



Mudanças Paleoambientais Baseadas em Palinofácies do Intervalo Albiano – Maastrichtiano da Bacia Pernambuco, Nordeste do Brasil
Paleoenvironmental Changes Based on Palynofacies Analysis of the Albian – Maastrichtian Interval of the Pernambuco Basin, Northeast Brazil

Juan David Vallejo Ramírez¹; Marcelo de Araujo Carvalho²;
Viviane Segundo Faria Trindade²; Sônia Maria Oliveira Agostinho da Silva¹ & Mario Lima Filho¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Sedimentar e Ambiental, Avenida Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 50.740-530, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Museu Nacional, Departamento de Geologia e Paleontologia, Laboratório de Paleoecologia Vegetal, Quinta da Boa Vista s/n, 20940-040, São Cristóvão, Rio de Janeiro, Brasil
E-mails: juandavidv85@gmail.com; mcarvalho@mn.ufrj.br; vivisfrindade@gmail.com; sonia@ufpe.br; mflf@ufpe.br

Recebido em: 23/03/2018 Aprovado em: 14/09/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_186_194

Resumo

Com o intuito de inferir condições paleoambientais para o Cretáceo da Bacia de Pernambuco, análises de palinofácies foram realizadas em 26 amostras coletadas no poço IATE 1-LABIO-PE3. O estudo compreende o intervalo Albiano-Maastrichtiano representado pelas formações Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame. Seis associações de partículas de matéria orgânica foram estabelecidas: Matéria orgânica amorfa (MOA), Opacos, Não-opacos, Degradados, Esporomorfos e Marinhos. As mudanças na abundância das partículas orgânicas permitiram a identificação de quatro intervalos paleoambientais, que coincidem com as formações estudadas. Os resultados indicam uma mudança de paleoambientes marinho muito raso com influência fluvio-deltaica para um marinho mais aberto, refletindo uma progressiva influência marinha na seção estudada.

Palavras-chave: Bacia de Pernambuco; Variações do nível do mar; Cretáceo; Matéria orgânica

Abstract

In order to infer paleoenvironmental changes for the Cretaceous of the Pernambuco Basin, 26 samples collected in the IATE 1-LABIO-PE3 well were analyzed. The study includes the Albian-Maastrichtian interval, which represent the Cabo, Estiva, Itamaracá and Gramame formations. Six association of organic matter particles were established: Amorphous organic matter (AOM), Opaque, Non-opaque, Degraded, Sporomorph and Marine. The changes in the abundance of organic particles allowed the identification of four paleoenvironments, which coincide with the formations studied. The results indicate a change from a very shallow marine environment with a fluvio-deltaic influence to a more open marine environment, reflecting a progressive marine influence in the studied section.

Keywords: Pernambuco Basin; Sea-level changes; Cretaceous; organic matter

1 Introdução

A Bacia de Pernambuco está localizada na costa nordeste do Brasil e foi formada durante a fragmentação do supercontinente Gondwana, como resultado do movimento trans-tensional no Albiano. A bacia desempenha importante papel na compreensão dos processos deposicionais envolvidos na abertura do Atlântico Sul, devido à separação entre a América do Sul e a África (Rand & Mabesone, 1982; Lima Filho, 1998; Barbosa & Lima Filho, 2006).

Diferentes ambientes deposicionais decorrentes da abertura supracitada estão refletidos na variabilidade litológica encontrada nos depósitos cretáceos dessa bacia. Sabe-se que a análise da matéria orgânica sedimentar (palinofácies) é uma ferramenta valiosa para verificar condições paleoambientais em diferentes depósitos de pelíticos, visto que a sua distribuição é controlada por processos biológicos e geológicos. Sua importância para determinação de paleoambientes pode ser comprovada em diversos estudos (e.g. Gorin & Steffen, 1991; Tyson, 1995; Bombardiere & Gorin, 2000; Oboh-Ikuenobe *et al.*, 2005).

Para as bacias marginais do Cretáceo brasileiro, análises de palinofácies foram realizadas especialmente para o intervalo Aptiano-Turoniano da Bacia de Sergipe (e.g. Carvalho *et al.*, 2006a, 2006b; Santos *et al.*, 2013). Nesses estudos foram evidenciadas mudanças paleoambientais que refletem essencialmente o aumento da influência marinha na região, provavelmente relacionada à separação dos continentes Sul-Americano e Africano. Entretanto, para o Cretáceo da Bacia Pernambuco, o presente trabalho traz o primeiro estudo da deposição matéria orgânica sedimentar. Por isso, nesse estudo a análise de palinofácies tem como objetivo inferir ambientes deposicionais das formações Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame e sua evolução durante o intervalo Albiano-Maastrichtiano.

2 Contexto Geológico

A Bacia Pernambuco compreende uma margem de rift do tipo atlântico (Buarque *et al.*, 2016) localizada na margem oriental da Província de Bor-

borema (PB) no Nordeste do Brasil (Figura 1). A Bacia Pernambuco é separada da Bacia de Alagoas ao sul pelo Alto Maragogi-Barreiros e ao norte separada da Bacia da Paraíba pela zona de cisalhamento Pernambuco (Buarque *et al.*, 2016) (ver figura 1).

As unidades estratigráficas estudadas compreendem as formações do Cretáceo: Cabo, Estiva, Itamaracá e Gramame, com exceção da Formação Beberibe (Figura 2).

A Formação Cabo depositada durante Aptiano-Albiano (Feijó, 1994) é constituída por conglomerados polimodais em matriz argilosa, além de siltitos, argilitos e folhelhos (Lima-Filho, 1998; Nóbrega & Lima-Filho, 2003).

A Formação Estiva consiste de calcário dolomítico e intercalações de argila, além das rochas siliciclásticas como argilito, siltito, folhelho e arenito (Tomé *et al.*, 2006) depositada em uma plataforma carbonática rasa durante o Cenomaniano-Turoniano (Lima & Pedrão, 1989; Lima-Filho, 1998).

A Formação Itamaracá é caracterizada por depósitos costeiros (estuários e lagoas) depositadas em uma rampa carbonática contendo fósseis marinhos. A formação é composta por arenito calcífero, folhelho e calcário atribuída ao Santoniano (Beurlen, 1967) e ao início do Campaniano (Barbosa *et al.*, 2003).

A Formação Gramame é composta por calcários margosos, dolomíticos detríticos e espessos níveis de marga ricos em fósseis marinhos, depositadas entre o Campaniano superior e Maastrichtiano (Muniz, 1993) em uma plataforma carbonática (Beurlen, 1967; Barbosa *et al.*, 2003).

3 Seção Estudada

O poço Iate 1-LABIO-PE3 foi perfurado na borda norte da Bacia Pernambuco (8°02'24"S e 34°51'58.82"O), adjacente ao limite com a Bacia Paraíba (ver figura 1). Na seção estudada (Figura 3) estão representadas as formações: 1) Formação Cabo (143,8 a 84,0 m), constituída por argilitos marrons na base e arenitos na parte superior; 2) Formação Estiva (84,23 a 77 m) constituída de arenitos finos à médios de cor cinza intercalados com folhelhos e

Mudanças Paleoambientais Baseadas em Palinofácies do Intervalo Albiano – Maastrichtiano da Bacia Pernambuco, Nordeste do Brasil
 Juan David Vallejo Ramirez; Marcelo de Araujo Carvalho; Viviane Segundo Faria Trindade; Sônia Maria Oliveira Agostinho da Silva & Mario Lima Filho

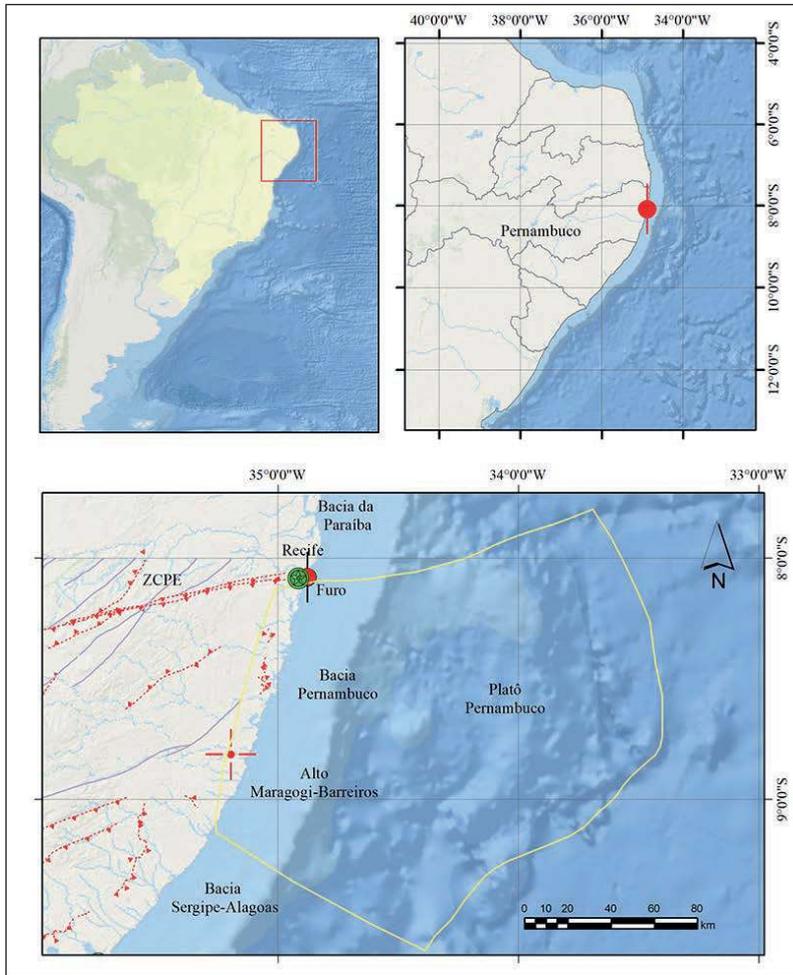


Figura 1 Mapa que mostra a localização da Província de Borborema (PB) no Nordeste do Brasil, lugar da Bacia Pernambuco mostrando seus limites e o furo (1-LABIO-PE3). Em vermelho falhas e zonas de cisalhamento, ZCPE (zonas de cisalhamento Pernambuco).

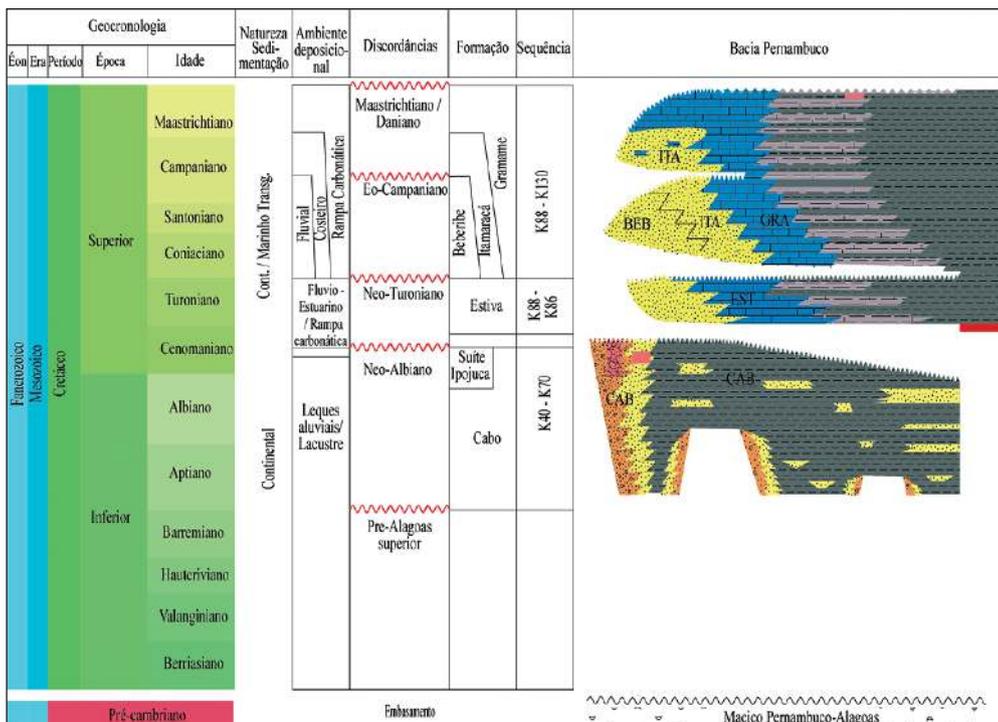


Figura 2 Carta estratigráfica da Bacia Pernambuco (modificado de Córdoba et al., 2007).

argilitos contendo fragmentos de plantas e partículas de carvão; 3) Formação Itamaracá (71,9 a 56,8 m) constituída por arenitos silicificados intercalados por finas camadas de argilitos; e 4) Formação Gramame (52,1 a 41,66 m) constituída de calcarenitos de cor cinza bioturbados e calcário dolomítico.

4 Material e Métodos

O estudo foi realizado utilizando 26 amostras coletadas ao longo do poço Iate 1-LABIO-PE3. A

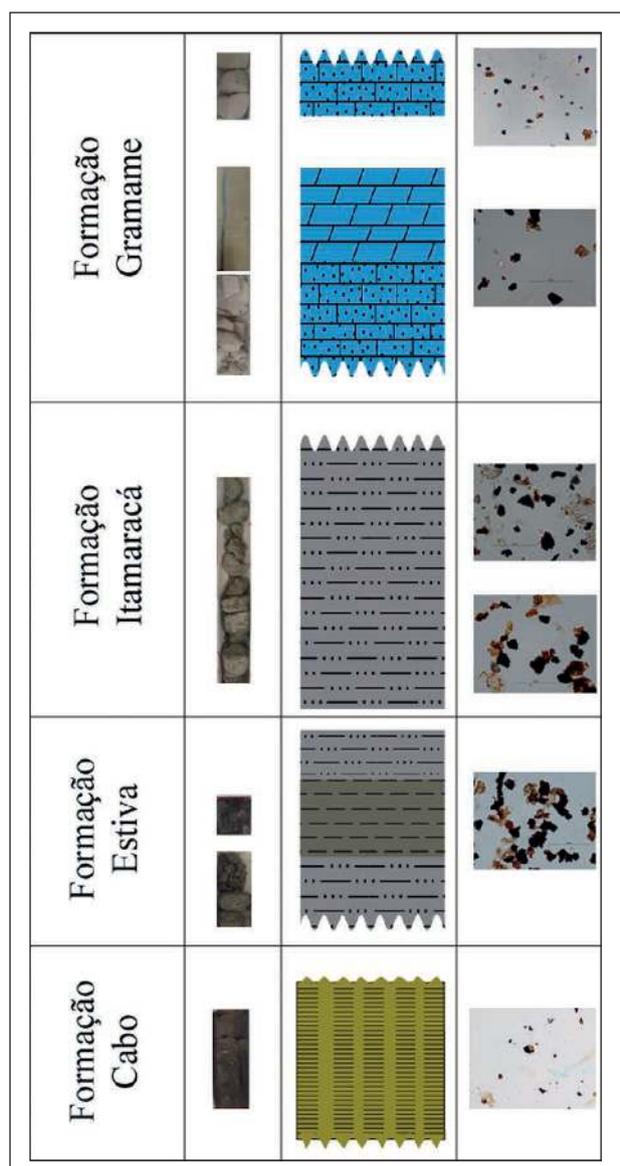


Figura 3 Perfil estratigráfico das formações estudadas, fotos do testemunho (Iate 1-LABIO-PE3) e fotos (20x) da matéria orgânica sedimentar.

preparação realizada no Laboratório de Paleocologia Vegetal do Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, seguiu a metodologia padrão não oxidativa descrita por Tyson (1995), utilizando HCl (37%) e HF (40%) para eliminar os constituintes minerais e concentrar a matéria orgânica (MO). O método utilizado para classificar foi baseado em Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2011). Um total de 300 partículas orgânicas foram contadas por amostra e transformadas em percentual. As amostras foram depositadas no LAGESE-Departamento de Geologia Centro de Tecnologia e Geociências Universidade Federal de Pernambuco.

5 Resultados

5.1 Grupos de Matéria Orgânica

Os três principais grupos e subgrupos da MOP foram identificados: Fitoclasto (subgrupos: opacos alongado e equidimensional, não opacos bioestruturado e não bioestruturado e cutículas), Palinomorfo (subgrupos: cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos, esporos, grãos de pólen e prasinófitas) e Amorfo (subgrupos: matéria orgânica amorfa, pseudoamorfa e resinas) (Figura 4).

5.2 Associações da Matéria Orgânica Particulada (MOP)

Seis associações da MOP foram estabelecidas com base na origem e estado de preservação, sendo designadas pela partícula mais dominante: MOA, Degradados (pseudoamorfa, cutículas e fitoclastos degradados), Não-opacos (resina, cutículas, hifas de fungo, fitoclastos não-opacos não bioestruturados e bioestruturados), Opacos (fitoclastos opacos), Esporomorfos (grãos de pólen, esporos e esporos de fungos) e Marinhos, (cistos de dinoflagelados e algas prasinófitas).

A Associação Opacos é a mais abundante (média 38%), especialmente na Formação Cabo onde alcança 52,3% do total da MOP. A Palinofácies Esporomorfos é menos abundante com média de apenas 2,6% (Tabela 1).

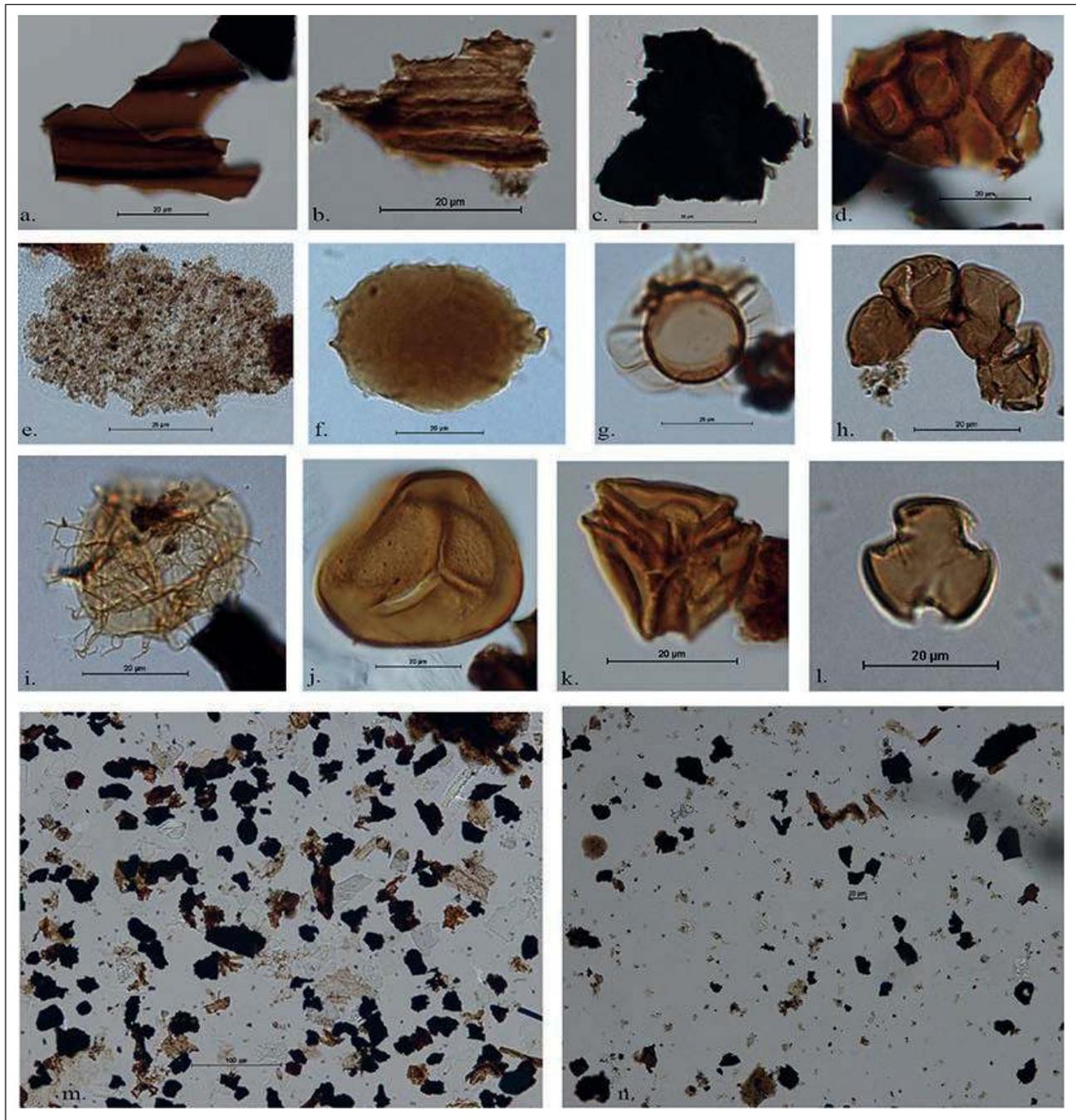


Figura 4 Partículas identificadas. Fotografias em 100x: a-b) Fitoclasto não opaco bioestruturado; c) Fitoclasto opaco; d) Cutícula; e) MOA; f) Resina; g) Prasinófita; h) Palinoforaminífero; i) Cisto de dinoflagelado; j) Esporo trilete; k-l) Grão de pólen; m-n) Fotografias em 40x, vista geral da MOS.

Formação/Palinofácies	MOA	Degradados	Ñ-Opacos	Opacos	Esporomorfos	Marinhos
Gramame	16,7	5,3	13,0	38,3	0,0	26,7
Itamaracá	20,3	3,7	31,3	34,7	2,7	7,3
Estiva	12,3	6,3	44,3	27,0	7,0	3,0
Cabo	21,7	6,3	18,7	52,3	0,7	0,3
Média geral	17,8	5,4	26,8	38,1	2,6	9,3
Desvio Padrão	4,2	1,3	14,0	10,6	3,2	11,9

Tabela 1 Média de abundância (percentual) das associações de palinofácies para as formações estudadas. Em negrito, os valores mais significativos.

6 Interpretação Paleoambiental

As mudanças na distribuição estratigráfica das associações da MOP (MOA, Degradados, Não Opacos, Opacos, Esporomorfos, Marinhos) permitiram identificar na seção estudada quatro paleoambientes, os quais coincidem com os limites das quatro formações representadas na seção (Figura 5). Portanto, com base nas associações da MOP e suas tendências deposicionais, os paleoambientes foram inferidos para cada formação. Gráficos ternário proposto por Tyson (1993) e adaptado por Zobaa *et al.* (2015) foram utilizados para auxiliar nas interpretações paleoambientais (Figura 6).

6.1 Paleoambientes Formação Cabo

As amostras da base da Formação Cabo da seção estudada estão representadas predominantemente pela Palinofácies Opacos (ver figura 5). Palinomorfos marinhos também foram registrados, embora em baixa abundância, atestando um ambiente marinho para esse intervalo. As partículas opacas são indicativas tanto de ambientes de alta energia e

condições oxidantes (Tyson, 1993), como de fácies deltaicas distais com baixa energia (Tyson, 1995). Provavelmente, as partículas opacas têm origem em ambiente continental oxidativo e posteriormente transportadas para o ambiente marinho raso como confirmado pelo diagrama ternário, onde todas as amostras foram plotadas no campo de palinofácies II, o qual representa condições disóxicas-anóxicas em bacia marginal (Tyson, 1995) (Figura 6a).

6.2 Paleoambiente Formação Estiva

A Formação Estiva é fortemente dominada pela Palinofácies Não-Opacos (média de 44,3%, Tabela 1) associada a um alto conteúdo da Palinofácies Opacos e baixa abundância de elementos marinhos (3,0%, Tabela 1). Altos valores de restos de plantas (não-opacos) combinados com elementos marinhos, indicam uma deposição em ambiente marinho proximal, possivelmente próximo de fonte deltaica ou estuários (Carvalho *et al.*, 2006a). A Formação Estiva representa o momento de maior fluxo terrígeno da seção estudada. Destaque também para a maior abundância de palinomorfos continentais (esporos e

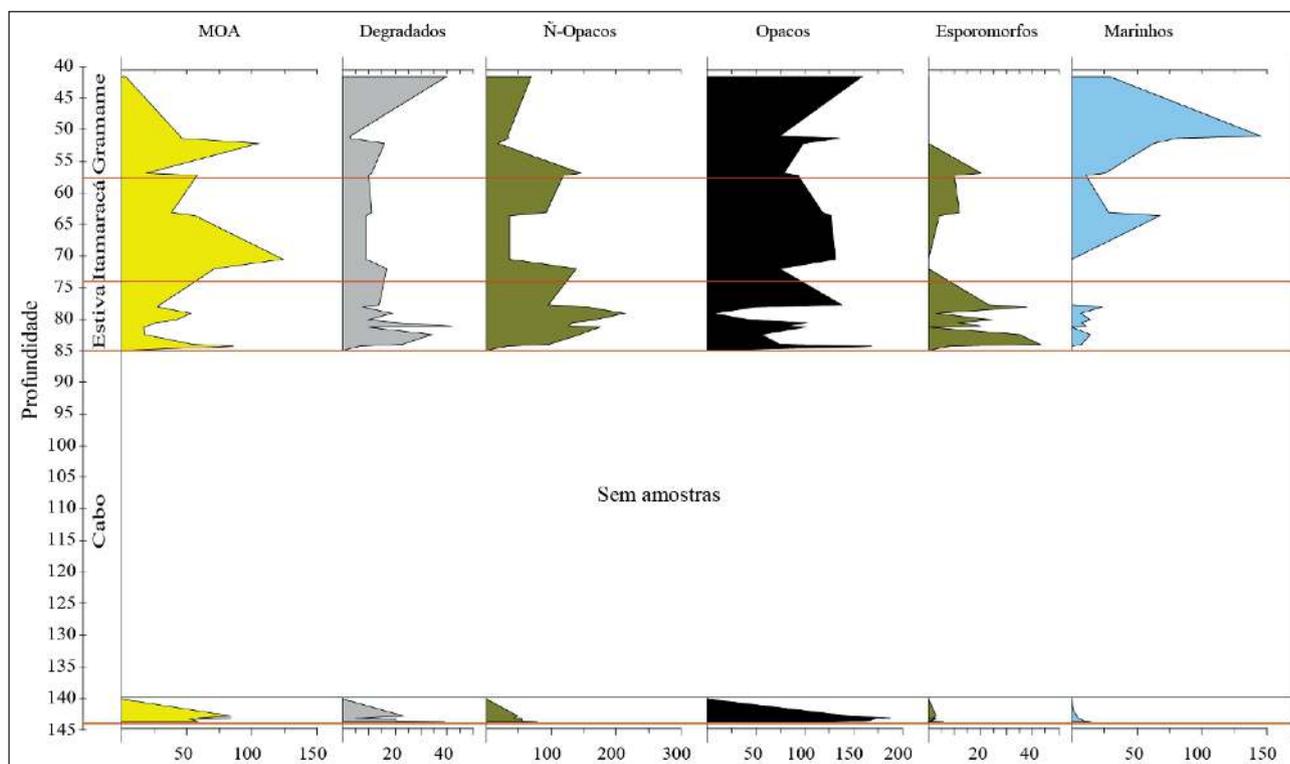


Figura 5 Gráfico de distribuição estratigráfica das partículas de matéria orgânica.

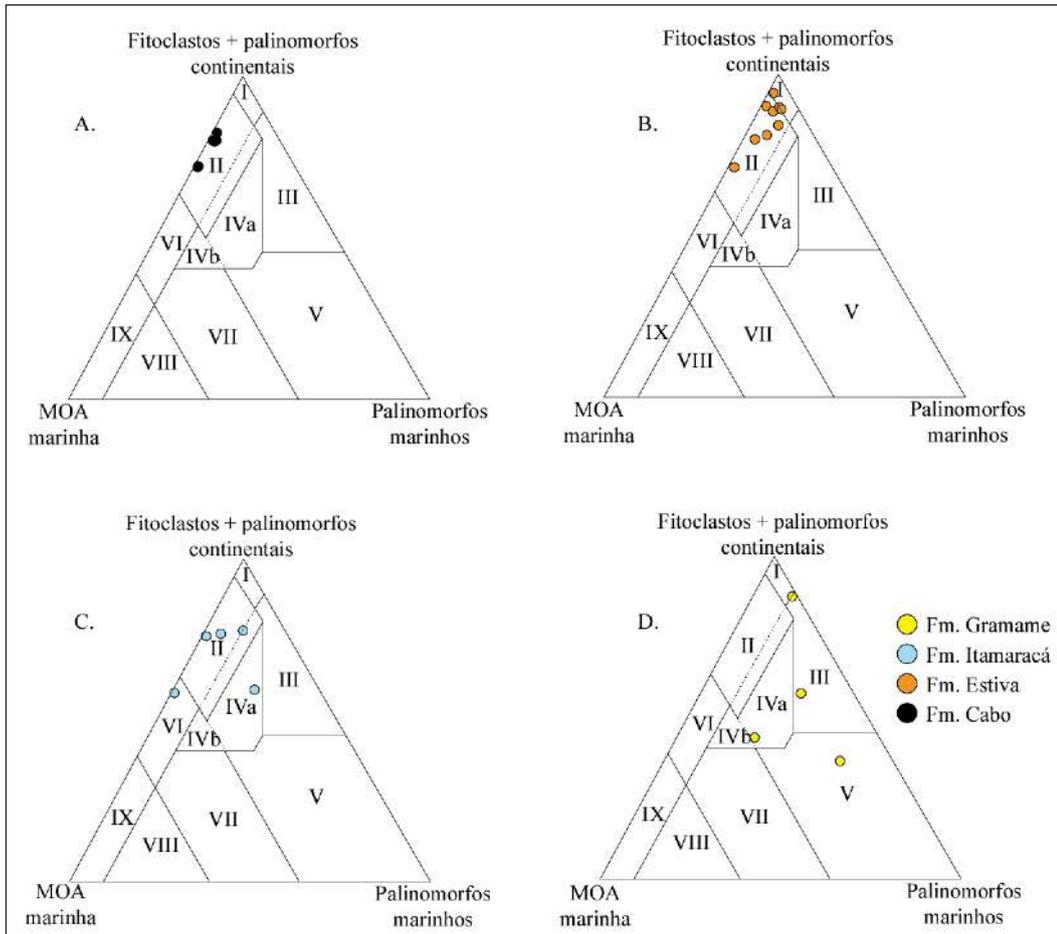


Figura 6 Diagramas ternários com a distribuição das amostras para A) formação Cabo; B) formação Estiva; C) formação Itamaracá e D) Formação Gramame. Campos de I-IX refere-se I-plataforma ou bacia altamente proximal; II-marginal disóxico-anóxico; III-plataforma heterolítica óxica (plataforma proximal); IV-transição plataforma-bacia; V-plataforma óxica dominada por lama; VI-plataforma proximal subóxico-anóxico; VII-plataforma distal disóxico-anóxico; VIII-plataforma distal disóxico-óxica; IX-bacia proximal subóxico-anóxico, plataforma carbonática, marinho restrito (e.g. lagunas) (adaptado de Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2011; Zobaa *et al.*, 2015)

grãos de pólen) refletindo uma vegetação variada e abundante associada à linha costeira. No diagrama ternário, as amostras são plotadas nos campos I e II indicando ambiente de plataforma ou bacia altamente proximal e bacia marginal disóxico-anóxica, respectivamente (Figura. 6b).

6.3 Paleoambiente Formação Itamaracá

Esse intervalo apresenta um equilíbrio em abundância das palinofácies, com predomínio da Palinofácies Opacos. No entanto, nessa formação ocorre os valores mais significativos da MOA (Tabela 1). A alta abundância de fitoclastos (opacos e não-pacos) acompanhada de elementos marinhos e MOA sugere um ambiente transicional (deltas ou estuário) com momentos de menor oxigenação. O diagrama ternário reflete essa mistura, onde as amostras são

plotadas principalmente no campo II (Figura 6c), interpretadas como bacia marginal dióxica-anóxica. No entanto, duas amostras são plotadas nos campos IVa (transição plataforma-bacia) e VI (plataforma proximal subóxico-anóxico), confirmando um ambiente transicional com maior influência marinha e por isso maior preservação de MOA.

6.4 Intervalo Formação Gramame

A Formação Gramame caracteriza-se pela maior abundância de elementos marinhos (média de 26,7%), com registros de palinoforaminíferos e cistos de dinoflagelados (e.g. *Spiniferites*, *Dinogymniun*), que resultaram da incursão de águas oceânicas do mar de Tétis (e.g. Londeix *et al.*, 1996; Arai, 2014). O aumento de elementos marinhos é acompanhado de valores significativos das palinofácies

Opacos e MOA, sugerindo fácies mais distais para essa formação. Diferentemente das outras formações, as partículas opacas na Formação Gramame provavelmente são resultado de um maior transporte com deposição em ambientes mais distais. As amostras são plotadas em vários campos do diagrama ternário (III, IVa e V) todos com indicativo de maior influência marinha, típica de plataforma (Figura 6d).

7 Conclusão

As associações da matéria orgânica indicam um ambiente marinho em toda seção. No entanto, ao longo dela é registrado um fluxo contínuo de material terrígeno, representado pelas partículas opacas. No topo da seção, o fluxo diminui consideravelmente sugerindo uma transgressão marinha. A distribuição e a composição da matéria orgânica sedimentar permitiu distinguir paleoambientes que coincidem com as diferentes formações estudadas, o que confirma que análise de palinofácies é uma ferramenta eficaz para o reconhecimento de paleoambiente, refletindo que:

A matéria orgânica particulada registrada na seção é moderadamente bem preservada.

O Grupo Fitoclastos é o mais abundante sugerindo um transporte contínuo para ambiente marinho.

Os elementos marinhos, principalmente os cistos de dinoflagelados indicam que a seção estudada é marinha.

As associações da matéria orgânica revelaram os seguintes ambientes deposicionais: Formação Cabo depositada em marinho proximal disóxico-anóxico com influência fluvio-deltaica; Formação Estiva depositada em ambiente marinho proximal-deltaico, estuarino sob condição disóxica-anóxica; Formação Itamaracá depositada em ambiente marinho raso com condições deltaicas. Formação Gramame depositada em um ambiente marinho mais profundo.

8 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) mediante a concessão da bolsa de mestrado

para Juan D. Vallejo, ao Instituto de Investigaciones en Estratigrafia (IIES) - Universidad de Caldas, Colômbia.

Referências

- Arai, M. 2014. Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: A paleontological perspective. *Brazilian Journal of Geology*, 44: 339-350.
- Barbosa, J.A.; Souza, E.M.; Lima-Filho, M.F. & Neumann, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: Uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, 13: 89-108.
- Barbosa, J.A. & Lima-Filho, M.F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: Observações em dados de poços. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14: 287-306.
- Beurlen, K. 1967. Paleontologia da Faixa Sedimentar Costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geociências*, 16(1): 72-79.
- Bombardiere, L. & Gorin, G.E. 2000. Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organic matter in Upper Jurassic carbonates of SE France. *Sedimentary Geology*, 132: 177-203.
- Buarque, B.V.; Barbosa, J.A.; Magalhães, J.R.; Cruz-Oliveira, O. & Correia-Filho, O.J. 2016. Post-rift volcanic structures of the Pernambuco Plateau, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 70: 251-267.
- Carvalho, M.A.; Mendonça-Filho, J.G. & Menezes, T.R. 2006a. Paleoenvironmental reconstruction based on palynofacies analysis of the Aptian–Albian succession of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. *Marine Micropaleontology*, 59: 56-81.
- Carvalho, M.A.; Mendonça-Filho, J.G. & Menezes, T.R. 2006b. Palynofacies and sequence stratigraphy of the Aptian–Albian of the Sergipe Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 192: 57-74.
- Córdoba, V.C.; Jardim-de-Sá, E.F. & Sousa, D.C. 2007. Cartas estratigráficas. Bacia de Pernambuco-Paraíba. *Boletim de geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 391-403
- Feijó, F.J. 1994. Bacia de Sergipe – Alagoas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1): 149-162.
- Gorin, G. & Steffen, D. 1991. Organic facies as a tool for recording eustatic variations in marine fine-grained carbonates - examples of the Berriasian stratotype at Berrias (Ardèche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoecology*, 85: 303-320.
- Lima-Filho, M.F. 1998. *Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco*. Tese de Doutorado, programa de pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências – USP, São Paulo. 180p.
- Lima, M.R. & Pedrão, E. 1989. Análise palinológica de sedimentos da Bacia do Cabo, Cretáceo do Estado de Pernambuco, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 61(1):73-84.
- Londeix, L.; Pourtoy, D. & Fenton, J. 1996. The presence of *Dinogymnium* (Dinophyceae) in Lower Cretaceous sediments from the northwest Tethys (southeast France and western Switzerland) and Gulf of Mexico areas: stratigraphic and systematic consequences. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 92: 367-382.

- Mendonça-Filho, J.G.; Menezes, T.R. & Mendonça, J.O. 2011. Organic Composition (Palynofacies Analysis) (Chapter 5). In: ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter. Editorial coordination: Deolinda Flores and Manuela Marques p. 33-78.
- Muniz, G.C. 1993. *Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil*. Departamento de Geologia – Universidade Federal de Pernambuco. Editora Universitária, publicação especial N° 1, 202 p.
- Nóbrega, V.A. & Lima-Filho, M.F. 2003. Estudo diagenético da sucessão de rochas siliciclásticas do poço 2CP-IPE: uma contribuição aos reservatórios da formação Cabo. *Estudos Geológicos*, 13: 71-88
- Oboh-Ikuenobe, F.E.; Obi, C.G. & Jaramillo, C.A. 2005. Lithofacies, palynofacies, and sequence stratigraphy of Palaeogene strata in Southeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 41: 79-101.
- Rand, H.M. & Mabesoone, J.M. 1982. Northeastern Brazil and the final separation of south America and Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 38: 163-183.
- Santos, A.S.; Helenes, J. & Carvalho, M.A. 2013. Palynofacies evidence of dysoxia and upwelling in the Turonian of the Sergipe Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, 46: 151-165
- Tomé, M.E.; Lima Filho, M.F. & Neumann, V.H. 2006. Análise estratigráfica do Albiano-Turoniano da bacia de Pernambuco: considerações sobre a paleogeografia e geração de hidrocarbonetos. *Revista de Geociências*, 25: 49-58.
- Tyson, R.V. 1993. Palynofacies analysis. In: JENKINS, D.J. (ed.). *Applied Micropalaeontology*. Kluwer Academic Publishers, p. 153-191.
- Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall, Londres, 615p.
- Zobaa, M.K.; El-Beialy, S.Y.; Taha, A.A. & Oboh-Ikuenobe, F.E. 2015. Improved Graphical Representation of Sedimentary Organic Matter as Paleoenvironmental Parameters. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ABSTRACTS WITH PROGRAMS, 135, Baltimore, 2015. *Sedimentary Environment and Process Studies: The Emerging Generation of Scientists*, Baltimore Convention Center, 47(7), p. 365.