

Carbonatos aptianos do Campo de Carmópolis, Bacia de Sergipe-Alagoas: estratigrafia e modelo deposicional

Aptian Carbonates of Carmopolis Field, Sergipe-Alagoas Basin: stratigraphy and depositional model

Carlos César de Araújo¹ | Paulo Augusto Moretti Júnior² | Vanessa Madrucci¹ |
Nívea Goulart Carramal³ | André Toczeck⁴ | Ângela Brito Almeida⁵

resumo

Existem ocorrências de carbonatos microbiais na porção basal do Membro Ibura, Fm. Muribeca, Aptiano superior da Sub-bacia de Sergipe. Estes carbonatos foram formados sobre um alto do embasamento, denominado Alto de Aracaju, e foram descritos como espacialmente restritos à área denominada como “Enseada do Rosário”. O objetivo deste trabalho é apresentar o modelo deposicional para os carbonatos do Membro Ibura, os quais foram testemunhados. O intervalo com testemunhos corresponde ao Neoptiano (biozona P-270) e é composto por fácies de origem carbonática, siliciclástica, evaporítica e híbrida. Também foram descritas lâminas delgadas de rocha, nas quais, além da descrição de fácies, foram observadas feições eodiagenéticas características de ambiente evaporítico e litorâneo. Com base nas descrições dos testemunhos (fácies e associação de fácies) e das lâminas de amostras de calha, foi realizada a análise de eletrofácies e a elaboração de perfis compostos em outros poços da área. Estratigraficamente, o intervalo com carbonatos microbiais é correlacionável em toda a extensão do Alto de Aracaju, onde se mostra tendência de espessamento nas porções mais baixas e adelgaçamento para as porções mais altas.

As rochas da Formação Muribeca, especificamente dos membros Ibura e Oiteirinhos, foram interpretadas como depositadas em ambiente transicional, com evidências de ambiente marinho para o topo da formação. A seção basal do testemunho, correspondente ao Membro Ibura, foi interpretada como resultante de sedimentos em um sistema deposicional lacustre-lagunar evaporítico restrito devido à: (a) escassa presença de fósseis, os quais são limitados a alguns espécimes de ostracodes; (b) presença de carbonatos microbiais na forma de tapetes ou esteiras; (c) ausência de estruturas de correntes e de marés; (d) alta salinidade e evaporação intensa evidenciada pela presença de anidrita diagenética (nodular) e brechas de colapso; (e) presença de anidrita estratiforme, nodular e *mudstone* carbonoso, intercalados entre si, como evidência de lâmina d’água rasa; (f) presença de feições de exposição como *tepees* e gretas de ressecamento; (g) dominância de tipos litológicos de ambiente de baixa energia. Deste modo, propõe-se o termo Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário para o conjunto dessas associações de fácies encontradas no Alto de Aracaju e adjacências.

Palavras-chave: Carbonato Microbial | Campo de Carmópolis | Alto de Aracaju | Andar Alagoas | Evaporito

¹ Petrobras. E&P Exploração. Geologia Aplicada à Exploração - Estratigrafia e Sedimentologia.

ccaraujo@petrobras.com.br; vanessa.madrucci@petrobras.com.br

² Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção da Bacia de Santos. Sedimentologia e Estratigrafia Exploração.

paulo.moretti@petrobras.com.br

³ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção do Espírito Santo. Sedimentologia e Estratigrafia Exploração.

ncarramal@petrobras.com.br

⁴ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção da Bacia de Campos. Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica Exploração. toczeck@petrobras.com.br

⁵ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas. Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica Exploração. angela.brito@petrobras.com.br

abstract

There are occurrences of microbial carbonates in the basal portion of Ibura Mb., Muribeca Fm. Located at the Aracaju High, Late Aptian of Sergipe Basin. These carbonates were deposited over the basement and were described as spatially restricted to the area informally known as the Rosary Inlet. The goal of this paper is to present the depositional carbonate system related to the Ibura Mb., these carbonates were observed in the base section of the cored well. The interval of core description corresponds to the Upper Aptian (P-270 biozone) composed of carbonatic, siliciclastic, evaporitic and hybrid facies. It has been also described early diagenesis related to litoral and evaporitic environment based on rock and thin sections of cuttings. The middle diagenesis is characterized by fracturing, dissolution, prismatic anhydrite, silicification, dolomitization and piritization. Based on core description (facies and facies association) it was performed log facies analysis and it was done the composite logs for all the wells in the area. The microbial carbonate layer is stratigraphically correlated in the entire Aracaju High. A fundamental observation is the thickening trend of the microbial carbonate on the lower areas, with thinning on the higher areas. The Muribeca Fm. (specifically the Ibura and Oiteirinhos members) is interpreted as deposited in a transitional environment with some marine evidences. For the Ibura Mb, at the base of the described core, the depositional environment was interpreted as restricted evaporitic lacustrine lagoon due to: (a) rare presence of fossils, which are limited to some specimens of ostracods, (b) microbial carbonates in the form of microbial mats or carpets, (c) lack of sedimentary structures related to flow and tides, (d) evidences of high salinity and intense evaporation during the deposition in the form of diagenetic anhydrite and evaporite dissolution breccias, (e) presence of nodular and stratified anhydrite layered with carbonaceous mudstone as evidence of shallow water, (f) presence of exposure features like teepees and desiccation cracks, (g) dominance of low-energy lithologies. Thus, it is proposed the term Lake-Lagoon Complex of the Rosario for the facies associations found in the area of Aracaju High.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: *Microbial Carbonate | Carmópolis Field | Aracaju High | Aptian | Evaporite*

introdução

A Bacia de Sergipe-Alagoas, situada na margem continental do nordeste brasileiro, possui uma área de cerca de 35.000km², dos quais apenas um terço aflora nos estados de Sergipe e Alagoas. Trata-se de uma bacia de margem passiva, com registro de depósitos do final da fase rifte e fase marinha, ambos relacionados à fragmentação do Gondwana e formação do Atlântico Sul.

Para a seção estudada, em termos litoestratigráficos, os depósitos transicionais a marinhos são representados pela Fm. Muribeca e seus três membros: Carmópolis, Ibura e Oiteirinhos. O Mb. Carmópolis é composto por litofácies siliciclásticas de um sistema aluvial e fluvial de clima árido. O Mb. Ibura é composto por litofácies evaporíticas que indicam ambiente transicional restrito. O Mb. Oiteirinhos é composto por litofácies de *mudstones* e folhelhos marinhos.

Neste trabalho, foram estudados os carbonatos microbiais da porção basal do Mb. Ibura, que ocorrem na Sub-bacia de Sergipe, no Alto de Aracaju (figs. 1 e 2). Foram descritos como espacialmente restritos à área denominada como “Enseada do Rosário”.

O objetivo do estudo consiste na interpretação do sistema deposicional relacionado aos carbonatos do Membro Ibura, com base em dados de uma seção testemunhada continuamente (poço A) no campo de Carmópolis. Neste trabalho, serão apresentados os resultados do projeto “estratigrafia, arquitetura e modelo deposicional dos calcários aptianos do campo de Carmópolis: área do Alto de Aracaju”, desenvolvido no âmbito do curso de especialização em carbonatos, resultado de um convênio firmado entre a Petrobras e a Universidade Estadual Paulista, no início de 2008.

contexto geológico

A Bacia de Sergipe-Alagoas, cuja litoestratigrafia foi compilada por Schaller (1969), tem sido alvo de pesquisas exploratórias desde a década de 1940.

Em sua porção atualmente emersa, estudos realizados pela Petrobras possibilitaram a descoberta de vários campos de petróleo, dentre os quais se destaca o de Carmópolis devido ao volume de óleo, onde há testemunhos com os registros das primeiras ingressões marinhas, responsáveis pela formação do Atlântico Sul. Este é o caso do Poço A (fig. 3),

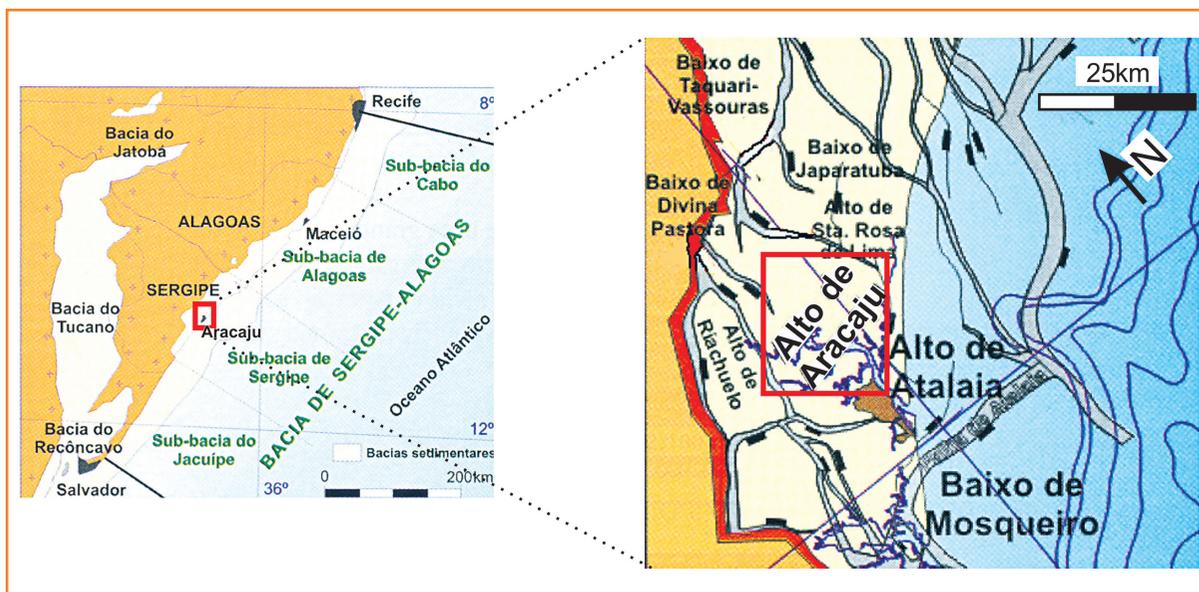


Figura 1
Localização da área de estudo (modificado de Souza-Lima, 2008).

Figure 1
Studied area location (modified after Souza-Lima, 2008).

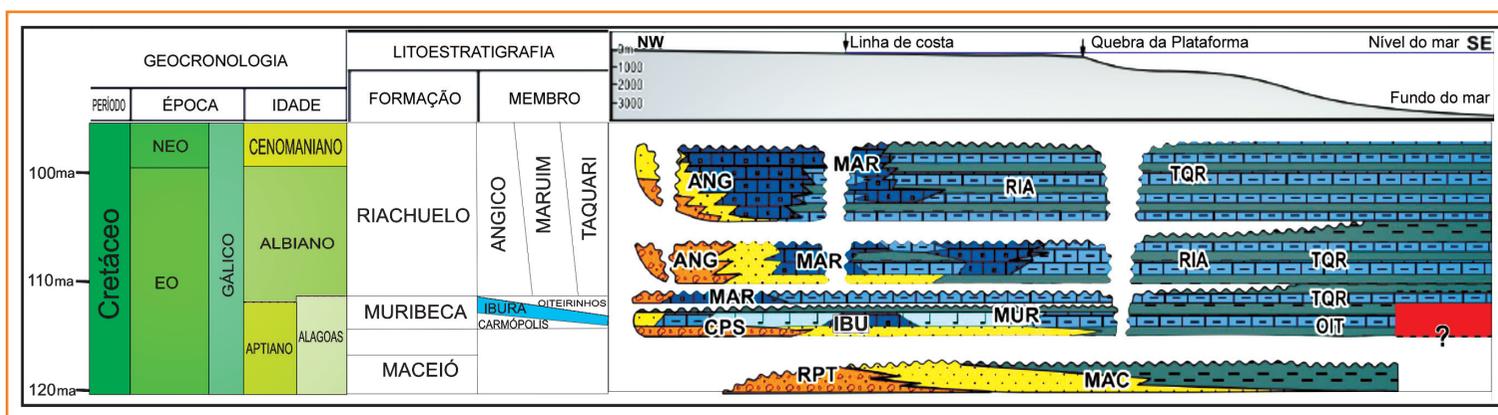


Figura 2
Membro Ibura em destaque (azul) em trecho da carta estratigráfica – Cretáceo da Sub-bacia de Sergipe (retirado de Campos Neto et al. 2007).

Figure 2
Ibura Member in the Stratigraphic Chart – Cretaceous of the Sergipe Sub-basin (taken from Campos Neto et al. 2007).

onde os microbiólitos do Mb. Ibura (Fm. Muribeca) desenvolveram-se diretamente sobre o embasamento.

Segundo Szatmari *et al.* (1974), o arcabouço tectônico da Bacia de Sergipe-Alagoas foi moldado, principalmente, durante a fase pré-rifte (pré-meso Alagoas), gerando suas principais feições estruturais: Alto de Aracajú, Alto de Riachuelo e Baixo da Divina Pastora-Siriri. Estas estruturas são delimitadas por falhas normais, ocasionalmente escalonadas, de direção preferencial NE-SW e NW-SE. Nos altos, os sedimentos Alagoas assentam-se diretamente sobre o embasamento e, nos baixos, onde a sedimentação foi praticamente contínua, interrompida apenas por pequenos hiatos, são encontrados depósitos variando em idade, do Permiano ao Terciário. Segundo os autores, uma fase erosiva intensa (discordância pré-Alagoas) peneplanizou a topografia pré-existente antes da deposição da Formação Muribeca.

Sobre esta superfície ligeiramente ondulada, foram depositados os conglomerados do Membro Carmópolis e, posteriormente, os microbiólitos e evaporitos

pertencentes ao Membro Ibura. Estratigraficamente, os microbiólitos precedem a deposição da sequência evaporítica Ibura, como pode ser observado na figura 3.

A sequência evaporítica foi dividida em nove ciclos evaporíticos limitados por marcos, que podem ser visualizados na figura 3. Nem todos estes ciclos são reconhecíveis em toda a região do poço A (Alto de Aracaju). No poço A, são observados os ciclos I e IX (fig. 3), os quais marcam o início e fim da sequência evaporítica. O ciclo I, o mais antigo, é definido como o intervalo entre a base do marco 1 (base da primeira camada evaporítica: calcário, anidrita ou halita) e a base do marco 3.2 (folhelhos). O marco 1 é reconhecido por relacionar-se à passagem de litologias de baixa para alta densidade, assim como de alta para baixa radioatividade, ou seja, *mudstones* e lamitos para anidrita, gipsita e/ou, eventualmente, carbonatos. O ciclo IX é definido como a sequência que ocorre entre o marco 38 (superfície erosional de base das anidritas) e o marco 39 (topo das anidritas ou, localmente halitas sobrepostas a estas).

Figura 3

Litofácies e perfis do poço A (GR – raios gama, Dens – densidade, Res – resistividade) testemunhado com a amarração da sequência carbonática/evaporítica, pós-carbonatos microbiais, aos ciclos evaporíticos de Szatmari. Os quadros em vermelho indicam os ciclos evaporíticos registrados no poço A. A coluna litológica indica o intervalo descrito em testemunho.

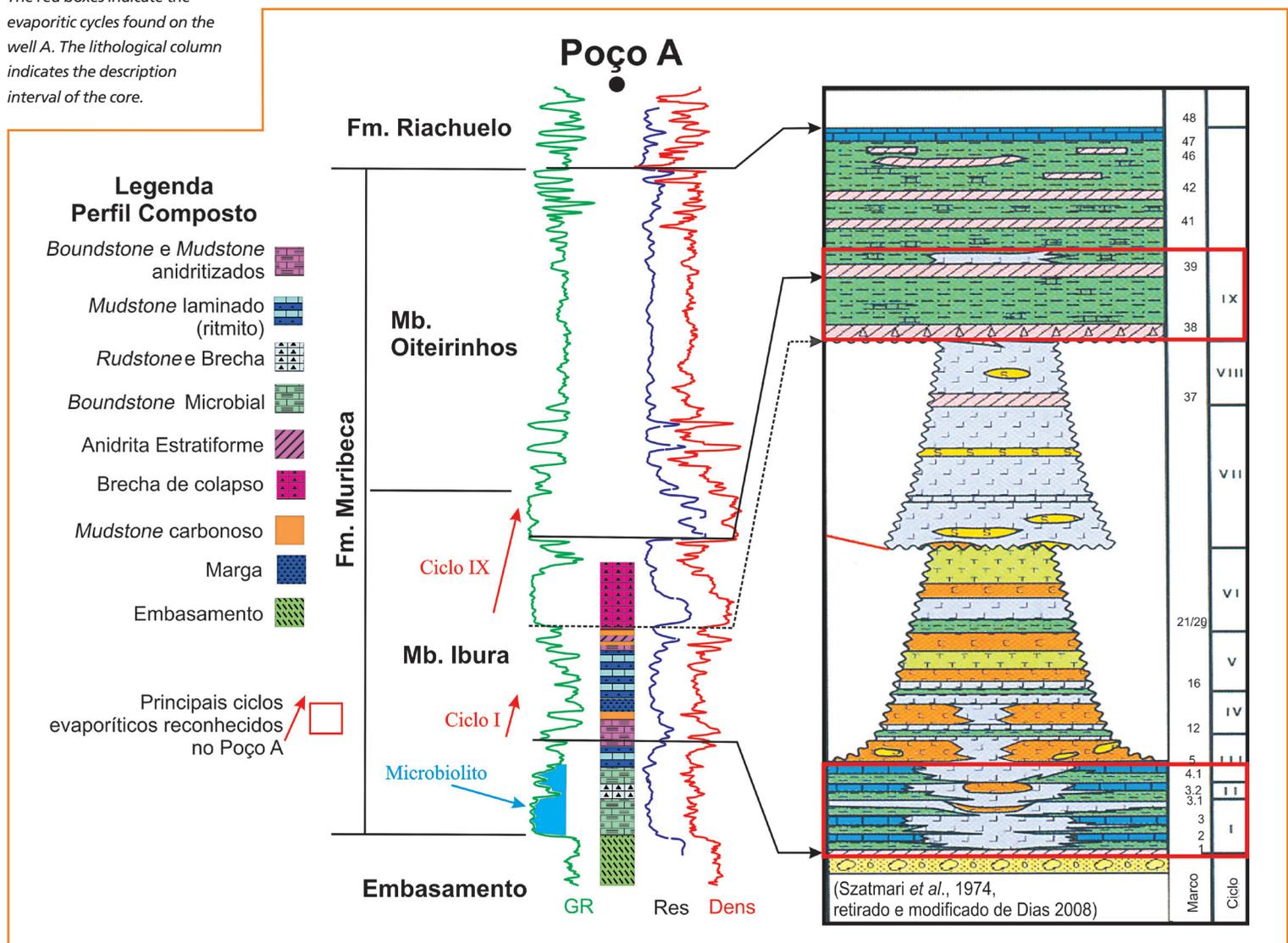
Figure 3

Lithofacies and logs (GR – gamma ray, Dens – density, Res – resistivity) of the cored well A with tied sequence of evaporites and carbonates, post microbial carbonates, to the evaporitic cycles of Szatmari. The red boxes indicate the evaporitic cycles found on the well A. The lithological column indicates the description interval of the core.

Os membros Ibura e Oiteirinhos representam um ambiente transicional, com evidências de incursões marinhas desde o topo do Membro Ibura. A Formação Riachuelo (fig. 3) foi depositada em ambiente marinho. Cunha e Koutsoukos (1998), com base na presença de foraminíferos (planctônicos e bentônicos), dinoflagelados e nanofósseis, interpretaram os depósitos da Fm. Riachuelo como depositados em um sistema de plataforma carbonática, desde ambientes de planície de maré hipersalina a nerítico intermediário.

Regionalmente, de acordo com Souza-Lima (2008), a seção basal do “evaporito Ibura” (marcos 1 a 5) seria constituída por halita na bacia evaporítica e por calcário com intercalações delgadas de anidrita nas plataformas marginais, folhelhos sub-betuminosos ocorreriam próximos às margens da bacia. A seção intermediária, entre o marco 5 e o topo do ciclo 6 estaria representada pelos sais solúveis depositados em condições

de restrição acentuada. De acordo com Souza-Lima (2008), uma discordância pronunciada marca o fim da seção intermediária, que eliminaria parte dos depósitos evaporíticos das porções mais elevadas, como os dos altos de Siririzinho, Carmópolis e Aracaju. A seção superior do evaporito Ibura é representada por pacotes de halita, em geral bem laminados, com intercalações delgadas de silvinita. Vale ressaltar que, houve decréscimo da salinidade para o topo, com precipitação de anidrita na porção superior desta seção, como reconhecido no ciclo IX do poço A. De acordo com as correlações interpretadas, foi verificado que, no poço A, não há registro do topo do ciclo III até o topo do ciclo VIII, o que denota que não houve deposição destas sequências na área do Alto de Aracaju e que, nesta área, houve deposição de sais do topo do ciclo evaporítico seguida de erosão, uma vez que a base do Ciclo IX é caracterizada por brechas de dissolução.



método de trabalho

No desenvolvimento deste trabalho, foram descritos 60m de testemunho do poço A, além de 38 lâminas delgadas de amostras deste testemunho. Foram descritas 47 amostras de calha de outros seis poços e 25 lâminas delgadas confeccionadas a partir de amostras de calha de quatro poços. A partir da definição das principais litofácies, foram preparados os perfis com descrição de fácies e perfis compostos.

Para a confecção de seções estratigráficas e estruturais, foi realizada a correlação rocha-perfil, com base no poço A e utilizados os perfis disponíveis (Raios Gama, Resistividade e Densidade) de 44 poços. Foram confeccionadas e interpretadas cinco seções estratigráficas e estruturais com diferentes datuns, onde foram identificados e correlacionados os principais eventos estratigráficos.

Para a denominação das rochas carbonáticas, foi utilizada a classificação de Dunham (1962). No caso das rochas carbonáticas descritas como autóctones (carbonatos de origem microbial), optou-se por manter a nomenclatura de Dunham, justamente pelo seu aspecto descritivo. Desse modo, às fácies de carbonatos incrustantes ou ligados durante a deposição (*boundstone*) adicionou-se um complemento genético (*boundstone* microbial). A classificação de Embry e Klovan (1971) foi utilizada especialmente para nomear a fácies *rudstone*, de modo a enfatizar o tamanho do grão maior que 2mm. Para rochas siliciclásticas e evaporíticas foi empregada a nomenclatura da Petrobras.

carbonatos microbiais e ambientes associados

Entre as primeiras citações acerca de carbonatos microbiais, destaca-se Kalkowsky (1908 *apud* Burne e Moore, 1987), o qual definiu o termo estromatólito como rochas laminadas de origem microbiana. O termo microbiólito ("*microbialite*") foi introduzido por Burne e Moore (1987), para depósitos organo-sedimentares resultantes do crescimento de comunidades microbiais bentônicas, podendo ser por trapeamento ou por precipitação de carbonato *in situ*.

A influência microbiana na precipitação e distribuição de carbonatos ocorre em diversos ambientes

de sedimentação: recifal marinho, planícies de marés, lacustre, fluvial, em crostas de cavernas e ambientes hidrotermais (Riding, 2000). Estes organismos proliferam-se em condições ambientais normalmente estressantes para outros organismos: em água fria ou quente, lâmina d'água variável, em clima árido ou úmido, ampla variação de salinidade e com baixo O₂ e alto CO₂ na atmosfera.

Da mesma forma, os microbiólitos também estão associados a sistemas deposicionais de carbonatos evaporíticos lacustres e lagunares, como aqueles relacionados por Abell *et al.* (1982), Lokier e Steuber (2008) e Qing e Nimegeers (2008). Os ambientes transicionais de intra-plataforma, onde são depositados os carbonatos de água rasa, também se caracterizam pela deposição cíclica de fácies que variam de lamitos, carbonatos e evaporitos até fácies carbonosas, como as descritas por Droste (1990) e Wignall (1991), assim como ocorre na seção estudada no poço A.

fácies sedimentares

A caracterização dos calcários aptianos foi feita com base na descrição sedimentológica do intervalo basal do testemunho do poço A. Neste intervalo, foram identificadas fácies de composição carbonática, siliciclástica, evaporítica (química) e híbridas, tais como: *boundstone* microbial, *rudstone*, *mudstone*, brechas sedimentares, conglomerado híbrido, marga e lamito.

boundstone microbial

Esta fácies é constituída por camadas de até 1cm de espessura de carbonatos de cor creme predominantemente calcíticos, que se amalgamam e podem formar intervalos contínuos de até 50cm. As camadas carbonáticas se intercalam com filmes de material orgânico com aspecto crenulado, plano ou localmente dobrado. Em alguns intervalos, podem ser observadas estruturas de *tepee*. A análise petrográfica mostra que estes carbonatos apresentam um aspecto grumoso ou micritizado, cimentado por calcita, dolomita ou sílica. Localmente, podem ser encontrados elementos orgânicos como a alga cocoidal *Eoentophysalis*.

A porosidade nos *boundstones* microbiais é do tipo fenestral/vugular, microporosidade, interestratal e localmente fraturas.

Figura 4

Boundstone microbial em camadas milimétricas a centimétricas intercaladas com filmes orgânicos.

Figure 4

Microbial boundstone with millimetric to centimetric layers interbedded with organic films.



rudstone

O *rudstone*, de coloração creme, é constituído, principalmente, por clastos do *boundstone* microbial com tamanhos que variam de areia média a seixo, em geral angulosos à subarredondados. Em relação à estrutura sedimentar, algumas camadas de *rudstone* apresentam superfície erosiva na porção basal. Localmente, pode ser observada imbricação de clastos, gradação normal ou inversa. Em lâmina delgada, podem ser observados clastos, com textura grumosa, retrabalhados. Os clastos estão cimentados por sílica, calcita ou dolomita e localmente halita.

mudstone laminado

A fácies *mudstone* é constituída por camadas delgadas de carbonatos finos (grãos até 20 micrômetros)

Figura 5

Rudstone com clastos de carbonato microbial imbricados.

Figure 5

Rudstone with microbial carbonate clasts imbricated.



esbranquiçados, que se intercalam com carbonatos finos escuros com laminação plano-paralela ou truncada ondulante. Esta laminação é observada devido à variação no teor de material orgânico. Fraturas, falhas e dobras convolutas podem ser notadas em alguns intervalos. Localmente, ocorrem concentrações de cocóides.

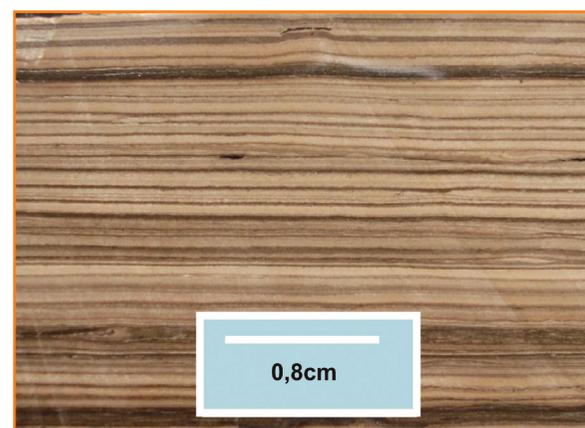


Figura 6 – *Mudstone* laminado.

Figure 6 – *Laminated mudstone*.

mudstone carbonoso

São semelhantes aos *mudstones*, porém, apresentam teor elevado de matéria orgânica. Estes se intercalam com as brechas com anidritas. Localmente, podem ser observadas concentrações de cocóides. Também podem apresentar fraturas, intervalos oxidados e feições de exposição. De modo geral, possuem cor marrom escuro a preto.

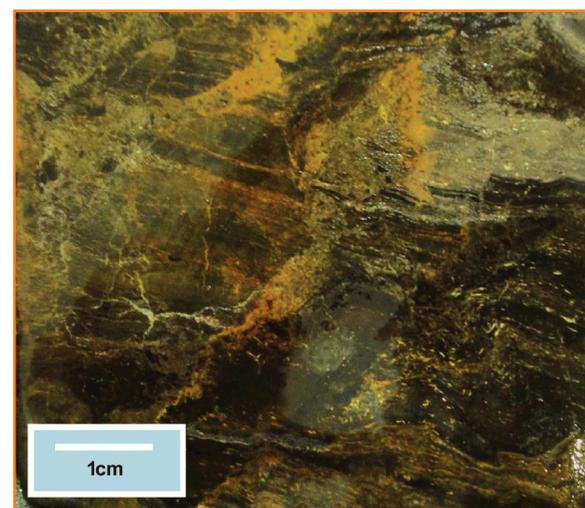


Figura 7 – *Mudstone* carbonoso.

Figure 7 – *Carbonaceous mudstone*.

brecha sedimentar do embasamento

As brechas sedimentares do embasamento encontram-se no intervalo basal do poço A, logo acima dos filitos do embasamento. Estas brechas, de cor cinza, são constituídas por clastos, em geral centimétricos (0,5cm a 5cm), muito angulosos a subarredondados de filitos e quartzo esbranquiçado. Em menor proporção, ocorre *boundstones* microbiais. As camadas podem atingir espessura superior a 15cm. Em geral, apresentam-se sobre uma superfície de base erosiva ou plana e pode ter aspecto maciço, gradação normal ou inversa.



Figura 8 – Brecha sedimentar do embasamento.

Figure 8 – Sedimentary basement breccia.

conglomerado híbrido

Os conglomerados híbridos são constituídos por clastos angulosos a arredondados de filito e de *boundstones* microbiais retrabalhados. Dispõem-se em camadas de até 10cm de espessura, maciças ou com gradação normal, com base plana ou sobre superfície erosiva.



Figura 9 – Conglomerado híbrido

Figure 9 – Hybrid conglomerate.

marga e lamito

A fácies lamito é formada por camadas (ou intervalos) de 30cm a 50cm de espessura, de material siliciclástico e carbonático (basicamente calcita, quartzo, feldspatos e micas), na granulometria argila ou silte. Texturalmente, as margas são semelhantes aos lamitos, porém, possuem um teor maior de material carbonático fino. As camadas apresentam-se com coloração cinza esverdeada e aspecto maciço ou uma laminação pouco definida. Localmente, podem ocorrer fraturas.

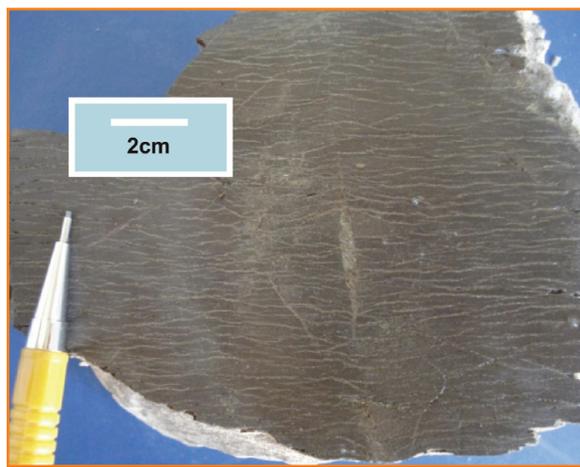


Figura 10

Lamito com fraturas.

Figure 10

Mudstone with fractures.

brecha sedimentar carbonática com anidrita

A brecha com anidrita é constituída por clastos de *mudstone* e, em menor proporção, por clastos de *boundstone* microbial colapsado (brechado) e anidritizado. Em geral, os clastos de *mudstones* são laminados e de tamanhos que variam de grânulos a seixos. A anidrita é de forma digitiforme ou nodular.



Figura 11

Brecha sedimentar carbonática com anidrita.

Figure 11

Sedimentary carbonatic breccia with anhydrite.

anidrita estratiforme

Esta fácies apresenta coloração cinza e estratificação plano-paralela ou levemente ondulada, marcada por filme de material orgânico ou por aumento no teor de material carbonático fino.

Os principais eventos diagenéticos reconhecidos, para o intervalo estudado do poço A, ocorreram durante a eodiagênese e mesodiagênese.

diagênese

A eodiagênese é representada por eventos muito precoces, sendo alguns concomitantes à própria sedimentação, como a formação de gipsita, anidrita nodular e halita. Outra ocorrência diagenética precoce é a formação de franja acicular de calcita no intervalo, que contém *boundstone* microbial (seção basal do testemunho do poço A). A presença da franja acicular sugere que ela tenha se formado a partir de água do mar, reforçando a idéia de que a diagênese tenha ocorrido em ambiente restrito com influência marinha. Os sais de gipsita, halita e anidrita nodular são formados por evaporação no meio intra-sedimentar. A gipsita é observada em lâmina delgada como uma forma metaestável que, devido à desidratação, é substituída por anidrita. A halita com hábito deslocante (*displacive halite*) ocorre dispersa por todo o intervalo, principalmente ao longo das laminações de *mudstone*.

A mesodiagênese é representada por eventos de fraturamento, dissolução, formação de anidrita prismática, silicificação, dolomitização e piritização. As fraturas, associadas aos falhamentos em microescala,

se encontram frequentemente preenchidas por calcita ou anidrita. A anidrita mesodiagenética tem hábito prismático, sob a forma de megacristais. A ocorrência da sílica ocorre por cimentação ou por substituição, principalmente no intervalo de *boundstone* microbial, fator que contribui para a diminuição no espaço poroso. A dolomitização, um dos processos mais tardios, também contribui para a obliteração do espaço poroso. A formação de piritita corresponde ao evento mais tardio, principalmente no intervalo com as fácies mais carbonosas, ao longo das laminações.

seção representativa, associação de fácies e trato de fácies

Com o objetivo de reconhecer o ambiente sedimentar à época da deposição da seção estudada, as fácies definidas foram agrupadas em cinco associações conforme a tabela 1. A associação de fácies considerou as semelhanças deposicionais e genéticas das fácies.

A partir das associações de fácies, também foi elaborada uma seção representativa para o testemunho e interpretou-se uma curva relativa do nível de base para o corpo aquoso na época da deposição (fig. 13). Também foram indicados intervalos que são potenciais limites de sequência, os quais apresentam feições de exposição como, por exemplo, *tepees* e níveis de oxidação.

A elaboração do modelo de trato de fácies foi baseada nos diferentes tipos de fácies, sua associação e consequente interpretação de ambiente de sedimentação para os carbonatos da Fm. Muribeca, no Alto de Aracaju. Assim, interpreta-se que a seção investigada é composta por rochas de ambiente transicional. O sistema deposicional é lacustre-lagunar (corpo aquoso restrito), raso e calmo, livre da ação de marés, notado pela ausência de estruturas sedimentares trativas. Este sistema deposicional foi subdividido em três zonas (marginal, intermediária e central):

- i) zona marginal: corresponde à região exposta adjacente ao limite do corpo d'água;
- ii) zona intermediária: abaixo do nível d'água e adjacente a margem e,
- iii) zona interna ou central: a qual seria relativamente mais profunda (lâmina d'água de poucos metros) em relação à zona intermediária.

Figura 12
Anidrita estratiforme.

Figure 12
Stratiform anhydrite.



Fácies	Associação de fácies	Nome da associação de fácies	Interpretação	Sistema deposicional
- Brechas sedimentares - Boundstones microbiais	1	Leques do embasamento	Leques aluviais próximos ao embasamento e a corpos aquosos.	Leques aluviais/lacustre marginal
- Boundstones microbiais - Rudstones	2	Microbiolitos	Depositados por ação biológica (microbial) em água rasa e retrabalhado por tempestades.	Lacustre marginal/intermediário
- Brechas sedimentares - Rudstones	3	Tempestitos	Depositados e retrabalhado durante tempestade com aporte de sedimentos dos leques aluviais em um corpo aquoso.	Lacustre marginal/intermediário
- Mudstones - Marga	4	Lamitos lacustres	Depositado na parte interna da bacia.	Lacustre interior/intermediário
- Anidritas - Mudstones carbonosos	5	Evaporitos	Ambiente evaporítico de águas rasas.	Lacustre interior/intermediário evaporítico

Tabela 1
Associações de Fácies.

Table 1
Facies association.

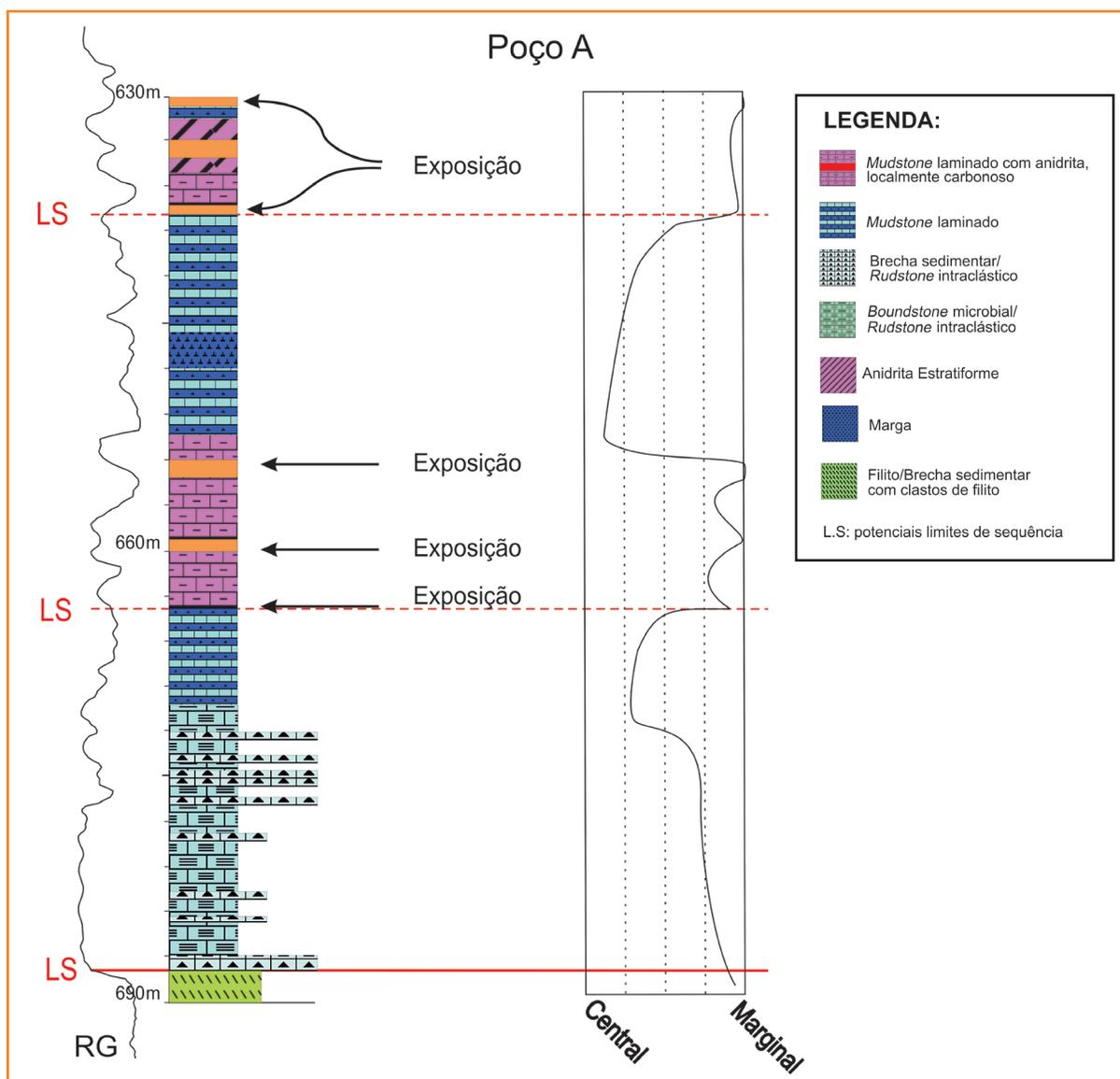


Figura 13
Seção representativa para o intervalo basal do poço testemunhado. LS: limites de sequência (potenciais). A curva representa o nível de base relativo no momento da deposição destes sedimentos. O termo marginal indica água relativamente mais rasa. O termo central indica nível d'água relativamente mais profunda. As setas indicam as principais litologias e as feições de exposição observadas.

Figure 13
Representative section for the basal interval of the cored well. LS: sequence boundary (probable). The curve represents the relative base level at the time of deposition. The term marginal indicates relatively shallow water, the term central indicates relative deeper water. The arrows indicate the main lithologies and the exposing features.

Foram ainda interpretadas três condições ambientais/climáticas de acordo com as associações de fácies.

A primeira condição climática seria mais úmida, com ocorrência de chuvas ocasionais e até tempestades. Neste cenário, brechas e conglomerados híbridos (leques do embasamento) e brechas e *rudstones* (tempestitos) se depositariam, preferencialmente, na zona marginal. *Rudstones* e *boundstones* (microbiólitos), na zona intermediária. Margas e lamitos (lamitos lacustres), na zona central.

A segunda condição, com variações climáticas moderadas, registraria uma alternância climática de épocas mais secas e épocas mais úmidas. Esta condição acarretaria sedimentação sazonal e propiciaria, principalmente, a deposição dos *mudstones* laminados (lamitos lacustres), de aspecto várvido, na zona central e *boundstones* microbiais, na zona marginal (microbiólitos).

A terceira condição climática seria de clima quente e seco. Sob esta condição, com alta taxa de evaporação, ocorreria o rebaixamento do nível de base e o concomitante aumento de salinidade do corpo aquoso. Nesta fase, o *boundstone* microbial seria depositado na região marginal e estaria sujeito à exposição. Além disso, se precipitariam as anidritas na região central da bacia (microbiólitos e evaporitos). Durante condições de relativo aumento de umidade (segunda condição), poderiam se depositar os *mudstones* carbonosos também na parte central da bacia, os quais seriam facilmente expostos e anidritizados em épocas de extrema aridez (lamitos lacustres e evaporitos).

eletrofácies e correlação rocha-perfil

Inicialmente, a análise de eletrofácies foi realizada com base nos dados de *core gamma* do Poço A e com os respectivos dados de perfil de raios gama, resistividade e densidade. Dessa forma, buscou-se posicionar o testemunho em profundidade e reconhecer as principais respostas de eletrofácies (o intervalo com os litotipos representados na figura 14 constitui o intervalo estudado).

O embasamento (filito) e a brecha sedimentar com clastos de filito possuem valores altos nos perfis de raios gama, resistividade e densidade. Com base nas eletrofácies, é possível identificar o intervalo descrito no testemunho como *boundstone* microbial/*rudstone*,

pois apresenta resposta característica em perfis: baixos valores de raios gama (RG), resistividade e densidade. A associação de fácies Brecha Sedimentar/*Rudstone*, que está intercalada com a associação de fácies anteriormente descrita, é bem identificada pelo aumento dos valores de raios gama e de densidade. Os intervalos com presença de anidrita possuem altos valores de resistividade e densidade e baixos valores de raios gama (fig.14).

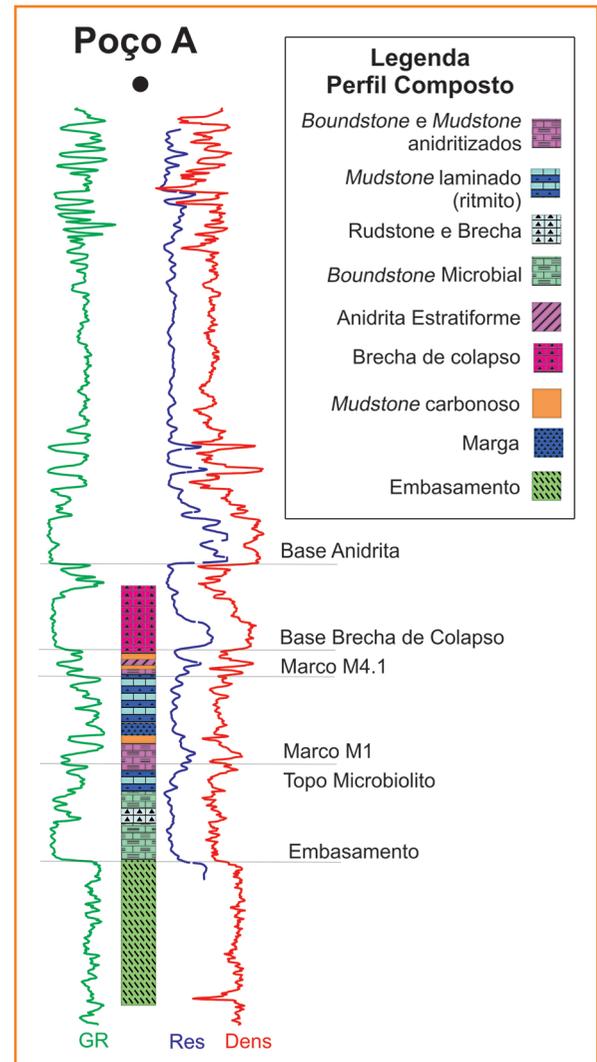


Figura 14 – Litofácies do poço testemunhado, com os horizontes e marcos identificados; perfil de raios gama (verde), resistividade (azul) e densidade (vermelho). Topos anotados: discordância do embasamento, topo do *boundstone* microbial, Marco M1, Marco M4.1, base da brecha de colapso, base da anidrita.

Figure 14 – Lithofacies of the cored well, with horizons and identified picks, gamma ray log (green), resistivity (blue) and density (red). Identified picks: basement unconformity, top of the microbial boundstone, Marco M1, Marco M4.1, base of the evaporate dissolution breccias, base of anhydrite.

Grande parte dos poços empregados nas correlações apresenta um padrão de eletrofácies muito semelhante ao poço A, permitindo que a fácies de *boundstone* microbial seja facilmente identificada. Vale ressaltar que, em amostras de calha, o *boundstone* microbial é descrito muitas vezes como calcilito, porém, em lâminas delgadas dessas amostras, é possível identificar a textura grumosa, característica destes microbiolitos.

Algumas das fácies definidas variam lateralmente, o que reflete no padrão de eletrofácies, como, por exemplo, o intervalo correspondente ao *boundstone* microbial. Numa comparação entre as eletrofácies do poço A e C (fig. 15), o marco M1 é bem identificado nos perfis de raios gama e densidade e corresponde à primeira camada evaporítica, ou seja, lamitos e *mudstone* gradando para *mudstone* e anidrita. Nos perfis de poços, o M1 é interpretado como a interface de altos para baixos valores de RG e baixos para altos valores de densidade. A partir do marco M1 para a base, pode-se identificar um intervalo cronocorrelato com o *boundstone* microbial no C, porém, apresentando padrão de eletrofácies com raios gama mais altos, o que indica variação lateral de fácies, já que, a descrição de lâminas de calha mostra que a porção basal do poço C é constituída por *mudstone*. Destaca-se que a distância entre o A e o C é de apenas 400m.

correlações estratigráficas

Conforme pode ser observado na figura 16, seção estratigráfica com *datum* na porção basal da anidrita,

o Alto de Aracaju apresentava um relevo de embasamento com variações topográficas. O *boundstone* microbial (em azul) está sobre o embasamento e é correlacionável em toda a seção. Nota-se uma tendência de maior espessamento nas porções mais baixas, com adelgaçamento para as porções mais altas, ou seja, o *boundstone* microbial tinha melhores condições de crescimento e formação, preferencialmente, em baixos topográficos e/ou depressões internas ao Alto de Aracaju. Em alguns casos, como apresentado no poço G, o *boundstone* microbial trunca (*onlap*) contra as porções mais elevadas do embasamento, onde se constata uma fina camada ou inexistência de carbonato microbial sobre o mesmo (fig. 16).

A figura 17a ilustra que o poço D, apesar de estar na porção mais baixa, não apresenta espessura maior de carbonato microbial quando comparado com o poço E adjacente. Na seção com o *datum* M1 (fig. 17b), é possível constatar que a área do poço D era um alto estrutural na época da deposição do *boundstone* microbial, o que explica o afinamento do intervalo microbial em comparação com os poços adjacentes e demonstra a movimentação estrutural desta área na época de deposição dos ciclos evaporíticos basais.

A figura 18 destaca a seção mergulho (*dip*) dos poços H, I e J. Tanto o poço H quanto o poço J apresentam um nível de conglomerado (Membro Carmópolis, em amarelo) abaixo do intervalo correspondente ao *boundstone* microbial. Identifica-se, também, uma variação lateral de fácies de *boundstone* microbial para *mudstone* e rochas híbridadas. Devido à presença de um espesso pacote do Membro Carmópolis na porção basal ao invés de rochas do embasamento, verifica-se que esta seção está na região limítrofe do Alto de Aracaju, onde

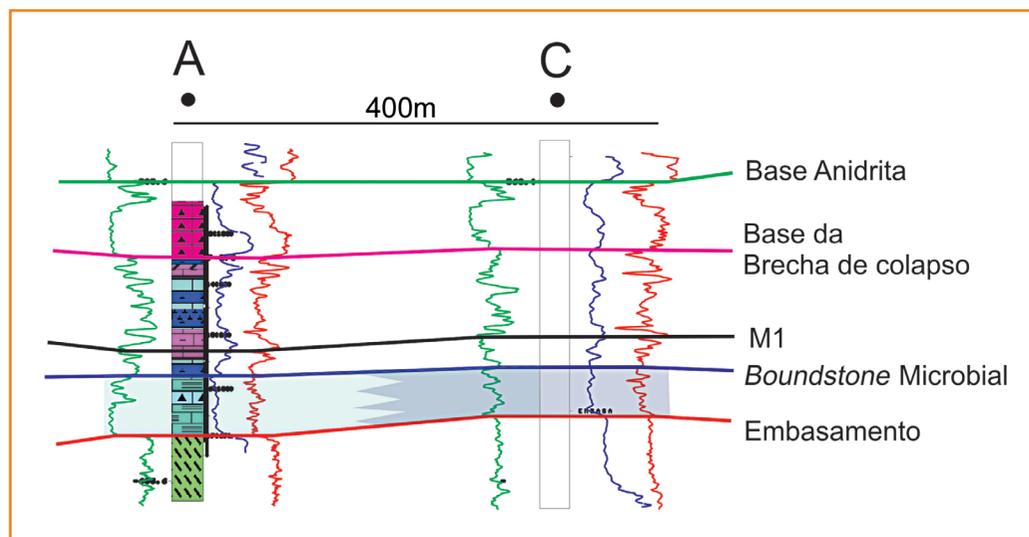


Figura 15 – Eletrofácies do poço A (testemunhado) e poço C, com os horizontes e marcos identificados. Para ambos os poços, há diferença de eletrofácies no intervalo correspondente ao carbonato microbial (entre as linhas vermelha e azul). Raios gama em verde, resistividade em azul e densidade em vermelho.

Figure 15 – Log facies of the well A (cored) and well C, with the horizons and identified picks. For both wells, there is different log facies characteristic in the correspondent interval with microbial carbonate (between the red and blue lines). Gamma ray, in green; resistivity, in blue and density, in red.

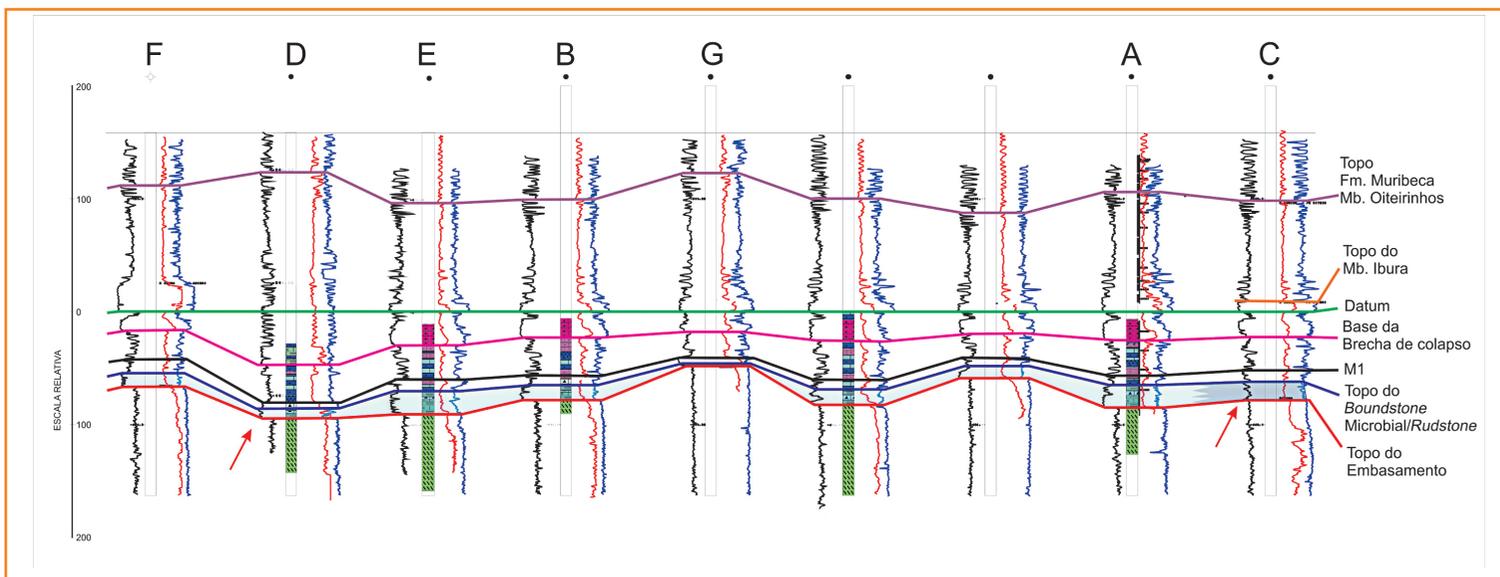


Figura 16 – Seção estratigráfica 1 (strike) ao longo do Alto de Aracaju. Datum: base de espessa camada de anidrita do topo do Membro Ibura. Em azul, o intervalo de carbonato microbiano e a linha vermelha contínua indicam o topo do embasamento. Notar as variações de espessura dos carbonatos ao longo da seção. Raios gama em preto, resistividade em vermelho e densidade em azul.

Figure 16 – Stratigraphic Section 1 along the Aracaju High, strike. Datum: base of the thick anhydrite bed at the top of Ibura Member. In blue, the interval of microbial carbonate. The red line indicates the top of the basement. Observe the thickness variation of the carbonates along the section. Gamma ray in black, resistivity in red and density in blue.

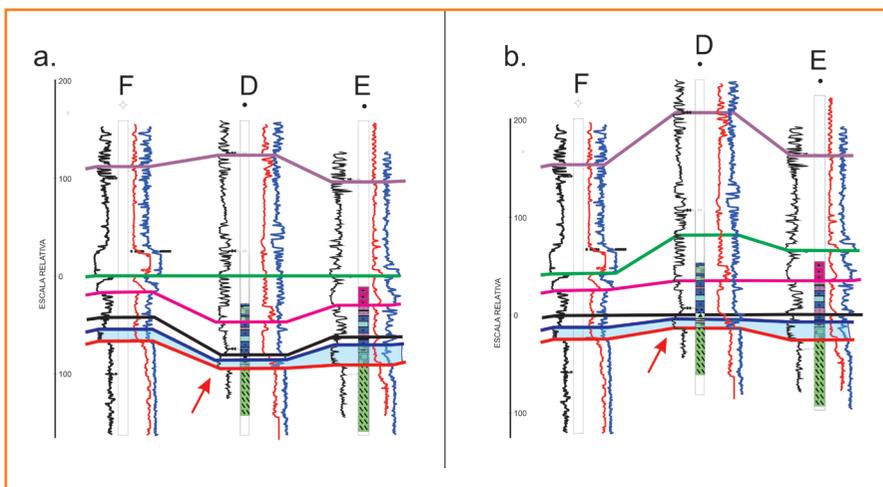


Figura 17
Figura 17 – Detalhe da seção 1 (fig. 16), poços D, F e E. Datum: base da anidrita (a) e datum Marco M1 (b). Raios gama em preto, resistividade em vermelho e densidade em azul.

Figure 17
Figure 17 – Detail of section 1, wells D, F and E. Datum: base of anhydrite (a) and datum Marco M1 (b). Gamma ray in black, resistivity in red and density in blue.

o gradiente é mais acentuado. Além disso, nota-se a variação lateral das fácies carbonáticas, que pode estar relacionada às mudanças de condições de sedimentação para, talvez, um ambiente menos restrito e com maior aporte siliciclástico.

A seção mergulho estratigráfica da figura 19 mostra uma variação lateral de fácies do boundstone microbiano na região do poço E e M para mudstone no poço K. A interpretação baseou-se nos dados de eletrofácies e na análise de lâminas de amostras de calha, que indicou a presença de mudstone com textura grumosa (definido como carbonato microbiano) em pequena quantidade e domínio da fácies mudstone. Esta seção corrobora a idéia de que fácies

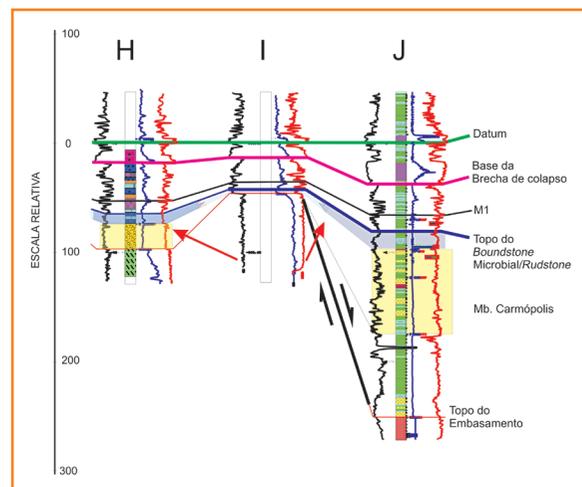


Figura 18 – Detalhe da seção estratigráfica 2 (dip). Datum: base de espessa camada de anidrita do Membro Ibura. Em azul, o intervalo de carbonato microbiano com a variação lateral de fácies. A linha vermelha indica o topo do embasamento. Raios gama em preto, resistividade em vermelho e densidade em azul.

Figure 18 – Detail of stratigraphic section 1, dip. Datum: base of the thick anhydrite bed of Ibura Member. In blue, the microbial carbonate interval with the lateral facies variation. The red line indicates the top of the basement. Gamma ray in black, resistivity in red and density in blue.

de mudstone caracterizam a variação lateral da fácies de boundstone microbiano. Além disso, observa-se que

nos altos (poço L) ocorre afinamento ou, até, ausência do *boundstone* microbial.

seção estratigráfica evolutiva

Com o objetivo de compreender e ilustrar a deposição do *boundstone* microbial associada à evolução tectono-estratigráfica na região do Alto de Aracaju durante Neo-Alagoas, foram elaboradas, a partir da seção 1 rumo (*strike*, fig. 16), quatro seções estratigráficas, utilizando quatro diferentes *datums*, da base para o topo: marco M1, marco M4.1, base da espessa camada de anidrita e topo da Formação Muribeca/Membro Oiteirinhos (fig. 20).

Nas seções da figura 20, o intervalo cronoestratigráfico correspondente ao *boundstone* microbial (em azul) encontra-se correlacionado. As seções ilustram a evolução (fig. 20) na época da deposição do *boundstone*

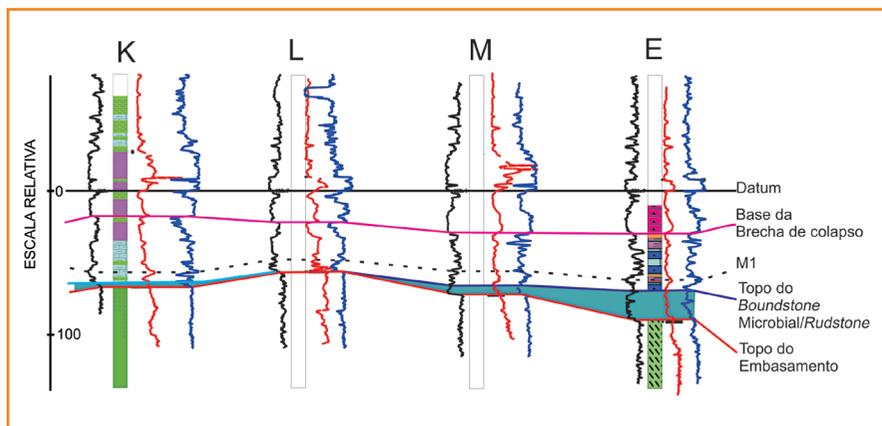


Figura 19 – Detalhe da Seção estratigráfica 3 (*dip*). Datum: base de espessa camada de anidrita do Membro Ibura. A linha vermelha contínua indica o topo do embasamento. Em azul, o intervalo de carbonato microbial e a variação lateral de fácies no poço K. Gamma ray in black, resistivity in red and density in blue.

Figure 19 – Detail of stratigraphic section 3, *dip*. Datum: base of the thick anhydrite bed of Ibura Member. The red line indicates the top of the basement. In blue the interval of microbial carbonate with the lateral facies variation in the well K. Gamma ray in black, resistivity in red and density in blue.

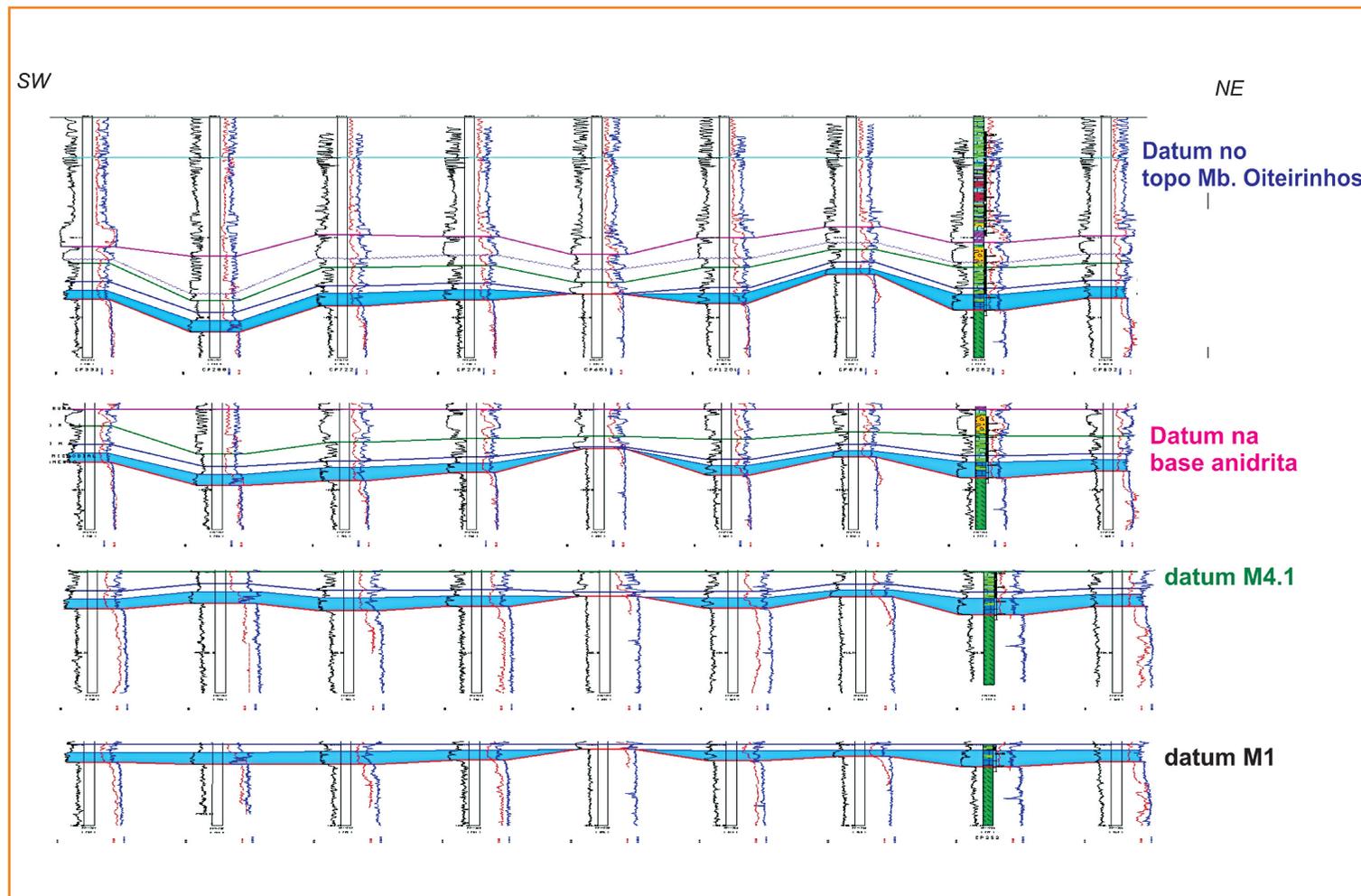


Figura 20 – Seção estratigráfica evolutiva. (A) Datum M1, (B) Datum M4.1, (C) Datum Base da Anidrita, (D) Datum Topo do Mb. Oiteirinhos.

Figure 20 – Evolutive stratigraphic section. (A) Datum M1, (B) Datum M4.1, (C) Datum Base of Anhydrite, (D) Datum Top of Oiteirinhos Mb.

microbial (representado pelo marco M1), onde ocorre o adelgaçamento deste em relação às porções mais altas do embasamento, indicando que essas regiões mais altas estavam acima do nível d'água, ambiente desfavorável à ocorrência de esteiras microbiais.

Neste trabalho, interpretou-se que, no tempo pós-deposição do *boundstone* microbial, houve intensa movimentação do embasamento, e que se tratava de uma região tectonicamente ativa. A seção com *datum* M4.1 ilustra os primeiros movimentos de bloco, que são claramente verificados na seção com *datum* na porção basal da anidrita. A seção com *datum* na porção basal do Mb. Oiteirinhos mostra a configuração sensivelmente modificada em relação ao tempo M1. Deste modo, com base na paleotopografia do Alto de Aracaju, infere-se um evento de peneplanização pré-deposição do carbonato microbial, como observado pela seção estratigráfica com o *datum* marco M1 (fig. 20).

ambiente deposicional

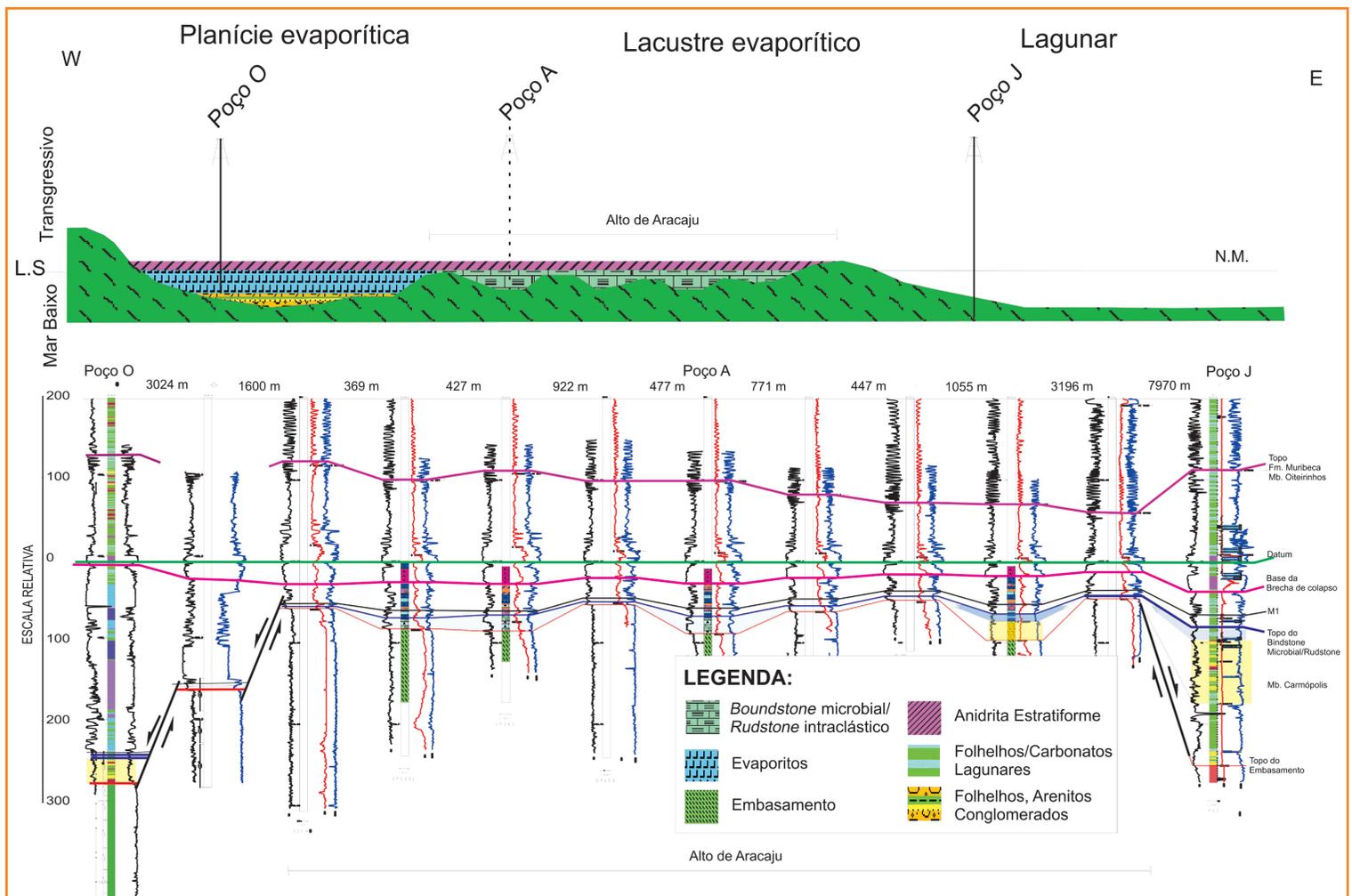
O ambiente deposicional foi definido como transicional para a seção basal do Mb. Ibura, de acordo com as fácies observadas e suas associações (tabela 1). As principais fácies deposicionais consideradas na análise do ambiente deposicional são: (1) brechas e conglomerados; (2) *boundstone* microbial; (3) *rudstone* intraclástico; (4) *mudstones* laminados e carbonosos; (5) anidrita nodular e estratiforme e (6) as margas e lamitos. Estas fácies são interpretadas como depositadas em depressões com lâmina d'água rasa, que sofria variações, principalmente, devido a eventos climáticos.

O sistema deposicional é lacustre-lagunar evaporítico e foi interpretado com base nas associações de fácies e correlações estratigráficas. Geomorfologicamente, a bacia seria formada por uma ampla planície com presença abundante de pequenos lagos (escala de centenas de metros), onde se estima que a lâmina d'água seria de ordem decimétrica a métrica. Este ambiente seria anexo a uma laguna ao leste e, eventualmente, haveria aporte de água da laguna para este ambiente restrito, devido ao aumento no nível de base da laguna (incurções marinhas?) ou a tempestades. Deste modo, dispostos lateralmente e anexos ao Alto de Aracaju, foram caracterizados os sistemas de planície evaporítica e lagunar (fig. 21).

A partir da análise estratigráfica e correlação de poços, delimitou-se o sistema lacustre evaporítico ao Alto de Aracaju. O conteúdo fossilífero escasso (alguns ostracodes e miósporos) e a variação lateral de fácies observadas nos poços de correlação também auxiliaram a definição do modelo deposicional e caracterização de sua variação lateral. A abundante presença de microbiolitos é um dos principais fatores que comprovam as características estressantes do sistema deposicional, inóspito a proliferação de outras formas de vida.

Em suma, os *boundstone* microbiais no Alto de Aracaju, base do Membro Ibura, foram interpretados como sistema lacustre evaporítico restrito, devido aos seguintes aspectos: (a) escassa presença de fósseis, os quais são limitados a alguns espécimes de ostracodes; (b) carbonatos microbiais na forma de tapetes; (c) ausência de estruturas de correntes e marés; (d) evidências de alta salinidade e evaporação intensa durante a deposição na forma de anidrita nodular e brechas de colapso; (e) intercalação de anidrita estratiforme, nodular e *mudstone* carbonoso como evidência de lâmina d'água rasa; (f) presença de feições de exposição como *tepees* e gretas de ressecamento e (g) dominância de tipos litológicos de ambiente de baixa energia. A presença de brechas do embasamento e conglomerados híbridos foi interpretada como depósitos de borda dos lagos, ou seja, estas fácies formavam depósitos de leques periféricos a cada pequena depressão/bacia. Deste modo, caracteriza-se que estes leques pertencem, em termos litoestratigráficos, ao Membro Ibura. Embora a dominância de tipos litológicos seja de ambiente de baixa energia, a continuidade lateral deveria ser pequena, devido aos altos topográficos existentes durante a época da deposição, os quais são observados nas seções estratigráficas.

A distribuição lateral de fácies e as geometrias dos pacotes litológicos (fig. 22) foram definidas de acordo com o trato de fácies, com os limites de sequência observados na seção litoestratigráfica monodimensional e com a correlação estratigráfica. Assim, foram obtidos modelos segundo três condições ambientais distintas: (1) ocorrência de eventos climáticos catastróficos, em épocas de maior umidade, na forma de chuvas torrenciais; (2) condição climática padrão (sazonal/*background*), onde ocorre alternância climática de estações quentes e estações úmidas e (3) condição de deposição segundo alta taxa de evaporação após longos períodos de estiagem e consequente lâmina d'água rasa (centimétrica), resultando em ampla exposição dos sedimentos depositados anteriormente.



Os sedimentos foram depositados de forma cíclica, marcados, ao menos, dois limites de sequência (L.S. no poço A, fig. 23). Os carbonatos microbiais, no poço A, estão restritos à seção abaixo do L.S. 2 (em amarelo) e sobre o embasamento. Este fato é interpretado como evidência da rápida colmatção dos espaços deposicionais, provavelmente relacionada à pequena ou ausente subsidência durante a época de deposição dos carbonatos microbiais, ou seja, interpreta-se que, durante este momento geológico, havia estabilidade tectônica. Infere-se, com base em ambiente deposicional análogo (Ilhas Christmas, Trichet *et al.* 2001), que a deposição dos carbonatos microbiais poderia ser cíclica, porém, restrita às porções intermediárias e marginais das depressões. Ao considerar a deposição e retrabalhamento do carbonato microbial como recorrente, interpreta-se que houve um rápido preenchimento do espaço deposicional e que o ambiente propício à deposição dos carbonatos se deslocou em direção às porções marginais das depressões. Esta interpretação é baseada na inferência de existir *boundstone* microbial

nas bordas das depressões, visto que não houve amostragem desta região.

A partir das geometrias de fácies interpretadas anteriormente, buscou-se empilhar os três casos base (alta evaporação, sazonalidade, alta umidade/tempestades) segundo os limites de sequência. O resultado (fig. 23) representa a possível distribuição das litofácies lateralmente ao poço A em uma escala subsísmica.

Do ponto de vista deposicional, o ambiente encontrado atualmente na ilha Christmas (ou Kirimati), Pacífico Central próximo à linha do Equador, mostra semelhanças com as sequências descritas no Alto de Aracaju. A ilha Christmas tem uma área de, aproximadamente, 360km², onde ocorrem numerosos lagos, nos quais são depositadas, alternadamente, camadas de carbonatos, evaporitos (sulfato de cálcio, halita) e matéria orgânica. A ausência de qualquer rocha siliciclástica neste ambiente “tipo” atol de recife explica a falta de margas ou material argiloso nos depósitos. No caso do Alto de Aracaju, o embasamento adjacente é fonte de material siliciclástico e os depósitos sedimentares

Figura 21

Seção esquemática oeste-leste dos sistemas Lagunar, Lacustre-Evaporítico e Planície Evaporítica. Na porção inferior apresenta-se a correlação cronoestratigráfica. Pode-se observar o posicionamento do Alto de Aracaju na porção central da correlação com o Complexo Lacustre Evaporítico na porção superior da figura.

Figure 21

Schematic west-east section of the Lagoonal, Evaporitic Lacustrine and Evaporitic Flat environments. At the bottom, it is shown the chronostratigraphic correlation. It is observed the position of the Aracaju High in the central part of the correlation with the Evaporitic Lacustrine system at the top of the figure.

Figura 22
Distribuição lateral e geometria de fácies segundo as principais condições deposicionais.

Figure 22
Lateral distribution and facies geometry according to the main depositional conditions.

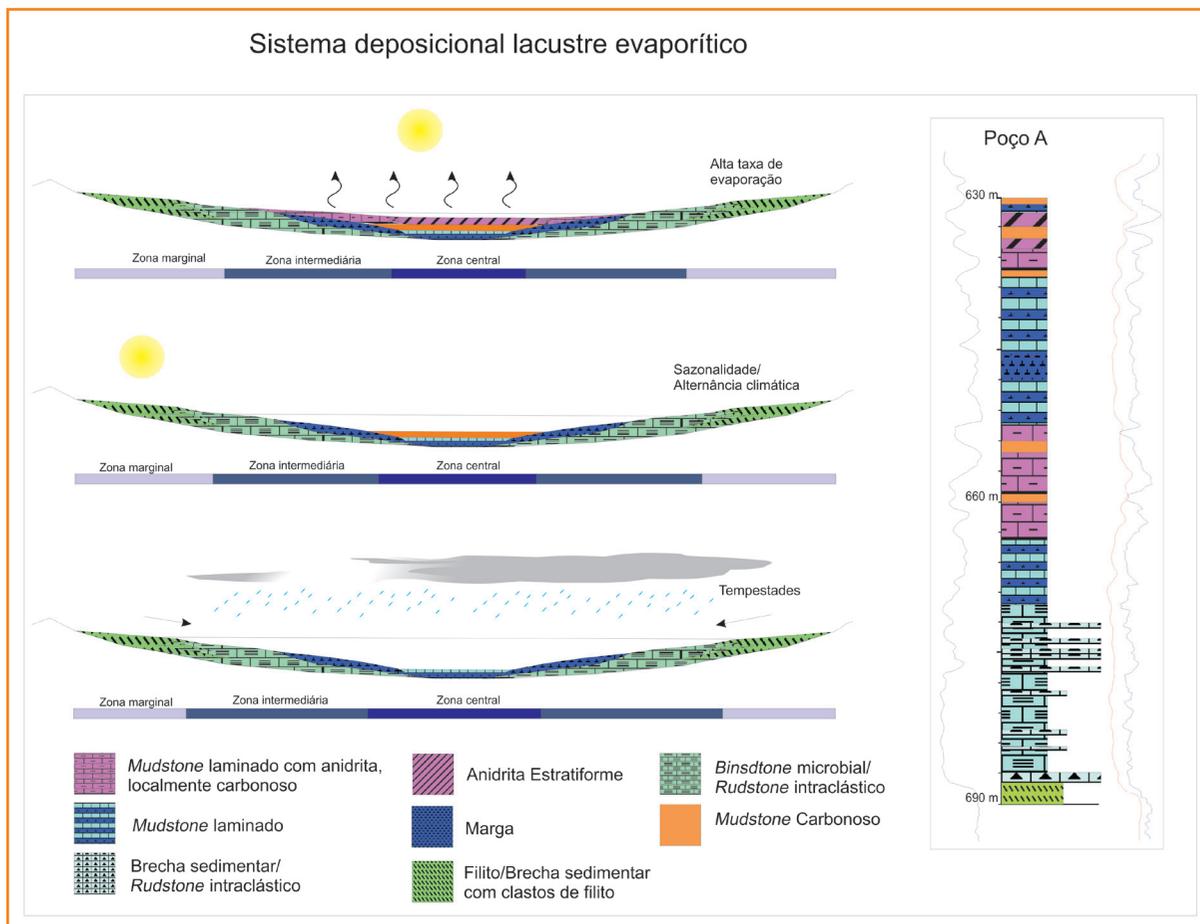
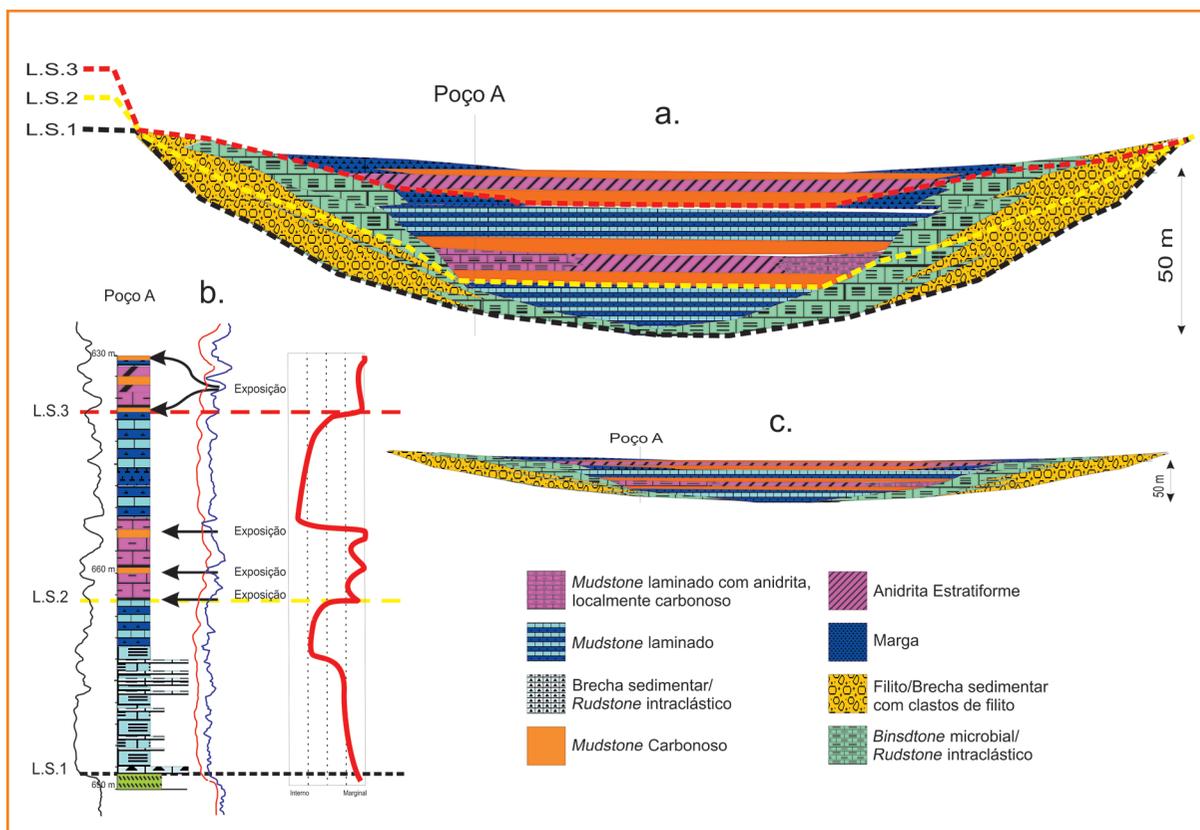


Figura 23
a. Geometria e empilhamento litostratigráfico de fácies segundo a seção descrita em testemunho no poço A com posicionamento dos limites de seqüência na bacia, exagero vertical (5 vezes?); b. limites de seqüências, perfil composto e curva de variação do nível de base; c. geometria aproximada da bacia com profundidade 50m e largura/comprimento da ordem de centenas de metros

Figure 23
a. Geometry and lithostratigraphical stacking of facies according to the described interval of the cored well A with the sequence boundaries, vertical exaggeration (5 times?); b. sequence boundaries, composite log and variation of base level curve; approximate geometry of the basin with a depth of 50m and width/length of the order of hundreds of meters.



contêm lamitos e margas. Desta forma, do ponto de vista geomorfológico, considera-se que a ilha Christmas não é um ambiente análogo, pois se trata de um atol. Contudo, é considerado análogo do ponto de vista sedimentológico e do registro litológico e estratigráfico, pois há excelente correlação entre a coluna sedimentar descrita neste ambiente recente e o registro encontrado na seção do carbonato microbial do Alto de Aracaju.

Trichet *et al.* 2001 descrevem um modelo para a deposição de carbonatos microbiais, evaporitos e camadas orgânicas nos “lagos lagunares (*lagoon/lakes*)” da Ilha Christmas. O sistema deposicional de água rasa é confirmado pela presença de camadas orgânicas interpretadas como derivadas de populações de cianobactérias (microbiais) que formaram esteiras temporárias na superfície sedimentar (Ortí *et al.*, 1984; Rouchy *et al.*, 1998).

Diferenças significativas podem ser observadas entre lagos próximos ou mesmo adjacentes: as salinidades podem variar, por exemplo, de 69 ppm a 202 ppm. A individualidade dos lagos torna seu desenvolvimento e estrutura bastante interessantes, visto que a ilha Christmas propicia uma grande variedade de condições biogeoquímicas sob condições climáticas similares.

Segundo Trichet *et al.* (2001), o principal mecanismo responsável pelas variações recorrentes de salinidade tem sido atribuído aos eventos da Oscilação Sul-El Niño (OSEN). Medidas de salinidade na superfície de lagos mostraram o decréscimo de salinidade original de uma escala de 42-300 ppm para 1.5-55 ppm, após um evento OSEN.

Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário

Em relação à expressão “Enseada do Rosário” (Palagi, 2008), propõe-se o termo Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário para o conjunto das associações de fácies encontrado no Alto de Aracaju e adjacências. Esta proposição é baseada na constatação que a distribuição dos carbonatos ocorre em extensão maior que aquela verificada anteriormente. Além disso, a interpretação das associações de fácies e sua distribuição indicam a presença de paleoambientes lacustre e lagunar na área do Alto de Aracaju.

O Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário, quando atuante, foi composto por um sistema lacustre-lagunar

evaporítico, condicionado ao Alto de Aracaju e em comunicação restrita com uma laguna anexa ao Alto de Aracaju. Infere-se que esta laguna teria comunicação franca com o mar. Anexa ao sistema, encontrava-se uma planície evaporítica com registro de deposição de espessa camada de evaporitos. Em síntese, o Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário era composto por três sistemas deposicionais correlacionáveis: (1) planície evaporítica oeste; (2) lacustre lagunar/evaporítica central e (3) laguna leste (fig. 24).

O bloco diagrama representa, aproximadamente, a configuração dos sistemas deposicionais do Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário, conforme interpretado segundo as correlações estratigráficas. Na figura 24, sugere-se, ao leste, a presença de um mar em comunicação com uma laguna. Na porção central, observa-se uma série de depressões com comunicação restrita com a laguna. Os tons de cinza correspondem às bordas emersas das depressões. Esta região foi definida como um ambiente lacustre evaporítico. Na porção oeste do bloco, ocorrem evaporitos depositados em uma bacia subsidente, anexa ao Alto de Aracaju. A orientação foi definida para manter a laguna ao leste e a planície evaporítica ao oeste, como interpretado na correlação estratigráfica.

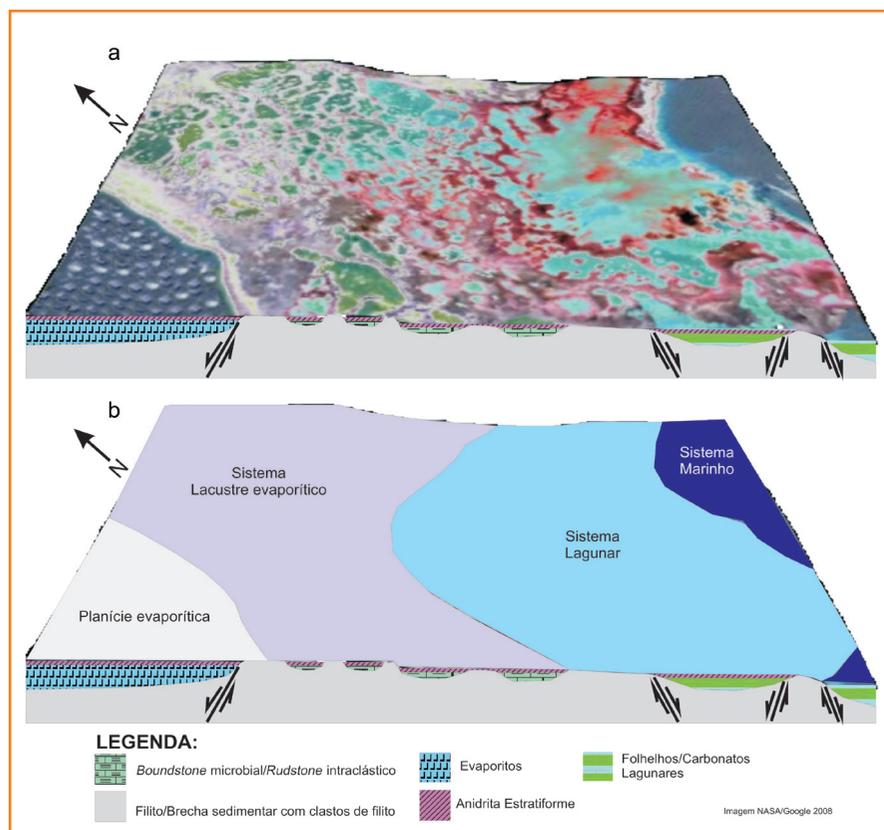
Figura 24

Representação esquemática da interpretação do sistema deposicional definido a partir do poço A e ambientes associados.

a. Representação esquemática com sobreposição de imagem de satélite hipotética representando o sistema lagunar/marinho a leste e o sistema lacustre/planície evaporítica a oeste. b. Bloco diagrama com zoneamento dos sistemas deposicionais interpretados na área do Alto de Aracaju.

Figure 24

Schematical representation of the depositional system interpretation base on well A and associated environments. a. Schematical representation with hypothetical satellite image overlay representing the lagoon/marine environment to east and restricted lacustrine/evaporitic flat environment to west. b. Schematical representation with the zoning of the interpreted depositional systems in the area of the Aracaju High.



conclusão

Com base na descrição dos litotipos, foram associadas fácies de planície evaporítica e lacustre, distribuídas em todo o Alto de Aracaju. Entre as evidências utilizadas, destaca-se a presença de anidrita diagenética (nodular) e anidrita estratiforme intercalada com os carbonatos microbiais, além da ausência de variedade fossilífera sensível na seção de carbonatos da porção basal da sequência. De acordo com as seções geológicas, a fácies de *boundstone* microbial varia lateralmente para *mudstones* laminados e margas. *Mudstones* laminados e *mudstones* carbonosos alternados indicam flutuações climáticas durante a deposição, provavelmente sazonais. O ambiente de sedimentação seria composto por áreas mais altas com exposições do embasamento e abundância de lagoas, onde a lâmina d'água seria de ordem decimétrica a métrica. Este ambiente seria anexo a uma laguna (*Strictu Sensu*) e, eventualmente, haveria aportes de água da laguna para este ambiente restrito, devido a chuvas torrenciais ou variação do nível de base da laguna.

A principal porosidade no intervalo dos carbonatos microbiais é secundária, gerada por dissolução (*vugs* e alargamento de estruturas primárias) durante a diagênese. Embora a diagênese tenha contribuído para o aumento da porosidade, também promoveu a obliteração do espaço poroso por dolomitização.

Para melhor compreensão da geometria destas rochas reservatório, análises futuras devem utilizar mapas de contorno estrutural com datums logo abaixo da camada de sal até o topo dos carbonatos. Mapas de atributos sísmicos (sísmica 3D) podem auxiliar a melhor delimitação dos altos estruturais, disposição espacial dos carbonatos microbiais e refinar a delimitação do Complexo Lacustre-Lagunar do Rosário.

agradecimentos

Agradecemos ao apoio gerencial no desenvolvimento deste projeto, gerências EeP-EXP/GEO/ES e UN-SEAL/EXP/SE. Agradecemos aos profissionais pelo empenho e disposição nas discussões técnicas: Cícero da Paixão, Francisco Martins, Cícero Francelino, Roberto d'Ávila, José Souto, James Vítor, Paulo Palagi, Dimas Brito e Joel de Castro. Agradecemos aos colegas Rogério Antunes, Saulo Ferreira Santos, Wagner Souza-Lima e Adali Spadini, pela minuciosa revisão dos manuscritos e valiosas sugestões

referências bibliográficas

ABELL, P.; AWARAMIK, S. T.; OSBORNE, R. K.; TOMELLINI, S. Plio-Pleistocene lacustrine stromatolites from Lake Turkana, Kenya: morphology, stratigraphy and stable isotopes. **Sedimentary Geology**, v. 32, p. 1-26, 1982.

BURNE, R. V.; MOORE, L. S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. **Palaaios**, v. 2, p. 241-254, 1987.

CAMPOS NETO, O. P. A.; SOUZA-LIMA, W.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, 2007.

CUNHA, A. A. S.; KOUTSOUKOS, E. A. M. Calcareous nannofossils and planktic foraminifers in the upper Aptian of the Sergipe Basin, northeastern Brazil: palaeoecological inferences. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 142, p. 175-184, 1998.

DIAS, J. L. Estratigrafia e sedimentação dos evaporitos Neo-Aptianos na margem leste brasileira. In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C (Ed.). **Sal: Geologia e Tectônica**. São Paulo: Editora Beca, 2008, p. 223-231.

DROSTE, H., Depositional cycles and source rock development in an epeiric intra platform basin: the Hanifa Formation of the Arabian peninsula. **Sedimentary Geology**, v. 69, p.281-296, 1990.

DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to their depositional texture. In: Ham, W.E. (Ed.). **Classification of carbonate rocks: a symposium**. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, p. 108-121, 1962.

EMBRY, A. F.; KLOVAN, J. E. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N. W. T. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, v. 19, p. 730-781. 1971.

LOKIER, T.; STEUBER, S. Quantification of carbonate ramp sedimentation and progradation rates for the Late Holocene Abu Dhabi shoreline. **Journal of Sedimentary Research**, v. 78, p. 423-431, 2008.

ORTÍ, F.; PUEYO, J. J.; GEISLER, D.; DULAU, N. Evaporitic sedimentation in the coastal salinas of Santa Pola Alicante, Spain. **Revista do Instituto Inv. Geológico**, v. 38-39, p. 169-220, 1984.

QING H.; NIMEGEERS, A. R. Lithofacies and depositional history of Midale carbonate-evaporite cycles in a Mississippian ramp setting, Steelman-Bienfait area, southeastern Saskatchewan, Canada. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, v. 56, p. 209-234, 2008.

RIDING, R. **Microbial sediments**. Berlin: Springer-Verlag, 2000. 331 p.

ROUCHY, J. M.; TABERNER, C.; BLANC-VALLERON, M. M.; SPROVIERI, R.; RUSSELL, M.; PIERRE, C.; DI STAFANO, E.; PUEYO, J. J.; CARUSO, A.; DINAREAS-TURELL, J.; GOMIS-COLL, E.; WOLFF, G.; CESPUGLIO, G.; DITCHRELD, P.; PESTREA, S.; COMBOURIEU-NEBOUT, N.; SANTISTEBAN, C.; GRIMALT, J. O. Sedimentary and diagenetic markers of the restriction in a marine basin: the Lorca basin SE, Spain during the Messinian. **Sedimentary Geology**, v. 121, p. 23-55. 1998.

SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 21-86, 1969.

SOUZA-LIMA, W. Sequências evaporíticas da Bacia de Sergipe-Alagoas In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C (Ed.). **Sal: Geologia e Tectônica**. São Paulo: Editora Beca, 2008, p. 230-271.

TRICHET, J.; DÉFARGE, C.; TRIBBLE, J.; TRIBBLE, G.; SANSONE, F. Christmas Island lagoonal lakes, models for the deposition of carbonate, evaporate and organic laminated sediments. **Sedimentary Geology**, v. 140, p. 177-189, 2001.

WIGNALL, P. B. Model for transgressive black shales? **Geology**, v. 19, p. 167-170. 1991.

expanded abstract

There are microbial carbonates at the base of Ibura Member, Muribeca Fm., on the Aracaju High, Sergipe Basin. This work deals about these carbonates that were deposited over basement highs. The objective of this article is to present the depositional system related to the carbonates of the Ibura Member. The study was based on the description of 60m of core (well A) and its corresponding 38 thin sections. It was also described 47 cutting samples from six wells and 25 thin sections of cutting samples from four wells. The main lithofacies include microbial boundstones and rudstones, mudstones, carbonaceous mudstones, basement breccias, hybrid conglomerates, marl and mudstone, sedimentary breccias with anhydrite and stratiform anhydrite.

The log facies analysis was based on the main lithofacies described. The core description interval corresponds to the Upper Aptian (P270 biozone). The facies association includes carbonatic, siliciclastic, evaporitic and hybrid, facies. It has been also described eodiagenesis related to transitional and evaporitic environment based on rock and thin sections of cuttings. The mesodiagenesis is characterized by fracturing, dissolution, prismatic anhydrite, silicification, dolomitization and pyritization. Based on core description (facies and facies association) it was performed logfacies analysis and it was done the composite logs for all the wells in the area. The logs and lithofacies correlation was made based on the cored well, and applied on the stratigraphical and structural sections. The sections employed 44 wells with gamma ray, resistivity and density logs.

The microbial carbonates are deposited on life stressing environments. The microbial induced sedimentation of carbonates occurs in many different environments like marine reef, tidal flats, lacustrine, fluvial, on cavern crusts and hydrothermal. These organisms are prolific in cold or hot water, variable water depths, arid or humid climates, hypersaline water with low O₂ and high atmospheric CO₂. The microbiolites are also associated to depositional systems in evaporitic lakes and lagoons. The intra-platform transitional environments with shallow water carbonates are also commonly characterized by cyclic deposition which varies from siliciclastic mudstones to carbonates and evaporites including carbonaceous facies.

The Muribeca Fm. (Ibura Mb. and Oiteirinhos Mb.) is interpreted as deposited in a transitional

environment with some marine incursions. In the studied area, a fundamental observation is the thickening trend of the microbial carbonate on the lower areas, with thinning on the higher areas, it is concluded that the microbial carbonates were deposited over the topographic internal depressions on the Aracaju High. The microbial carbonate layer is stratigraphically correlated on the entire Aracaju High. It has been also described evaporitic cycles for Ibura Member with high and low salinity phases. The facies are interpreted as deposited in shallow water depth ranging from few centimeters to metric depths. It is also interpreted that the water depth varied mainly due to climate events. There is also lateral facies variation observed on the wells with distances no longer than 40m.

The Walther Law and the sequence boundaries observed on the core are the basic assumptions for the interpretation of the lateral distribution of facies. The depositional environment was interpreted as restricted evaporitic lagoonal-lake. The depositional basin was formed by a wide plain full of shallow lakes with decimetric to metric water depth. This environment would be attached to a lagoon with storm events that would bring heavy rainfall and marine water into basin.