosts hydrocarbon reservoirs associated with a lacustrine environment. Its deposits consist of shales, very fine-to-very coarse-grained sandstones and conglomerates (Magnavita et al., 2005; Bastos, 2017; Silveira et al., 2023). Palynological studies are scarce in the Reoñcavo Basin (Magacho, 2011; Cerqueda, 2014; Portela et al., 2016; Amaral et al., 2020) and most of the data consists of internal reports from oil companies. The referred authors focused on the analysis of paleoenvironmental conditions and hydrocarbon generation, based on organic geochemical characterization and analysis of palynofacies in the Pojuca, Candeias and Maracangalha formations.

Clastic material accounts for most of the sediment input to lacustrine basins, either as suspended fines or as coarse bedload (Talbot and Allen, 1978; Nichols, 2009). The dominant fine-grained nature of the Maracangalha Formation deposits favored the preservation of sedimentary organic matter. Studies focusing on sedimentology and biostratigraphy of the Maracangalha Formation are prevalent in the literature (e.g. Guerra, 2002; Coura, 2006; Freire et al., 2017; Amorim, 2018; Britto et al., 2022, 2023; Castro et al., 2023; Silveira et al., 2023), with few focusing on the study of palynofacies (e.g. Amaral et al., 2020). The use of palynofacies as a study tool is generally focused in marine or marine-influenced continental paleoenvironments. Due to the scarcity of studies using palynofacies in lacustrine successions the aim of this study was to evaluate the sedimentary organic matter and refine the depositional paleoenvironment of the Maracangalha Formation through the analysis of palynofacies based on outcrop samples.

2. Geological setting

The Reoñcavo Basin is located in Bahia state, northeastern Brazil, occupying an area of approximately 11,500 km² and forming the southern portion of the Reoñcavo-Tucano-Jatobá intracontinental rift system. It consists of an NE-SW oriented, asymmetrical graben (Santos and Braga, 1990; Silva et al., 2007). It represents an aborted rift that was filled by sediments between the Late Jurassic and the Early Cretaceous, during the opening phase of the Gondwana Supercontinent. The basin is limited by the Aporá High to the north and northwest, the Barra Fault system to the south, the Maragogipe Fault to the west and the Salvador fault to the east (Silva et al., 2007).

Four major lithostratigraphic units make up the Reoñcavo Basin: Brotas Group (Upper Jurassic), comprising the Aliança and Sergi formations; Santo Amaro Group (Lower Cretaceous, Berriasian-Barremian), with the Itaparica, Água Grande, Salvador, Candeias and Maracangalha formations; Ilhas Group (Barremian), with the Marfim, Pojuca and Taquique formations; Massacá Group (Barremian-Lower Aptian) composed of the São Sebastião Formation; the Marizal Formation of Alagoas local Stage (= Aptian age); and finally the Neogene sequence with the Sabá Formation of Miocene age and the Barreiras Group of Pliocene age (Caixeta et al., 1994; Magnavita et al., 2005; Silva et al., 2007). The rift climax sequence (see Kuchle et al., 2011) is represented by lacustrine, fluvio-deltaic and alluvial fan systems belonging to the Santo Amaro Group, the Ilhas Group and the São Sebastião Formation (Massacá Group) (Magnavita et al., 2005; Silva et al., 2007).

The Maracangalha Formation (Santo Amaro Group) overlaps the Candeias Formation and is overlaid by the Ilhas Group (Magnavita et al., 2005). It is dominantly composed of laminated mudstones but it also includes two sand-rich units named as the Pitanga and Caruaçu members. The Caruaçu Member consists of enticular, fine-to-medium-grained sandstones showing trough cross stratification and plane-parallel stratification with local soft-sediment deformations, whereas the Pitanga Member comprises intensely deformed strata, consisting of very fine-grained sandstones and mudstones (Caixeta et al., 1994; Silva et al., 2007; Silveira et al., 2023). These deposits have been interpreted as deep-water turbidites (Caruaçu Member) and delta front slumps (Pitanga Member) (see Silva et al., 2007). However, the recent work by Silveira et al. (2023) considered the deposits of the Maracangalha Formation as shallow-water delta systems subsequently deformed and remobilized by fluidization processes (see also Klein et al., 1972). Facies analysis, sediment dispersion, and sedimentary provenance studies demonstrate two main systems filling the basin: one axial, prograding southwards, and a transverse system associated with the active fault (Salvador Fault), prograding west-northwestwards (Castro et al., 2023; Silveira et al., 2023). Studies on non-marine ostracods carried out by Britto et al. (2022) show a Berriasian-Valanginian age (Rio da Serra local stage) for the Manguinhos outcrop of the Maracangalha Formation due to the presence of the guide species *Reconocavona? polita*. And through the faunal association of other ostracode species, I suggested a Valanginian-Hauterivian age (late local stages from Rio da Serra to Aratu) for the Praia da Falha outcrop, also of the Maracangalha Formation.

Eleven sedimentary facies (F1 - F11) were described in some outcrops of the Maracangalha Formation (Britto et al., 2023). Of these facies, the samples analyzed here come from the facies F2, F3, F9 and F10. The facies F2 is composed of very fine to medium-grained sandstone, eventually with disperse mudstone clasts and/or plants/coal debris and interpreted as sand-rich high-density turbidity current. The facies F3 is composed of coarse or medium-grained to very fine-grained sandstone and considered as waxing to waning turbidity currents with alternating phases. The facies F9 is represented by an intercalation of thin bedded sandstones and mudstones and interpreted as low-density turbidity plumes. And finally, the facies F10 is composed of ooliated gray to black claystone to siltstone and interpreted as deposition from low density turbidity currents.

3. Material and methods

A total of twenty-one (21) samples of fine-grained facies were obtained from four outcrops located on the Itaparica (Manguinhos, Gameleira and Penha outcrops) and Frades (Praia da Falha outcrop) islands in the Baía de Todos os Santos area, Bahia state, Brazil (Figs. 1–3). The sedimentological control for sampling is derived from the work of Silveira (2023). The outcrops of Praia da Falha and Gameleira belong to the axial depositional system, whereas the outcrops of Penha and Manguinhos belong to the transverse system (cf. Silveira

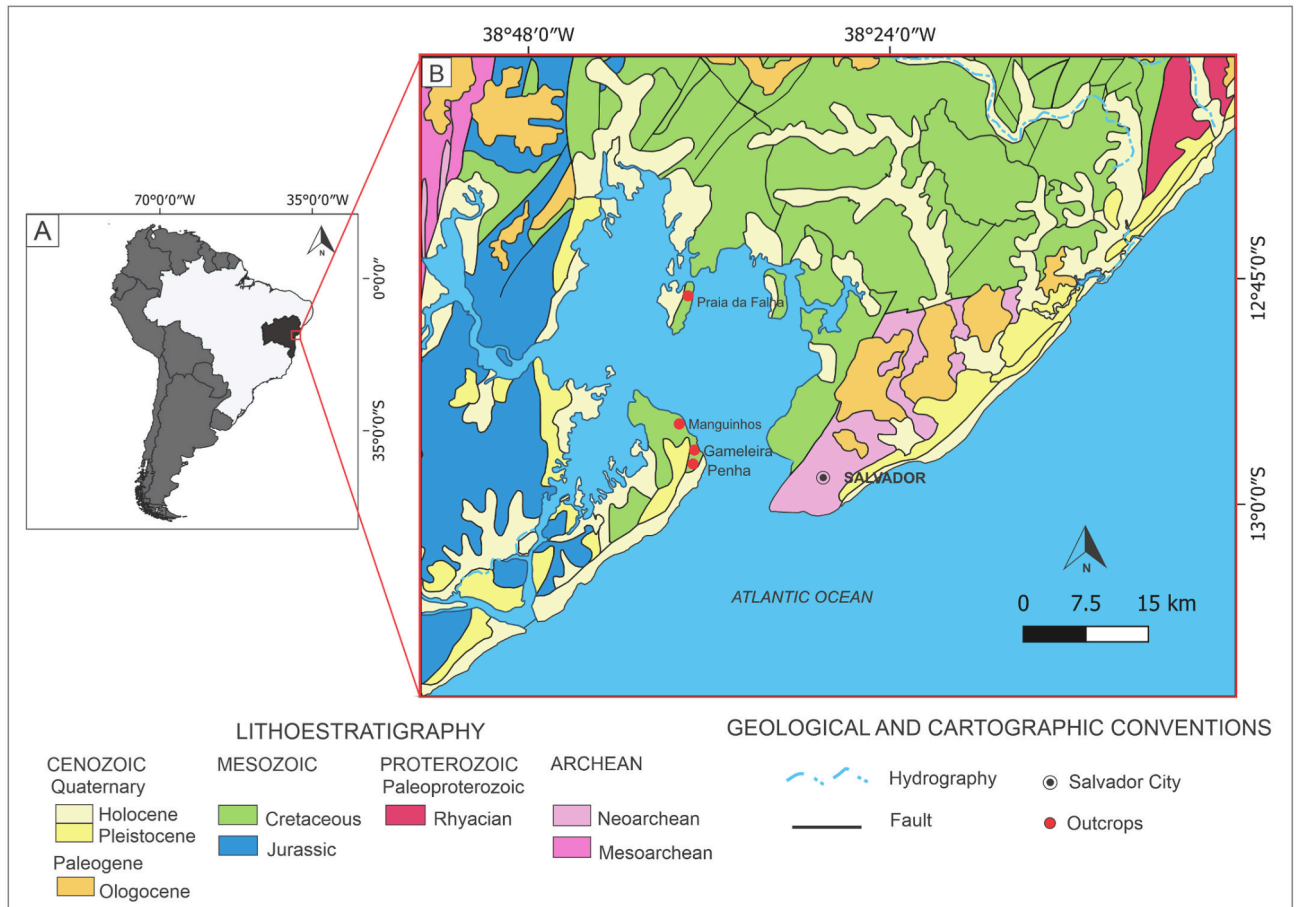


Fig. 1. Location map of the study area. (A) Location of the Bahia State (NE Brazil) in South America; (B) Geological map of the study area and positions of the Manguinhos, Gameleira, Penha and Praia da Falha outcrops in the Baía de Todos os Santos, Bahia state.

et al., 2023). Therefore, the sampling encompasses the two sediment dispersal systems that were active during the deposition of the Maracangalha Formation (Fig. 3).

The samples were processed at the Applied Micropaleontology Laboratory of the Federal University of Pernambuco (UFPE) for analysis of sedimentary organic matter, using techniques described by Tyson (1995) and Mendonça Filho et al. (2011), making some changes to the preparation time with acid attack. These techniques involve the use of hydrochloric acid (HCl) and hydrofluoric acid (HF) for the elimination of the mineral fraction.

The rock samples, initially weighing 30 g each, were mechanically disaggregated and reduced to particles of 2–5 mm. Chemical attack with hydrochloric acid (HCl) (37%) and hydrofluoric acid (HF) (40%) was then employed to eliminate carbonates and silicates, respectively. A sufficient amount of HCl (37%) was added to completely cover the sample, and left reacting for approximately 10 h, and then washed with distilled water. Then, enough HF (40%) was added to cover the entire sample, left reacting for 24 h, and washed again with distilled water before being sieved through a 10 µm mesh. To eliminate fluorsilicates, HCl (10%) was added, left reacting for 24 h, and finally washed with distilled water. In this study, the samples were not subjected to the oxidation method because the analysis was focused on organic matter. After sample preparation, the residual material was mounted on slides using polyvinyl alcohol and Norland optical adhesive, cured under ultraviolet light.

The slides were examined using the Zeiss AXIO Imager A2 microscope. For palaeoenvironmental studies, 300 particles of sedimentary

organic matter were counted in each sample and grouped into the following categories: Amorphous Organic Matter (AOM); Non-opaque phytoclasts (cuticles, membranes, non-biostructured and biostructured); Opaque phytoclasts (equidimensional, lath and corroded) and Palynomorphs. The data were then plotted using the RiojaPlot site.

4. Results

Samples yielded a dominance of non-opaque phytoclasts (N-OpPh), comprising a general average of 40.83% of total kerogen, followed by amorphous organic matter (AOM), with a general average of 26.99% of total kerogen (Fig. 4 and Table 1). Four palynofacies types were identified based on the abundance and associations of organic particles (Fig. 5).

The associations were designated based on the morphology, origin, and state of preservation of the particulate organic matter. The most significant associations are those with an average percentage significantly higher than the overall average of all associations.

4.1. Particles association

4.1.1. Non-opaque phytoclasts (N-OpPh)

The most abundant of the total kerogen (40.83%) is represented by the non-opaque phytoclasts. The highest averages were observed in the Penha and Praia da Falha outcrops (71.67% and 51.22%) (Table 1). Non-biostructured particles were consistently found throughout the sections, in association with biostructured particles, cuticles and

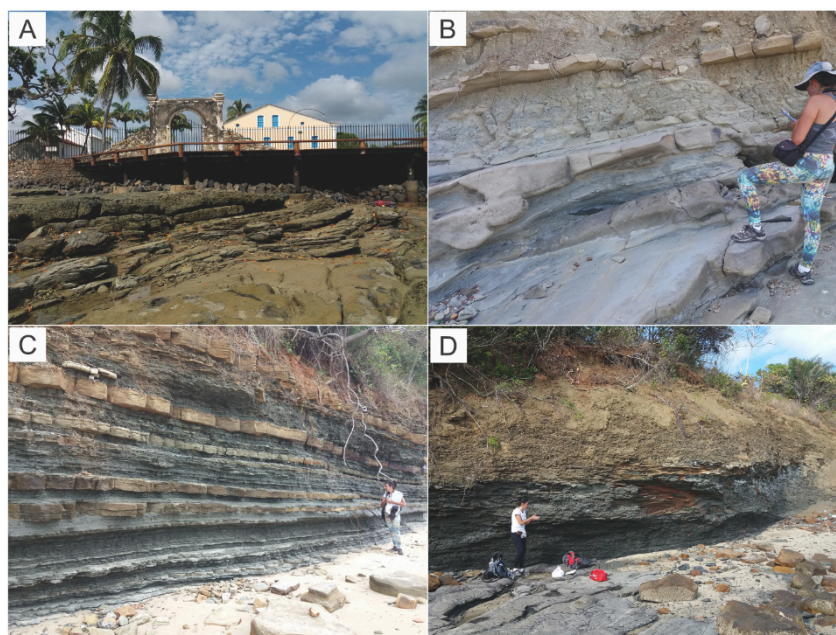


Fig. 2. Photographs of the studied outcrops. (A) Penha outcrop (Itaparica Island). (B) Praia da Falha outcrop (Frades Island). (C) and (D) Gameleira and Manguinhos outcrops, respectively (Itaparica Island).

membranes (Fig. 4A–D). In general, these particles exhibit colors ranging from yellow, orange and brown, in white light. Cuticles and membranes appeared yellow to orange in ultraviolet light, while other phytoclasts exhibit a brown hue. Non-degraded, non-biostructured particles are the most abundant in both outcrops (Praia da Falha and Penha), followed by striated and striped biostructures. The Penha outcrop shows an abundance of non-opaque phytoclasts in all samples, with small percentage variations. In Praia da Falha, non-opaque phytoclasts are also dominant, with variations in their abundance from base to the top of the section (Fig. 5).

In the Manguinhos and Gameleira outcrops, non-opaque phytoclasts were not very representative. In Manguinhos, non-opaque phytoclasts increase and decrease throughout the outcrop, with a higher percentage in samples M1 and M3. Cuticles are the most abundant particles, followed by non-degraded, non-biostructured phytoclasts. In Gameleira, the non-opaque phytoclasts also vary throughout the section, showing higher values at the base and in the middle, and lower values at the top, with greater abundance in samples G0, G2 and G3, with non-degraded non-biostructured phytoclasts being the most representative (Fig. 5).

4.1.2. Amorphous organic matter (AOM)

Amorphous organic matter (AOM) is the second most abundant association of total kerogen (26.99%), with high averages recorded in the Manguinhos and Gameleira outcrops. It is made up of AOM with thick morphology, thick granular appearance, and irregular contours; fine, with a fine granular appearance and irregular contours; and pseudo-amorphous, with a thick granular appearance and regular contours (Fig. 4E–H). The color of the AOM varies from yellow, dark brown to black in white light and yellow, brown or non-existent fluorescence. It is most abundant, particularly in the thick morphology, in the Manguinhos and Gameleira outcrops, with averages of 48.07% and 47.05% respectively (Table 1). Manguinhos has a higher abundance of AOM in samples M3, M4 and M5, with the percentage gradually increasing from base to top. In Gameleira, the greatest abundance of AOM was found in the samples G1, G4, G5 and G6, and the percentage varies throughout the section. The Praia da Falha and Penha outcrops also show variations upsection (Fig. 5).

4.1.3. Opaque phytoclasts

Opaque phytoclasts are present in all the studied outcrops and represent the third most abundant association with an average of 19.76 % of the total kerogen. A highest average of 32.6 % was observed in the Manguinhos outcrop (Table 1). They have corroded, equidimensional and elongated shapes and a black color with no fluorescence. The corroded forms are predominant in the Manguinhos and Gameleira outcrops and the equidimensional forms in the Praia da Falha and Penha outcrops. Variations in the proportion of opaque phytoclasts were observed throughout the stratigraphic stacking of all the outcrops.

The Manguinhos outcrop shows greater abundance of opaque phytoclasts in samples M1 and M5. In Gameleira, as in the other outcrops, it shows low representation, with the highest percentages in samples G4, G5 and G6. At Praia da Falha, opaque phytoclasts are abundant in samples PF3 and PF5. And in the Penha outcrop, sample P1 shows the highest abundance (Fig. 5).

4.1.4. Palynomorphs

This association has the lowest average (12.43 % of total kerogen) relative to the other particles. The highest averages were found in the Praia da Falha and Gameleira outcrops, with 23.61% and 11.10%, respectively (Table 1). The particles found are sporomorphs, with plant spores and pollen grains being the most abundant. Fungal spores (not found in the Praia da Falha outcrop) are the least abundant. The sporomorphs show yellow, orange and brown colors in white light, and yellow to orange in fluorescence. There are also reworked Paleozoic components, represented by prasinophytes and acritarchs, that were not considered in our analysis. Brito and Quadros (1995) and Pons et al. (1996), through studies in the Araripe Basin, suggest that these Paleozoic representatives are reworked from the Late Devonian.

In the Praia da Falha outcrop, palynomorphs are very representative, being the second dominant group, with greater abundance in samples PF5 and PF6 and dominance of spores (of cryptogamic plants) and pollen grains. The abundance of palynomorphs in the Praia da Falha outcrop increases from base to top. In the Gameleira outcrop, there is an alternation in the abundance of sporomorphs from the base to top, with higher amounts at the base (sample G0). In the Manguinhos outcrop, the

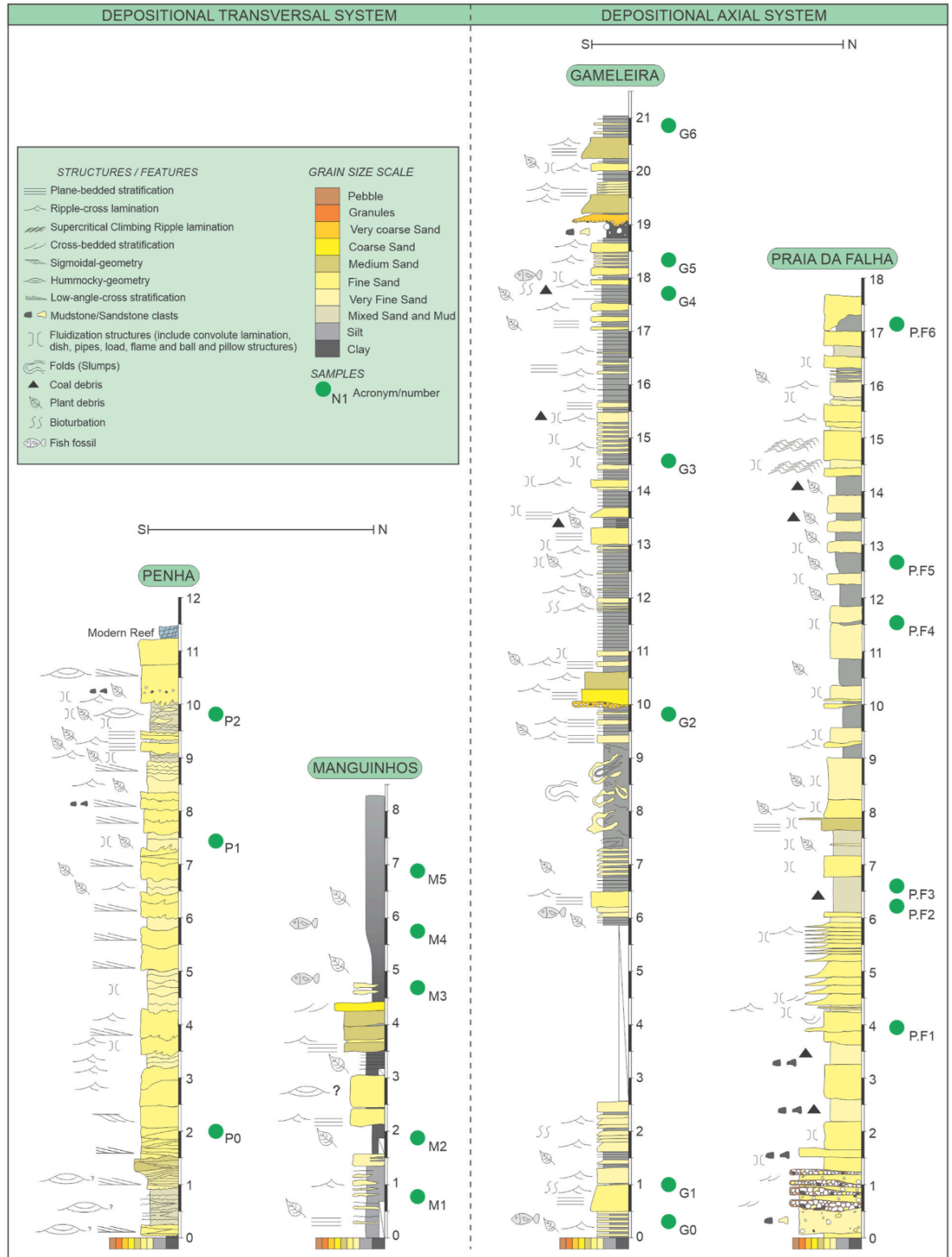


Fig. 3. Sedimentary logs of the outcrops showing stratigraphic position of samples. Vertical scale in meters. Modified from Silveira (2023).

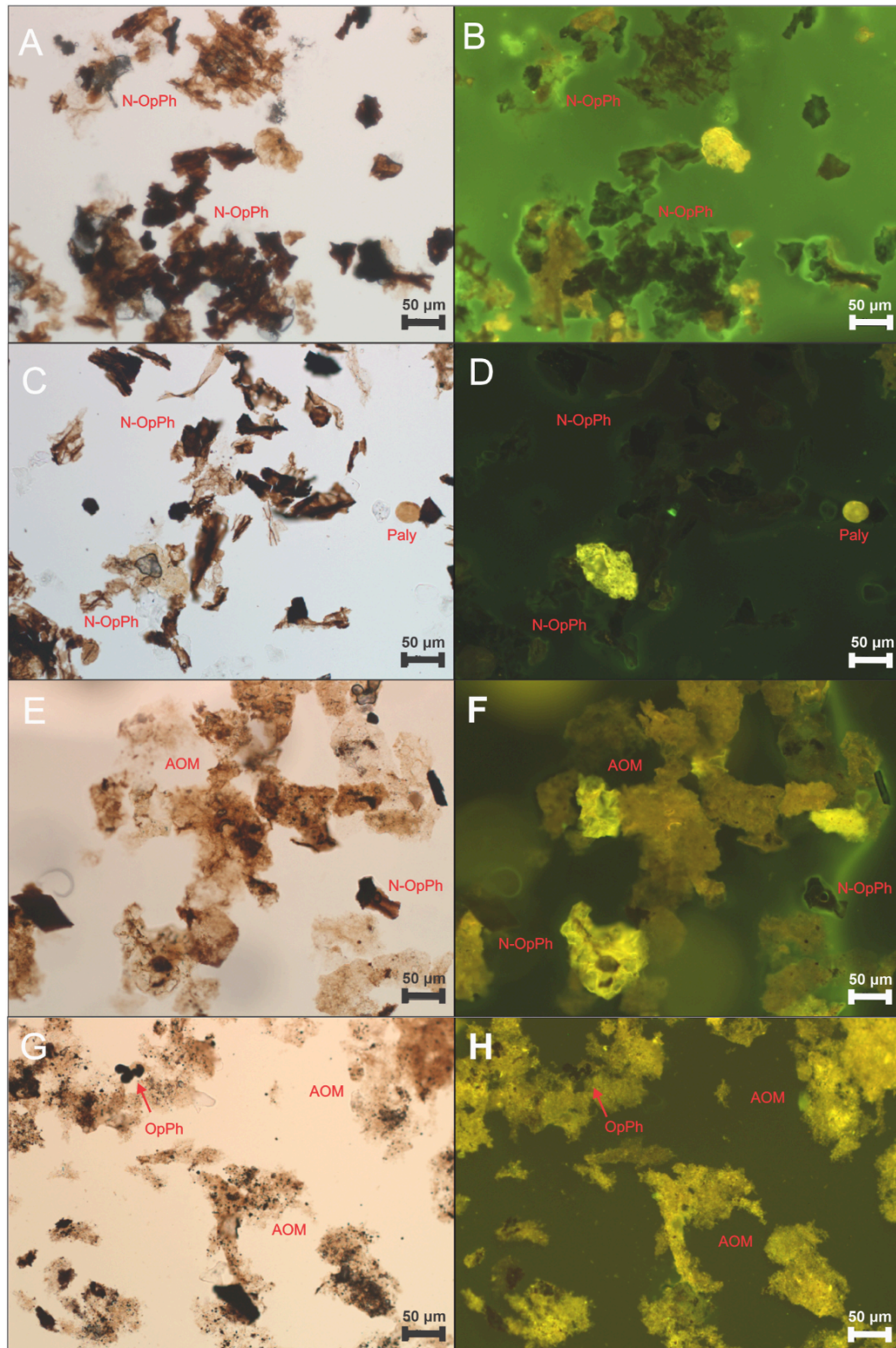


Fig. 4. Sedimentary particles identified: (A–B) Penha outcrop; (C–D) Praia da Falha outcrop; (E–F) Gameleira outcrop; (G–H) Manguinhos outcrop. (AOM) amorphous organic matter; (OpPh) opaque phytoclasts; (N-OpPh) non-opaque phytoclasts; (Paly) palynomorphs (Photomicrographs A, C, E, G - transmitted white light mode; Photomicrographs B, D, F, H - fluorescence mode). Scale bar: 50 μm.

Table 1

Average of the associations analyzed in the outcrops.

Outcrops	AOM (%)	OpPh (%)	N-OpPh (%)	Paly (%)
Manguinhos	48.07	32.60	11.67	07.67
Gamaleira	47.05	13.10	28.76	11.10
Praia da Falha	03.83	21.33	51.22	23.61
Penha	09.00	12.00	71.67	07.33
General Average	26.99	19.76	40.83	12.43

sporomorphs decrease in abundance from base to top and are more abundant in samples M1 and M2. In the Penha outcrop, the sporomorphs also show lower percentages when compared to the other groups and their abundance varies along the succession, being more abundant in sample P1 (Fig. 5).

4.2. Palynofacies

The relative proportion of constituent groups allowed the identification of our distinct palynofacies (PI-PIV). Each palynofacies is representative of each of the four examined outcrops (PI, Praia da Falha; PII, Penha; PIII, Manguinhos; PIV, Gamaleira) (Fig. 5; Table 1).

Palynofacies I (P I) is composed of a high abundance of non-opaque phytoclasts (51.22%), followed by palynomorphs (23.61%), opaque phytoclasts (21.33%) and low abundance of AOM (3.83%). With exception of the samples PF1 and PF3 (opaque and non-opaque phytoclasts with the highest averages), all the other samples show non-opaque phytoclasts and palynomorphs with the highest averages.

Palynofacies II (P II) shows a high abundance of non-opaque phytoclasts (71.67 %), followed by opaque phytoclasts (12%), and low

abundance of AOM (9%) and palynomorphs (7.33%). In all the samples from the Penha outcrop, the non-opaque and opaque phytoclasts show the highest averages.

Palynofacies III (P III) is composed of a high abundance of AOM (48.07%) and opaque phytoclasts (32.6%) and a low abundance of non-opaque phytoclasts (11.67%) and palynomorphs (7.67%). The distribution of associations with a high abundance of AOM and opaque phytoclasts occurs in all the samples from the Manguinhos outcrop.

Palynofacies IV (P IV) also shows a high abundance of AOM (47.05%) but associated with a high abundance of non-opaque phytoclasts (28.76%) and a low abundance of opaques (13.1%) and palynomorphs (11.1%). In the Gamaleira samples, the particle distributions are different, with the basal samples (G1, G2 and G3) showing the highest averages of AOM and non-opaque phytoclasts and the top samples (G4, G5 and G6) showing higher averages of AOM and opaque phytoclasts.

Overall, the abundance of AOM particles in all the samples shows an inverse correlation with that of non-opaque phytoclasts and palynomorphs.

4.2.1. Depositional settings inferred by palynofacies

Palynofacies (P I) is composed mainly of non-opaque phytoclast and palynomorphs (Fig. 5). The lithology of the samples consists of a combination of fine-to medium-grained sandstones with siltstones and mudstones. Even though non-opaque phytoclasts are dominant, the prevalence of phytoclasts indicates short transport path of the particles (Tyson, 1995), suggesting proximal depositional conditions, and proximity to the source of vegetation, corresponding probably to a delta setting (Tyson, 1995; Batten, 1996).

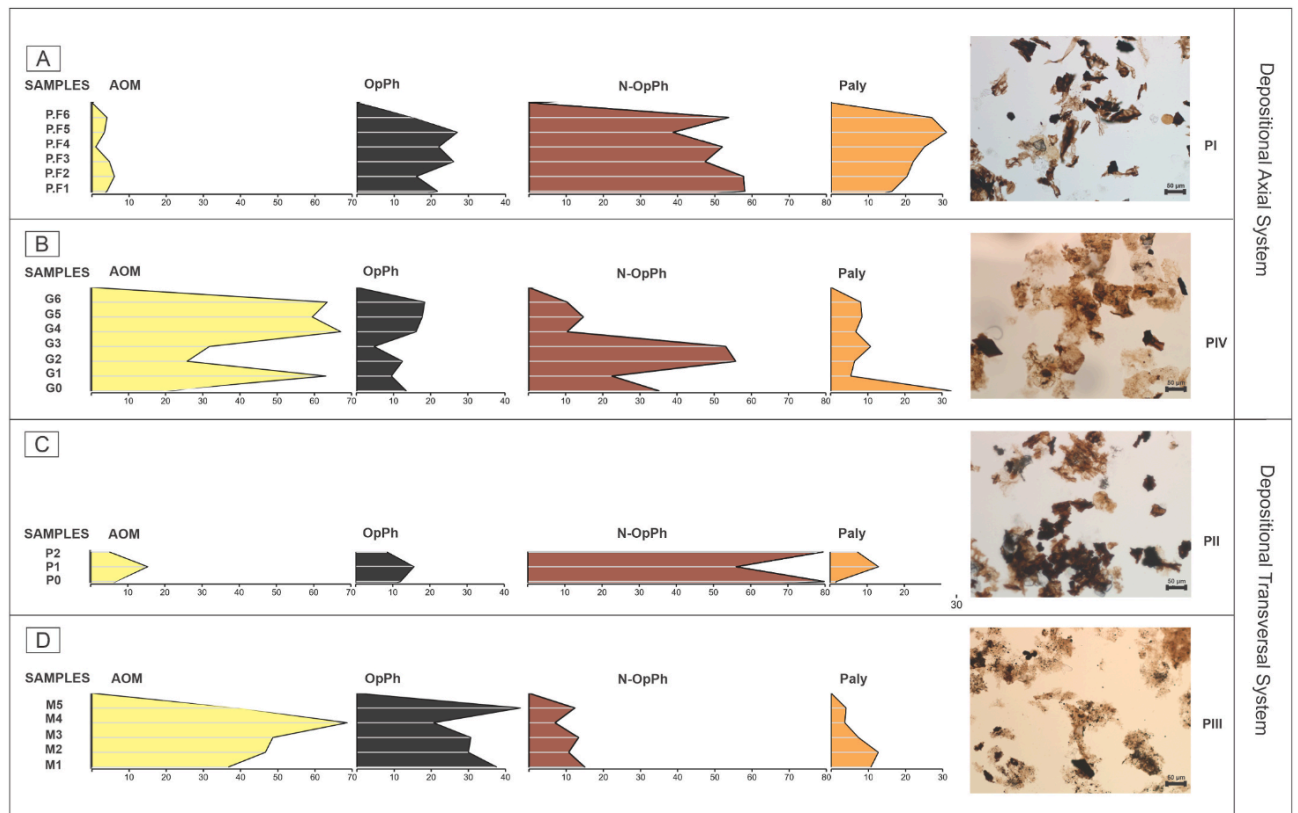


Fig. 5. Percentagedistribution of organic particles showing the images of the palynofacies (PI-PIV) in the outcrops: (A) Praia da Falha outcrop (PI); (B) Gamaleira outcrop (PIV); (C) Penha outcrop (PII) and (D) Manguinhos outcrop (PIII). AOM (Amorphous Organic Matter); OpPh (Opaque Phytoclasts); N-OpPh (Non-Opaque Phytoclasts); Paly (Palynomorphs). Scale bar: 50 µm.

According to Tyson (1995), woody phytoclasts are relatively abundant in coastal areas, within sand- and silt-rich lithologies, redeposited in relatively oxidizing facies in which less resistant materials are selectively destroyed. As the sediment moves, the abundance of non-opaque phytoclasts tend to decrease, since there is a natural sequence of degradation of phytoclasts, according to lignin content and resistance, with the non-opaque, non-biostructured ones the first components to disappear (Tyson, 1993, 1995). Thus, in the proximal facies, the phytoclasts are mostly non-opaque; while in the distal facies the percentages of opaque material are higher. The particles from the Praia da Falha outcrop show high abundances of non-opaque phytoclasts and palynomorphs, which indicate a more proximal environment. The non-opaque phytoclasts and sporomorphs are darker in color, in association with a fraction of opaque phytoclasts, indicating a more oxidizing depositional area.

The samples collected at Praia da Falha outcrop correspond to the facies F2, F3, and F9 (Britto et al., 2023, their Fig. 4, p. 7). The basal samples (PF1) present in facies F3 and PF2 and PF3 present in facies F2, are associated with a more transitional environment, showing abundance of non-opaque phytoclasts, followed by palynomorphs and opaque phytoclasts within a fine to medium-grained sandstone. These data point to a proximal-transitional environment (Tyson, 1995). The samples PF4 and PF5 (facies F9 of Britto et al., 2023) show dominance of non-opaque phytoclasts, followed by palynomorphs (sporomorphs), which are typical of deposition in a proximal area relative to the fluvio-deltaic source, similar to the results of Crud et al. (2017).

Palynofacies II, which occurs in the Penha outcrop, is similar to palynofacies I from Praia da Falha outcrop (Fig. 5). However, the particles are dominated by non-opaque phytoclasts (more than 70%), particularly the non-biostructured ones, which are the first subgroup to be degraded by transport as they move away from the parent flora (Mendonça Filho et al., 2011). This abundance of non-opaque phytoclasts, as discussed above, is indicative of a more proximal depositional environment (Tyson, 1995; Carvalho et al., 2005; Fonseca-Silva et al., 2015; Teixeira et al., 2017; Vallejo et al., 2023). Based on the type of particles present and the lithology of the samples, we suggest that these were originated from a fluvial source and were also deposited on the shores of a lacustrine environment. Like the Praia da Falha outcrop, the Penha outcrop also has non-opaque phytoclasts and dark sporomorphs, as well as opaque phytoclasts as the second most abundant group, also indicative of a more oxidizing environment. This shallow/proximal context is also corroborated by the sedimentological interpretation of Silveira et al. (2023).

The high percentages of sporomorphs and low AOM present in the Praia da Falha and Penha outcrops are also indicative of proximal deposition and oxygenated areas. The spores are generally deposited close to the original flora and are not transported over long distances; they become scarce as they move away from proximal sources (Tyson, 1993, 1995; Mendonça Filho et al., 2010). In addition, the large quantity of spores (mainly triletes) may indicate the development of ferns vegetation around the depositional site, as well as humid conditions in the source area and subaqueous transport. Pollen grains can be transported in different ways and are found in a wide variety of environments. In a lacustrine setting, they are dispersed by air or water (Bauermaier et al., 2002). In the samples from Praia da Falha and Penha outcrops, spores are more abundant than pollen grains, indicating that the vegetation around these outcrops could be composed mainly of ferns. To date, no studies on the Maracangalha Formation found non-opaque phytoclasts to be more abundant than AOM (e.g., Portela et al., 2016; Amaral et al., 2020).

Samples that reflect Palynofacies III (P III) are located in the Mangueiros outcrop (Fig. 5), and has been interpreted as a relatively distal, lacustrine setting (Britto et al., 2023; Silveira et al., 2023). P III is dominated by amorphous organic matter (AOM) with predominance of thick morphologies and opaque phytoclasts (corroded). This may suggest fluvial derived sediment deposited in the most central part of the

lacustrine environment.

The association of the amorphous organic matter (AOM) and opaque phytoclasts (corroded), found in P III, indicates a suboxic-anoxic environment deposited in a low energy, distal portion relative to the source (Tyson, 1995; Mendonça Filho et al., 2010). This is reinforced by the lithology (mostly silt and clay) linked to this palynofacies. High percentages of AOM are typical of areas far away from intense sediment input (low energy environments), as there is a process of dilution by sporomorphs and phytoclasts (Tyson, 1993, 1995). The opaques are a result of oxidizing conditions and are either in proximity to terrestrial sources or a result of the redeposition of organic matter from a fluvio-deltaic setting (Tyson, 1989; Kholeif and Ibrahim, 2010; Carvalho et al., 2013). The abundance of phytoclasts relative to opaques suggests a proximity to a fluvio-deltaic source (Kholeif and Ibrahim, 2010). In general, phytoclasts can be transported in the same way as grains of silt and sand. However, opaque phytoclasts are more resistant to degradation and are the less dense particles among other phytoclasts, being able to be transported by suspension and deposited in distal environments (Tyson, 1995; Meyer et al., 2006). Corroded opaque phytoclasts are the most dominant subgroup among the opaque phytoclasts and are small in size, which is also indicative of distal deposition.

The abundance of opaque phytoclasts and AOM deposited together in the Mangueiros outcrop may be related to suspension fall-out. The studied facies correspond to the intercalation of thin sandstones and mudstones beds and shales, related to facies F9 and F10, respectively (Britto et al., 2023, their Fig. 2, p. 5). These facies are associated with low-density currents and deposition from suspended sediments, interpreted as a prodelta setting of the transversal system and lacustrine background deposits (see parent unit of Silveira et al., 2023).

Palynofacies IV occurs in the Gameleira outcrop and is dominated by amorphous organic matter (AOM) and non-opaque phytoclasts (non-biostructured, non-degraded) (Fig. 5). Similar to the Mangueiros outcrop, the deposition of the Gameleira outcrop also suggests river-derived sediment, but in a shallower context relative to the Mangueiros outcrop. This is indicated by the occurrence of non-opaque phytoclasts in association with AOM.

The Gameleira samples are from facies F9 (Britto et al., 2023, their Fig. 3, p. 6). The predominance of AOM and opaque phytoclasts in the samples indicates a distal, low-energy environment. The observed dominance of AOM may also be associated with low-density currents (cf. Mendonça Filho et al., 2011). The sedimentary processes and the palynofacies results support the interpretation of prodelta setting of the axial system for the Gameleira outcrop, as previously proposed by Silveira et al. (2023).

In the work of Britto et al. (2023), carried out in the outcrops of Gameleira, Mangueiros and Praia da Falha, carapaces and internal molds of non-marine ostracods with pyritization were recorded. The Mangueiros outcrop presented the most pyritized specimens, Praia da Falha had few specimens pyritized and Gameleira had no evidence of pyritization. According to Cai and Hua (2007), the presence of pyrite suggests anoxic conditions, which corroborates our results at the Mangueiros outcrop. The anoxia can also be evidenced by the dominance and intensity of AOM fluorescence, which varied in intensity from high to medium in the particles analyzed of palynofacies IV. According to Tyson (1995), when AOM and palynomorphs exhibit high fluorescence intensity, they indicate sedimentation in good conditions of preservation (i.e., an anoxic-dysoxic environment), and when AOM shows low or even no fluorescence, they indicate sedimentation in an oxic depositional environment.

Our results also corroborate those found by Amaral et al. (2020), who analyzed TOC, palynofacies, among other analyses, in the Reconcavo Basin (Maracangalha and Candeias Formations). In their study, AOM was identified as the dominant group, deposited under anoxic conditions. Portela et al. (2016) also obtained similar data, with high concentrations of AOM, followed by phytoclasts, in the Pojuca Formation.

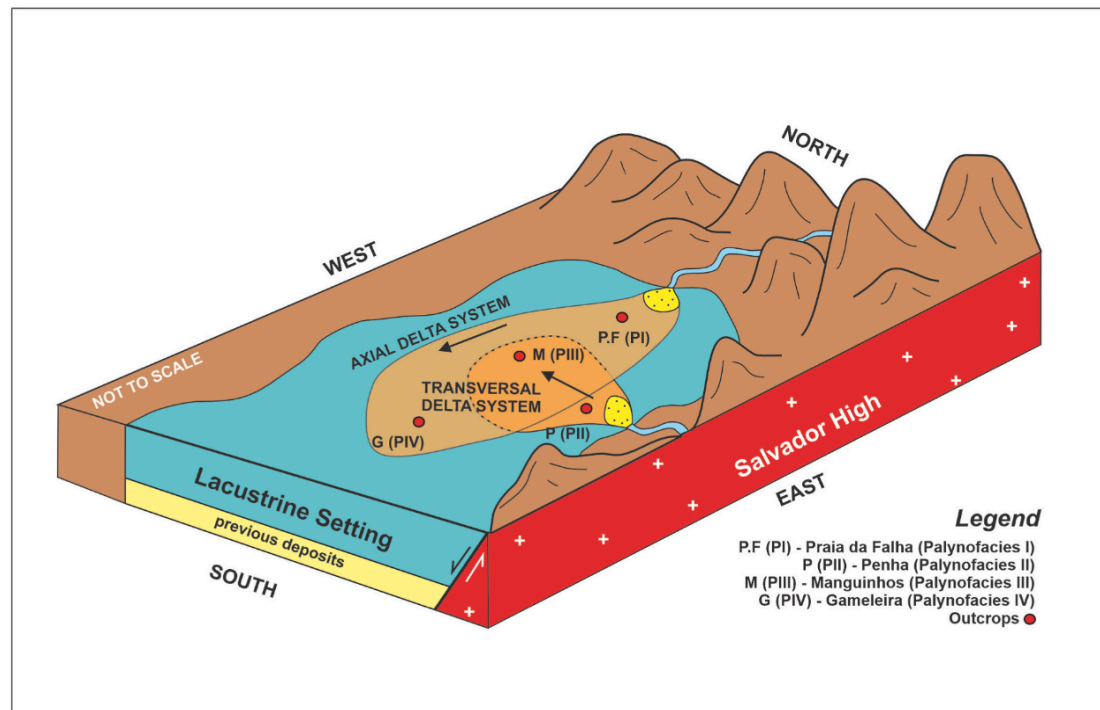


Fig. 6. Simplified depositional model of the study area showing the axial and transversal sediment-dispersal systems of the Maracangalha Formation and position of the outcrops.

Paleocurrents, petrography and geochemical data from the same studied outcrops of the Maracangalha Formation were recently published (see [Castro et al., 2023](#); [Silveira et al., 2023](#)). According to [Silveira et al. \(2023\)](#), the paleocurrents show two preferential trends of dispersion: southwards (Gameleira, Enseadado Sol and Porto Sobrado outcrops in the Itaparica Island); and westwards (Penha, Jaburu and Manguinhos in the Itaparica Island, and Ponta da Sapocain the city of Salvador). These results are also corroborated by [Castro et al. \(2023\)](#) in their provenance study based on petrographic and geochemical analyses of the same outcrops. For [Castro et al. \(2023\)](#), the outcrops showing southwards sediment dispersion show a slight increase in mineralogical maturity and are also slightly more clustered than those with a predominantly westwards flow trend.

In this context, the Praia da Falha and Gameleira outcrops are part of the same axial depositional system. The Praia da Falha outcrop was deposited at a most proximal area in a delta-front setting, and Gameleira in the more transitional-to distal area of the lacustrine environment in a prodelta setting ([Silveira et al., 2023](#)). The Penha and Manguinhos outcrops, on the other hand, are part of the transverse depositional system. The Penha outcrop was deposited closer to the proximal zones (delta front setting) of the lacustrine environment and the Manguinhos outcrop closer to the lake depocenter, dominated by shales (see also [Silveira, 2023](#)) ([Fig. 6](#)).

[Britto et al. \(2022\)](#), based on non-marine ostracods, assigned a Rio da Serra (Berriasian–Valanginian) age to the samples from the Manguinhos outcrop, and an Valanginian–Hauterivian age to the Praia da Falha outcrop. Data integration allows an interpretation that the Manguinhos and Penha outcrops, which belong to the transverse system ([Castro et al., 2023](#); [Silveira et al., 2023](#)), were deposited first when compared to the Praia da Falha and Gameleira outcrops of the axial system. The palynofacies results of the present study indicate a depositional trend controlled by a fluvio-deltaic input in a lacustrine environment. In general, the Praia da Falha and Penha outcrops suggest deposition close to the source, under oxic and high-energy conditions, due to the

predominance of non-opaque phytoclasts, deposited near the lake shore. In the Gameleira and Manguinhos outcrops, the particles found and the predominance of AOM suggest deposition further away from the depositional source, under suboxic-anoxic and low energy conditions, being deposited in a more distal part of the lacustrine environment.

5. Conclusion

This research provides insights on the paleoenvironmental conditions during the Early Cretaceous of the Recôncavo Basin based on palynofacies recorded in the Maracangalha Formation. Our outcrop data suggest a depositional trend that is strongly controlled by a fluvio-deltaic input to a lacustrine environment. The Praia da Falha and Penha outcrops suggest deposition close to the depositional source of the lacustrine environment. The Gameleira and Manguinhos outcrops suggest deposition further away from the depositional source, deposited in the center of the lacustrine environment. Due to the scarcity of studies using palynofacies in lake systems, we propose the use of this tool to better understand the lake paleoenvironment, since it shows good preservation of organic matter and is sensitive to climate change, making it a good indicator of continental paleoclimate.

CRediT authorship contribution statement

Valquíria Verônica da Silva: Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Enelise Katia Piovesan:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing – original draft. **Juan David Vallejo:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing – original draft. **Claus Fallgatter:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing – review & editing. **Deise Marli da Silveira:** Investigation, Writing – review & editing, Conceptualization, Methodology. **Fernando Farias Vesely:** Conceptualization, Investigation, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

Data will be made available on request.

Acknowledgments

The authors are grateful to the reviewers for their useful suggestions and comments. The first author thanks PETROBRAS (Avaliação dos Controles Sedimentológicos, Estratigráficos e Tectônicos na Distribuição e Qualidade de Reservatórios Siliciclásticos – project nº 2016/00284-7) and Federal University of Paraná (UFPR) for the samples. To the Laboratório de Micropaleontologia Aplicada (LMA) for the equipment conceded during sample preparation and analysis steps. The first author thanks PETROBRAS (“Bioestratigrafia de alta resolução e paleoambientes das bacias do Araripe, Tucano Norte e Jatobá, project n. 2019/00280-0) for its financial support. E.K. Piovesan would like to thank the support of Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (grant #309766/2021-4). D.M. Silveira thanks Petrobras for providing a graduate scholarship.

References

- Amaral, D.N.D., Cerqueira, J.R., Andrade, C.L.N.D., Ribeiro, H.J.P.S., Garcia, K.S., Oliveira, O.M., Santos, L.C.L.D., 2020. Paleoenvironmental characterization of a lower cretaceous section of the Recôncavo Basin, Bahia, Brazil. *Braz. J. Genet.* 50 (3), e20190058 <https://doi.org/10.1590/2317-4889202020190058>.
- Amorim, C.E.D.S., 2018. A Formação Maracangalha no compartimento sudoeste da Bacia do Recôncavo: sentido do fluxo e paleotensão associados. Dissertação (Mestrado). In: Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.
- Bastos, I.P., 2017. Bacia do Recôncavo-Sumário Geológico e Setores em Oferta. Agência Nacional do Petróleo. Recuperado de, Brasil. http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Reconcavo.pdf.
- Batten, D., 1996. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds.), *Palynology: Principles and Applications*, 3. American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation, pp. 1011–1064.
- Bauermann, S.G., Marques-Toigo, M., Behling, H., Neves, P.C.P., 2002. Aspectos tafonômicos em palinologia de Quaternário. *Pesquisas (Série Botânica)* 52, 223–239.
- Brito, I.M., Quadros, L.P., 1995. Retrabalhamento do Devoniano no Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe. *An Acad. Bras. Ciências* 67 (4), 493–496. Rio de Janeiro.
- Britto, D.D.M.M., Piovesan, E.K., da Silveira, D.M., Fallgatter, C., Grillo, J., 2022. Early cretaceous non-marine ostracods from the Recôncavo Basin, northeast of Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 116, 103841 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103841>.
- Britto, D.D.M.M., Piovesan, E.K., Marli da Silveira, D., Fallgatter, C., Vesely, F.F., 2023. Pyrite-bearing non-marine ostracods from the lower cretaceous Maracangalha formation, Recôncavo Basin, ne Brazil: depositional controls and paleoecological implications. *J. S. Am. Earth Sci.* 128, 104428 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104428>.
- Cai, Y., Hua, H., 2007. Pyritization in the gaojianshan biota. *Chin. Sci. Bull.* 52, 645–650. <https://doi.org/10.1007/s11434-007-000>.
- Caixeta, J.M., Bueno, G.V., Magnavita, L.P., Feijo, F.J., 1994. Bacias do Recôncavo-Tucano e Jatobá. *Bol. Geociências Petrobras* 8 (1), 163–172.
- Carvalho, M.D.A., de Oliveira, D.D.C., Machado, L.G., Mendonça Filho, J.G., 2005. Sedimentação Albo-Aptiana de partículas vegetais (fitoclastos) em rochas do Membro Taquari, Formação Riachuelo, bacia de Sergipe, Brasil. *Arq. Mus. Nac.* 63 (3), 411–424.
- Carvalho, M.D.A., Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., 2006. Paleoenvironmental reconstruction based on palynofacies analysis of the aptian-albian succession of the sergipe basin, northeastern Brazil. *Mar. Micropaleontol.* 59 (1), 56–81. <https://doi.org/10.1016/j.marmpaleo.2006.01.001>.
- Carvalho, M.A., Ramos, R.R.C., Crud, M.B., Witovisk, L., Kellner, A.W.A., Silva, H.P., Grillo, O.N., Riff, D., Romano, P.S.R., 2013. Palynofacies as indicators of paleoenvironmental changes in a cretaceous succession from the larsen basin, james ross island, Antarctica. *Sediment. Geol.* 295, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.08.002>.
- Castro, A.P., Guedes, C.C.F., Vesely, F.F., Silveira, D.M., Neves, L.F., 2023. Provenance, diagenesis and reservoir quality of sandstone facies of the Maracangalha Formation, Recôncavo Basin–northeastern Brazil. *Recôncavo Basin–Northeastern Brazil 158 (Part B)*, 106548. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106548>, 10.
- Cerqueira, M.L.A.D., 2014. Caracterização do conteúdo orgânico e posicionamento palinoestratigráfico de sedimentos eocretáceos na área de Aramar, Bacia do Recôncavo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia.
- Coura, A.P.P., 2006. Análise de fácies da Formação Maracangalha (Cretáceo Inferior) no campo de gás de Jacupe, Bacia do Recôncavo (BA). In: Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências. da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
- Crud, M.B., Carvalho, M.D.A., Ramos, R.R.C., 2017. Inferências paleoambientais a partir de análise de palinofácies da Formação Hidden Lake (Coniaciano, Cretáceo), Bacia Larsen, Ilha James Ross, Antártica. *Rev. Bras. Palaontol.* 20 (1), 101–114. <https://doi.org/10.4072/rbp.2017.1.08>.
- Fonseca-Silva, F.M.F.D., Carvalho, M.D.A., Ribeiro, S.P., 2015. Caracterização da matéria orgânica particulada dos últimos 10 mil anos a partir de um testemunho do Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brasil: implicações paleoambientais. *Rev. bras. paleontol.* 18 (1), 161–170. <https://doi.org/10.4072/rbp.2015.1.11>.
- Freire, A.F.M., Leite, C.D.M.M., Oliveira, F.M.D., Guimarães, M.F., Milhomem, P.D.S., Pietzsch, R., d'Ávila, R.S.F., 2017. Fluid escape structures as possible indicators of past gas hydrate dissociation during the deposition of the Barremian sediments in the Recôncavo Basin, NE, Brazil. *Braz. J. Genet.* 47, 79–93. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201720160090>.
- Gonzalez, L.D.C., Mendonça Filho, J.G., Gomes, S.B.C., Mastalerz, M., 2019. Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleambiental dos Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil). *Anu. do Inst. Geociências* 42 (3), 609–623. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2020.103482>.
- Guerra, G.S., 2002. Fácies sedimentares dos membros Caruaçu e Pitanga da Formação Maracangalha (cretáceo da Bacia do Recôncavo). In: Monografia (Graduação Em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Kholeif, S., Ibrahim, M., 2010. Palynofacies analysis of inner continental shelf and middle slope sediments offshore Egypt, south-eastern mediterranean. *Geobios* 43 (3), 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2009.10.006>.
- Klein, G., Mello, U., Della Favera, J.C., 1972. Subaqueous gravity processes on the front of cretaceous deltas, Recôncavo Basin, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83, 1469–1492. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[1469:SGPOTF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1469:SGPOTF]2.0.CO;2).
- Kuchle, J., Scherer, C.M.S., Born, C.C., Alvarenga, R.S., Adegas, F., 2011. A contribution to regional stratigraphic correlations of the Afro-Brazilian depression–The Dom João Stage (Brotas Group and equivalent units–Late Jurassic) in Northeastern Brazilian sedimentary basins. *J. S. Am. Earth Sci.* 31 (4), 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.007>.
- Magacho, B.P., 2011. Estudo palinoestratigráfico e de petrografia orgânica do Cretáceo inferior da Bacia do Recôncavo. In: Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação de Análise de Bacias e Faixa Móvel, Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Magnavita, L.P., Silva, R.S., Sanches, C.P., 2005. Roteiros geológicos: Guia de Campo da Bacia do Recôncavo, NE do Brasil. In: Geoci, B. (Ed.), *Petrobras*, pp. 301–334. Rio de Janeiro, v. 13, n. 2.
- Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., Oliveira, A.D., Carvalho, M.A., Sant'Anna, A.J., Souza, J.T., 2010. Palinofácies. In: paleontologia: conceitos e métodos, 3a ed. Ismar de Souza Carvalho, Rio de Janeiro, pp. 289–317. 1.
- Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., 2011. Organic composition (palynofacies analysis). In: 4th ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter, pp. 301–334, 33–81 (Chapter 5). Petrobras, 13.
- Meyer, K.E.B., de Souza, P.A., Cwik, M.R., Menezes, T.R., Buchmann, F.S., 2006. Palinofácies e processos deposicionais em sedimentos de fundo da Lagoa dos Quadros, planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Braz. J. Genet.* 36 (4), 569–576.
- Nichols, G., 2009. *Lakes*. In: *Sedimentology and Stratigraphy*. John Wiley & Sons, pp. 151–161.
- Pons, D., Berthou, P.Y., Figueira, J.B.M., Sampaio, J.J.A., 1996. Palynologie des unités lithostratigraphiques “Fundão”, “Crato” et “Ipubi” (Aptien supérieur à Albien inférieur-moyen, bassin d’Araripe, NE du Brésil): enseignements stratigraphiques et climatologiques. In: Jardine, S., Klasz, I., Debenay, J.P. (Eds.), *Géologie de L’Afrique et de L’Atlantique sud*. C. R. Colloques de Géologie d’Angers, 1994, Angers, France. Bulletin des Centres de Recherches Exploration Production Elf-Aquitaine, Édition, Mémoire, 16, pp. 383–401. France.
- Portela, H.A., Antonioli, L., Oliveira, R.M.A.G., Amaral, P.F., Dino, R., 2016. Análise de palinofácies Na avaliação do potencial gerador da formação Pojuca, bacia do Recôncavo. *Rev. Bras. Palaontol.* 19 (2), 271–282. <https://doi.org/10.4072/rbp.2016.2.10>.
- Santos, C.F., Braga, J.A.E., 1990. O “Estado da Arte” da Bacia do Recôncavo. In: Geoci, B. (Ed.), *PETROBRÁS*, pp. 35–43. Rio de Janeiro, 4 (1).
- Silva, O.B., Caixeta, J.M., Milhomem, P.S., Kosin, M.D., 2007. Bacia do Recôncavo. In: Geoci, B. (Ed.), *Petrobras*, pp. 423–431. Rio de Janeiro, v. 15, n. 2.
- Silva, R.L., Mendonça Filho, J.G., Azeredo, A.C., Duarte, L.V., 2013. Palinofácies e caracterização de matéria orgânica da Formação de Cabaços (Bacia Lusitânica): contributos para a discriminação das dinâmicas paleobiológicas e paleoambientais em meios carbonatados predominantemente não-marinhos. *Comunicações Geológicas* 100 (Especial I), 113–118. <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/141>.
- Silveira, D.M., 2023. Processos de deposição e remobilização de sedimentos no registro sin-rifte da Bacia do Recôncavo, Brasil. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia.
- Silveira, D.M., Vesely, F.F., Fallgatter, C., Rodrigues, M.C.N.D.L., de Castro, A.P., 2023. The Maracangalha injectite complex: an overlooked hydrocarbon play in the Lower Cretaceous Recôncavo Basin, NE Brazil. *Mar. Petrol. Geol.* 158, 106529 <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106529>.
- Talbot, M.R., Allen, P.A., 1978. *Lakes*. In: Reading, H.G. (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, pp. 83–124.

- Teixeira, M.C., Mendonça Filho, J.G., de Oliveira, A.D., Assine, M.L., 2017. Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental. *Geol. Usp. Série Científica* 17 (4), 19–44. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v17-347>.
- Trindade, V.S.F., de Araujo Carvalho, M., Borghi, L., 2015. Palynofacies patterns of the devonian of the parnaíba basin, Brazil: paleoenvironmental implications. *J. S. Am. Earth Sci.* 62, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.06.001>.
- Tyson, R.V., 1989. Late jurassic palynofacies trends, piper and kimmeridge clay formation, UK onshore and offshore. In: Batten, D.J., Keen, M.C. (Eds.), *Northwest European Micropalaeontology and Palynology British Micropalaeontological Society Series*, pp. 135–172.
- Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis. In: Jenkins, D.G. (Ed.), *Applied Micropaleontology*. Kluwer Academic Publishers, pp. 153–191.
- Tyson, R.V., 1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Chapman & Hall, Londres, p. 615.
- Vallejo, J.D., Piovesan, E.K., de Araujo Carvalho, M., Guzmán, J., 2023. Palynofacies analyses of santana group, upper aptian of the Araripe Basin, northeast Brazil: paleoenvironmental reconstruction. *J. S. Am. Earth Sci.* 121, 104154 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104154>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa fornece contribuições sobre as condições paleoambientais durante o Cretáceo Inferior da Formação Maracangalha. Os nossos dados de afloramento sugerem uma tendência deposicional que é fortemente controlada por uma entrada fluvial-deltaica para um ambiente lacustre. Onde os afloramentos da Praia da Falha e da Penha sugerem deposição próxima à fonte deposicional do ambiente lacustre. Os afloramentos de Gameleira e Manguinhos sugerem deposição mais afastada da fonte deposicional, depositada no centro do ambiente lacustre.

Este trabalho é de grande importância por ser um dos poucos a utilizar palinofácies para inferir paleoambientes deposicionais em um sistema lacustre. É também o primeiro estudo a utilizar palinofácies para estudar paleoambientes deposicionais nos afloramentos da Praia da Falha, Penha, Gameleira e Manguinhos. Devido à escassez de estudos utilizando palinofácies em sistemas lacustres, sugere-se a proposição de novos estudos utilizando palinofácies como ferramenta para melhor compreender o paleoambiente lacustre, uma vez que este apresenta boa preservação de matéria orgânica e é sensível às mudanças climáticas, tornando-se um bom indicador do paleoclima continental.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, D.; WARME, J. E. **Lacustrine and associated deposits in a rifted continental margin – Lower Cretaceous Lagoa feia Formation, Campos Basin, offshore Brazil.** In: KATZ, B. J. (Ed.) *Lacustrine basin exploration: case studies and modern analogs*. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, AAPG. Special Publication, 50: 287–305, 1990.
- AMARAL, D. N. D.; CERQUEIRA, J. R.; ANDRADE, C. L. N. D.; RIBEIRO, H. J. P. S.; GARCIA, K. S.; OLIVEIRA, O. M.; SANTOS, L. C. L. D. **Paleoenvironmental characterization of a Lower Cretaceous section of the Recôncavo Basin, Bahia, Brazil.** *Brazilian Journal of Geology*, 50(3): e20190058, 2020. doi:10.1590/2317-4889202020190058
- AMORIM, C.E.S. **A Formação Maracangalha no compartimento sudoeste da Bacia do Recôncavo: sentido do fluxo e paleotensão associados.** 2018. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- BASTOS, I. P. **Bacia do Recôncavo-Sumário Geológico e Setores em Oferta.** Brasil: Agência Nacional do Petróleo. Recuperado de http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Reconcavo.pdf, 2017.
- BRITTO, D.D.M.M.; PIOVESAN, E.K.; DA SILVEIRA, D.M.; FALLGATTER, C., GRILLO, J. **Early Cretaceous non-marine ostracods from the Recôncavo Basin, Northeast of Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, 116, 103841, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103841>
- BRITTO, D.D.M.M.; PIOVESAN, E.K.; MARLI DA SILVEIRA, D.; FALLGATTER, C.; VESELY, F.F. **Pyrite-bearing non-marine ostracods from the lower cretaceous Maracangalha formation, Recôncavo Basin, ne Brazil: Depositional controls and paleoecological implications.** *Journal of South American Earth Sciences*, 128, 104428, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104428>.
- CAIXETA, J.M.; BUENO, G.V.; MAGNAVITA, L.P.; FEIJO, F.J. **Bacias do Recôncavo-Tucano e Jatobá, vol. 8.** *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8 (1), 163–172, 1994.
- CARVALHO, M. A.; MENDONÇA FILHO, J. G.; & MENEZES, T. R. **Paleoenvironmental reconstruction based on palynofacies analysis of the Aptian–Albian succession of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil.** *Marine Micropaleontology*, 59(1), 56-81, 2006. doi:10.1016/j.marmicro.2006.01.001
- CARVALHO, M. A.; RAMOS, R.R.C.; CRUD, M.B.; WITOVISK, L.; KELLNER, A.W.A., SILVA, H.P.; GRILLO, O.N.; RIFF, D. & ROMANO, P.S.R. **Palynofacies as indicators of paleoenvironmental changes in a Cretaceous succession from the Larsen Basin, James Ross Island, Antarctica.** *Sedimentary Geology*, 295:53–66, 2013. doi:10.1016/j.sedgeo.2013.08.002.

CASTRO, A. P.; GUEDES, C. C. F.; VESELY, F. F.; SILVEIRA, D. M.; NEVES, L. F. **Provenance, Diagenesis and Reservoir Quality of Sandstone Facies of the Maracangalha Formation, Recôncavo Basin–Northeastern Brazil**. Recôncavo Basin–Northeastern Brazil, Vol. 158, Part B, 10 106548, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106548>

CERQUEDA, M. L. A. D. **Caracterização do conteúdo orgânico e posicionamento palinoestratigráfico de sedimentos eocretáceos na área de Aramari Bacia do Recôncavo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, 2014.

COMBAZ, A. **Les palynofacies**. Revista de Micropaléontologie, 7:205-218, 1964.

COSTA, I. P.; BUENO, G. V.; MILHOMEM, P. D. S.; SILVA, H. S. R. L.; KOSIN, M. D. **Sub-bacia Tucano Norte e Bacia do Jatobá**. Boletim Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 445-453, 2007.

COURA, A. P. P. **Análise de fácies da Formação Maracangalha (Cretáceo Inferior) no campo de gás de Jacuípe, Bacia do Recôncavo (BA)**. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2006.

CRUD, M. B.; CARVALHO, M. A.; RAMOS, R. R. C. **Inferências paleoambientais a partir de análise de palinofácies da Formação Hidden Lake (Coniaciano, Cretáceo), Bacia Larsen, Ilha James Ross, Antártica**. Revista Brasileira de Paleontologia, 20(1), 101-114, 2017. doi: 10.4072/rbp.2017.1.08

FREIRE, A. F. M.; LEITE, C. D. M. M.; OLIVEIRA, F. M. D.; GUIMARÃES, M. F.; MILHOMEM, P. D. S.; PIETZSCH, R.; D'ÁVILA, R. S. F. **Fluid escape structures as possible indicators of past gas hydrate dissociation during the deposition of the Barremian sediments in the Recôncavo Basin, NE, Brazil**. Brazilian Journal of Geology, 47, 79-93, 2017. doi: 10.1590/2317-4889201720160090

GONZALEZ, L. D. C.; MENDONÇA FILHO, J. G.; GOMES, S. B. C.; MASTALERZ, M. **Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleoambiental dos Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil)**. Anuário do Instituto de Geociências, 42(3), 609-623, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2020.103482>

GUERRA, G. S. **Fácies sedimentares dos membros Caruaçu e Pitanga da Formação Maracangalha (cretáceo da Bacia do Recôncavo)**. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

KLEIN, G.; MELLO, U.; DELLA FAVERA, J.C. **Subaqueous Gravity Processes on the front of Cretaceous Deltas, Recôncavo Basin, Brazil**. Geological Society of America Bulletin, 83:1469-1492, 1972. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[1469:SGPOTF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1469:SGPOTF]2.0.CO;2)

KUCHLE, J.; SCHERER, C.M.S.; BORN, C.C.; ALVARENGA, R.S.; ADEGAS, F. A **contribution to regional stratigraphic correlations of the Afro-Brazilian**

depression–The Dom João Stage (Brotas Group and equivalent units–Late Jurassic) in Northeastern Brazilian sedimentary basins. Journal of South American Earth Sciences, 31(4), 358-371, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.007>.

KUCHLE, J.; SCHERER, C.M.S. **Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo.** Boletim de Geociências da Petrobras, 18 (2): 33–60, 2010.

MAGACHO, B.P. **Estudo palinoestratigráfico e de petrografia orgânica do Cretáceo inferior da Bacia do Recôncavo.** Dissertação de mestrado, Pós-Graduação de Análise de Bacias e Faixa Móvel, Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011.

MAGNAVITA, L. P.; SILVA, R. S.; SANCHES, C. P. **Roteiros geológicos:** Guia de Campo da Bacia do Recôncavo, NE do Brasil. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 301-334, 2005.

MENDONÇA FILHO, J.G.; MENEZES, T.R.; MENDONÇA, J.O.; OLIVEIRA, A.D.; CARVALHO, M. A.; SANT'ANNA, A.J.; SOUZA, J.T. **Paleontologia: Conceitos e Métodos.** In: Palinofáceis. 3º ed. Vol. 1. Rio de Janeiro, p.289-317, 2010.

MENDONÇA FILHO, J.G.; MENEZES, T.R.; MENDONÇA, J.O. **Organic composition (palynofacies analysis).** In: 4th ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter, pp. 33–81 (Chapter 5). Petrobras, 13, p.301-334, 2011.

MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; NETO, O.P. **Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas.** Boletim de Geociências da Petrobras, 15 (2): 183–205, 2007.

MILHOMEM, P.S.; DE MAMAN, E.J.; OLIVEIRA, F.M.; CARVALHO, M.S.S.; SOUZA-LIMA, W. **Bacias sedimentares brasileiras - Bacia do Recôncavo.** Paleontológica Phoenix, v. 5, n. 51, 2003.

NICHOLS, G. **Lakes.** In: Sedimentology and stratigraphy. John Wiley & Sons: 151-161, 2009.

PORTELA, H. A.; ANTONIOLI, L.; OLIVEIRA, R. M. A. G.; AMARAL, P. F.; DINO, R. **Análise De Palinofácies Na Avaliação Do Potencial Gerador Da Formação Pojuca, Bacia Do Recôncavo.** Revista Brasileira de Paleontologia, 19(2), 271-282, 2016. doi: 10.4072/rbp.2016.2.10.

PROTHERO, D. R.; SCHWAB, F. **Terrestrial Sedimentary Environments.** In: Sedimentary Geology. An Introduction to Sedimentary Rocks and Stratigraphy. New York: WH Freeman: 135-160, 1996.

SANTOS, C. F.; BRAGA, J. A. **O “estado da arte” da Bacia do Reconcavo.** Boletim de Geociências da Petrobras, 4 (1): 35-43, 1990.

SILVA, F. M. F. **Reconstituição paleoambiental com base na assembleia palinoflorística e palinofácies de sedimentos holocênicos do Parque Estadual do Rio Doce/MG.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Evolução e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

SILVA, O.B.; CAIXETA, J.M.; MILHOMEM, P.S.; KOSIN, M.D. **Bacia do Recôncavo.** B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 423-431, 2007.

SILVA, R. L.; MENDONÇA FILHO, J. G.; AZERÊDO, A. C.; DUARTE, L. V. **Palinofácies e caracterização de matéria orgânica da Formação de Cabaços (Bacia Lusitânica): contributos para a discriminação das dinâmicas paleobiológicas e paleoambientais em meios carbonatados predominantemente não-marinhos.** Comunicações Geológicas, 100, Especial I, 113-118, 2013. Disponível em: <http://www.Ineg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/141>.

SILVEIRA, D. M. **Processos de deposição e remobilização de sedimentos no registro sin-rifte da Bacia do Recôncavo, Brasil.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2023.

SILVEIRA, D. M.; VESELY, F. F.; FALLGATTER, C.; RODRIGUES, M. C. N. D. L.; & DE CASTRO, A. P. **The Maracangalha injectite complex: An overlooked hydrocarbon play in the Lower Cretaceous Recôncavo Basin, NE Brazil.** Marine and Petroleum Geology, 158, 106529, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106529>

TALBOT, M. R.; ALLEN, P. A. **Lakes.** In: Reading, HG (ed.) Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy: 83-124, 1978.

TEIXEIRA, M. C.; MENDONÇA FILHO, J. G.; DE OLIVEIRA, A. D.; ASSINE, M. L. **Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental.** Geologia USP. Série Científica, 17(4), 19-44, 2017. doi: 10.11606/issn.2316-9095.v17-347

TRINDADE, V. S. F.; CARVALHO, M. A.; BORGHI, L. **Palynofacies patterns of the Devonian of the Parnaíba Basin, Brazil: Paleoenvironmental implications.** Journal of South American Earth Sciences, 62, 164-175, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.06.001>

TYSON, R.V. **Palynofacies Analysis.** In: D.G Jenkins (ed.) Applied Micropaleontology, Kluwer Academic Publishers, p. 153-191, 1993.

TYSON, R.V. **Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies.** London, Chapman & Hall, 615 p, 1995.

VALLEJO, J. D.; PIOVESAN, E. K.; CARVALHO, M. A.; & GUZMÁN, J. **Palynofacies analyses of Santana Group, upper Aptian of the Araripe Basin, northeast**

Brazil: Paleoenvironmental reconstruction. Journal of South American Earth Sciences, 121, 104154, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104154>

VIANA, C.F.; GAMA, J.E.G.; SIMÕES, I.D.A.; MOURA, J.A.; FONSECA, J.D.R.; ALVES, R.J. **Revisão estratigráfica da bacia Recôncavo/Tucano.** Boletim técnico da Petrobras, 14 (3-4): 157–192, 1971.