

roteiros geológicos

Depósitos de fluxos gravitacionais da Formação Maceió - Bacia de Alagoas, NE do Brasil

Gravity flow deposits of the Maceió Formation - Alagoas Basin, NE of Brazil

Luci Maria Arienti

resumo

Este trabalho, utilizando dados de afloramentos e de poços do Campo de Tabuleiro dos Martins (TM), discute os depósitos da Formação Maceió (Aptiano/Albiano), na transição rifte/drifte da Bacia de Alagoas. Estudos de fácies, processos, sistemas deposicionais, tratos de sistema e seqüências deposicionais permitiram o reconhecimento de depósitos de fluxos gravitacionais de alta densidade do tipo **turbiditos hiperpicnais**, cuja alimentação de sedimentos ocorreu diretamente a partir de cheias fluviais catastróficas. Os conceitos da estratigrafia de seqüências podem ser usados em seções rifte, desde que sejam considerados os controles tectônicos e/ou climáticos. Tratos de sistema transgressivo (TST), relacionados a períodos climáticos úmidos,

representam fases de alto *input* de sedimentos siliciclásticos na bacia, com a acumulação de depósitos turbidíticos hiperpicnais, tipicamente enriquecidos em matéria orgânica continental. Em contraste, tratos de sistema de lago alto tardio (TSLA) correspondem a períodos climáticos secos, dominados por depósitos lacustrinos lamosos, ricos em matéria orgânica algálica e com gretas de ressecamento. Localmente, tratos de sistema de lago baixo (TSLB) dominados por evaporitos podem ocorrer. O clima e a tectônica foram os principais fatores controladores da sedimentação da bacia no intervalo estudado, refletindo também na hierarquia e freqüência das seqüências deposicionais. Este artigo reforça a importância de estudos sedimentológicos e estratigráficos integrando dados de afloramentos e de subsuperfície.

abstract

This work deals with the Aptian rift section of Maceió Formation (Albian), Alagoas Basin, Northeast of Brazil, using data from outcrops and wells (Tabuleiro dos Martins Field). Studies of facies, process, depositional systems, facies tract and sequences were performed to characterize hyperpicinal turbidites; of which sediments were directly input by catastrophic river floods.

Sequence stratigraphy concepts can be used for rift-section analysis, considering the concept of "climate systems tracts" and the result is an excellent correlation between deposit types and climate conditions. Transgressive system tracts (TTS) related to humid periods represent phases of high siliciclastic input into the basin, resulting on sandstone turbidite sequences, typically enriched by continental organic matter. In contrast, later highstand system tracts (LHST), corresponding to arid conditions, are dominated by muddy lacustrine deposits, enriched by algal organic matter and showing mud cracks. Locally, lowstand system tracts (LST) dominated by evaporites are found in restricted areas.

Climate and tectonics were the main controlling factors of the architecture and frequency of the sequences. This study showed that an integrated approach, using outcrops and subsurface data, is a powerful tool to understand facies and depositional process, sequences and their stacking pattern on continental-rift deposits.

introdução

Este trabalho envolve o estudo de afloramentos da Seqüência de Transição, da qual faz parte a Formação Maceió, no norte de Alagoas, dentro da evolução de uma bacia rifte para drifte. O mapa geológico da bacia é apresentado na figura 1 e a carta estratigráfica na figura 2.

O intervalo estudado faz parte da Formação Maceió e constitui uma seqüência de 3ª ordem (119 a 116 Ma) com aproximadamente 600 m de espessura na área emersa. Os principais objetivos deste trabalho de campo são a observação das fácies e a interpretação de processos deposicionais nos afloramentos da Usina Santo Antônio (A5), Japaratinga (A7), Morro do Camaragibe

(A9) e comparações com os testemunhos do Campo de Tabuleiro dos Martins, onde foi possível construir um fatiamento estratigráfico detalhado desta sucessão de rochas.

Contexto regional da Bacia de Alagoas

A Bacia de Alagoas é separada da Bacia de Sergipe, ao sul, pelo Alto de Penedo que se localiza, geograficamente, próximo ao Rio São Francisco. A norte se separa da Bacia de Pernambuco pelo Alto de Maragogi. Os compartimentos estruturais da região de afloramentos são a Plataforma de Passo de Camaragibe e a Rampa de Maragogi, fazendo parte do Baixo de Alagoas. A Rampa de Maragogi tem seu ápice no Alto de Maragogi, desenvolvendo-se como uma homoclinal alongada de direção N45° E, com mergulho para SW.

Mendes e Bacelar (1992) identificaram dois padrões principais de falhamentos:

- a) direção NE-SW (controladora da deposição de sedimentos dos Andares Jiquiá e Alagoas) e responsável pela extensão SE da bacia;
- b) direção NW-SE (zonas de acomodação de esforços), possivelmente representando falhas de transferência.

As principais feições estruturais da bacia são apresentadas na figura 3, onde se observa o Alto de Maragogi no extremo NE do mapa. Na figura 4 são apresentadas uma seção NW-SE. Na figura 5 é mostrada uma seção NE-SW.

O entendimento dos afloramentos da Usina Santo Antônio, de Japaratinga e do Morro do Camaragibe foi possível através da análise faciológica detalhada e comparativa entre estes afloramentos. As evidências de campo sugerem fluxos gravitacionais de sedimentos que desenvolveram turbiditos hiperpicnais trativos em um lago num contexto de rifte. A discussão e a apresentação destes afloramentos é facilitada ao relacioná-los ao contexto da bacia, levando-se em conta o seu estágio evolutivo e os controles tectônicos e climáticos que condicionaram o preenchimento sedimentar nesta idade.

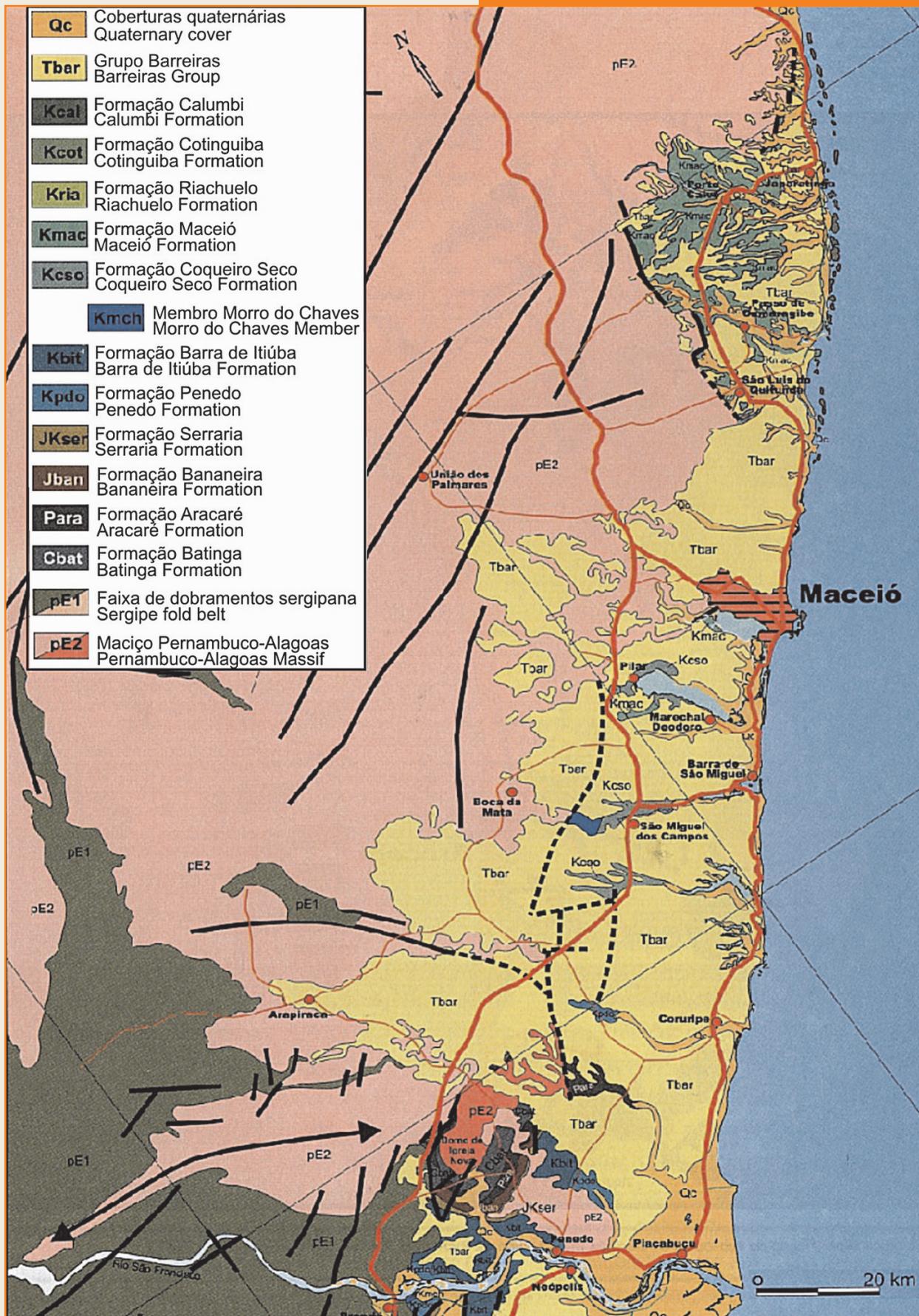


Figura 1
Mapa geológico da
Bacia de Alagoas e do
embasamento adjacente.

Figure 1
Geological map of
Alagoas Basin and
surrounding
Precambrian areas.

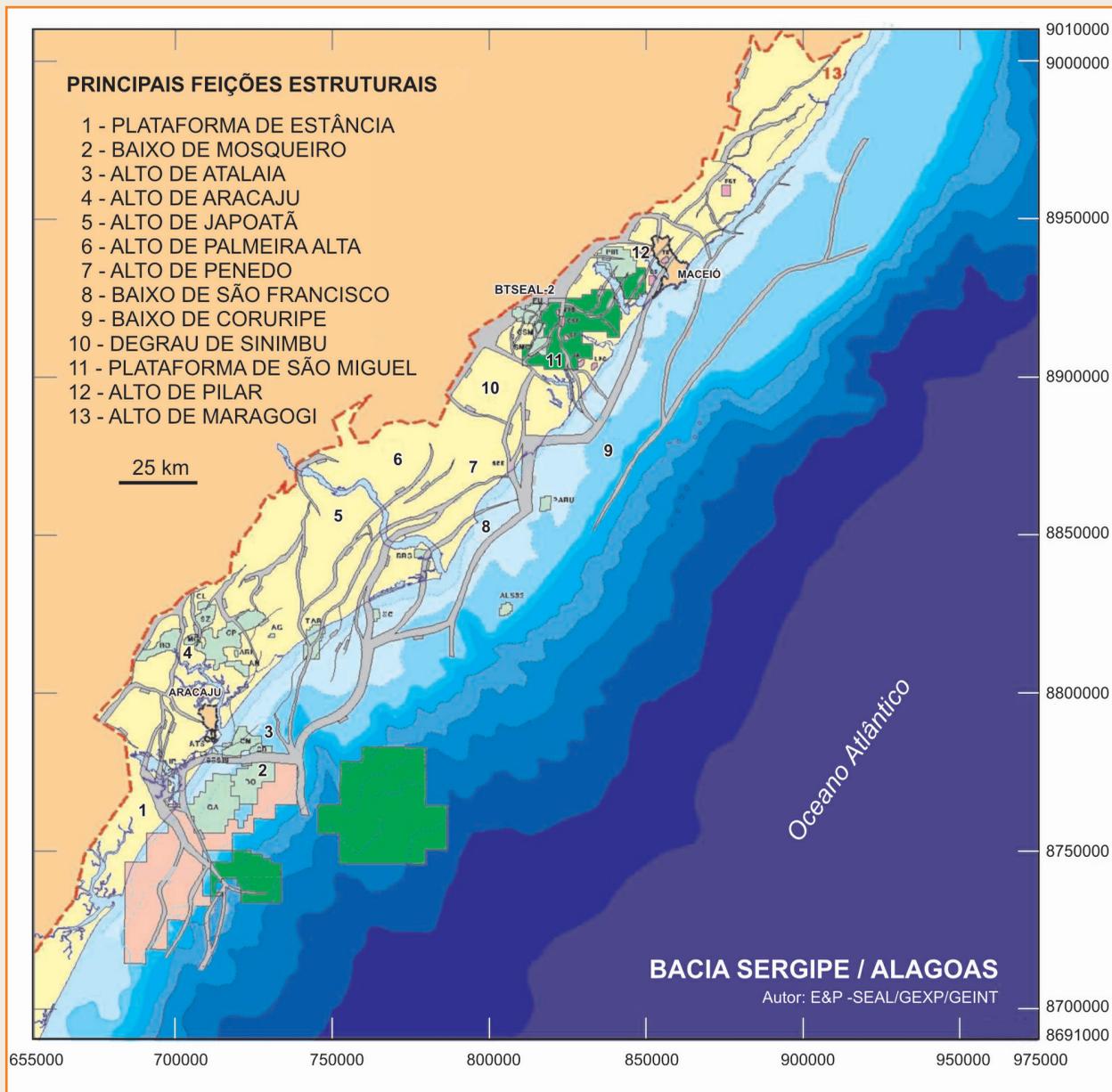


Figura 3

Mapa com as principais feições estruturais.

Figure 3

Map of the main structural features.

Depósitos de fluxos gravitacionais do Andar Alagoas - um exemplo de ciclicidade climática de alta frequência na Bacia de Alagoas

Este trabalho, que é parte de uma tese de doutorado desenvolvida por Arienti (1996), demonstra a importância do controle climático e tectônico no desenvolvimento das rochas-reservatório e do potencial de deposição e preservação de matéria orgânica em sistemas de rifte.

Foram descritos aqui os afloramentos da região norte de Alagoas, 300 m de testemunhos dos poços do Campo de Tabuleiro dos Martins (TM), com correlações de perfis e integração com testemunhos. Também foram feitas análises paleontológicas, petrografia orgânica e medição dos

Figura 4

Seção geológica NW-SE (Mendes e Bacelar, 1992).

Figure 4

NW-SE geological section.

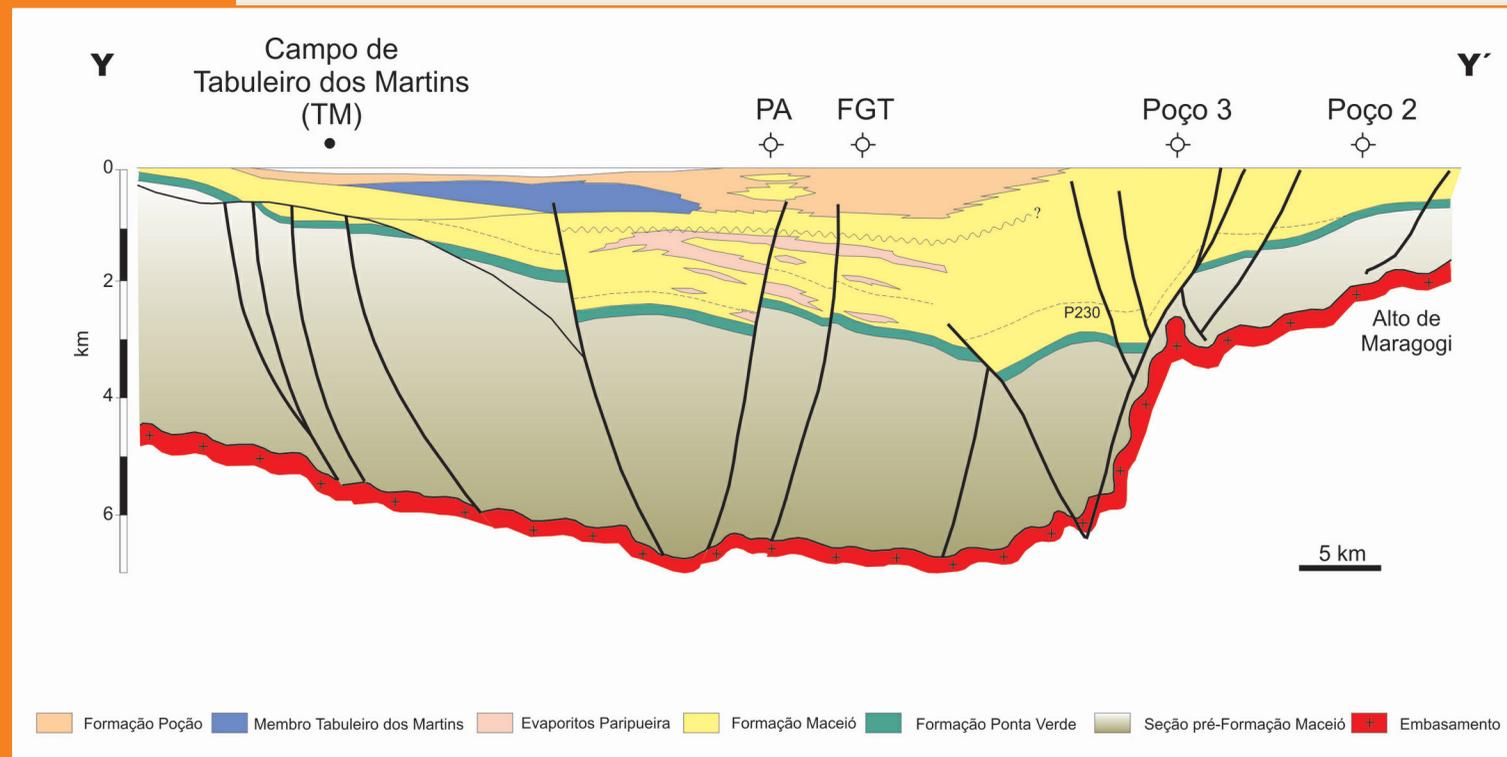
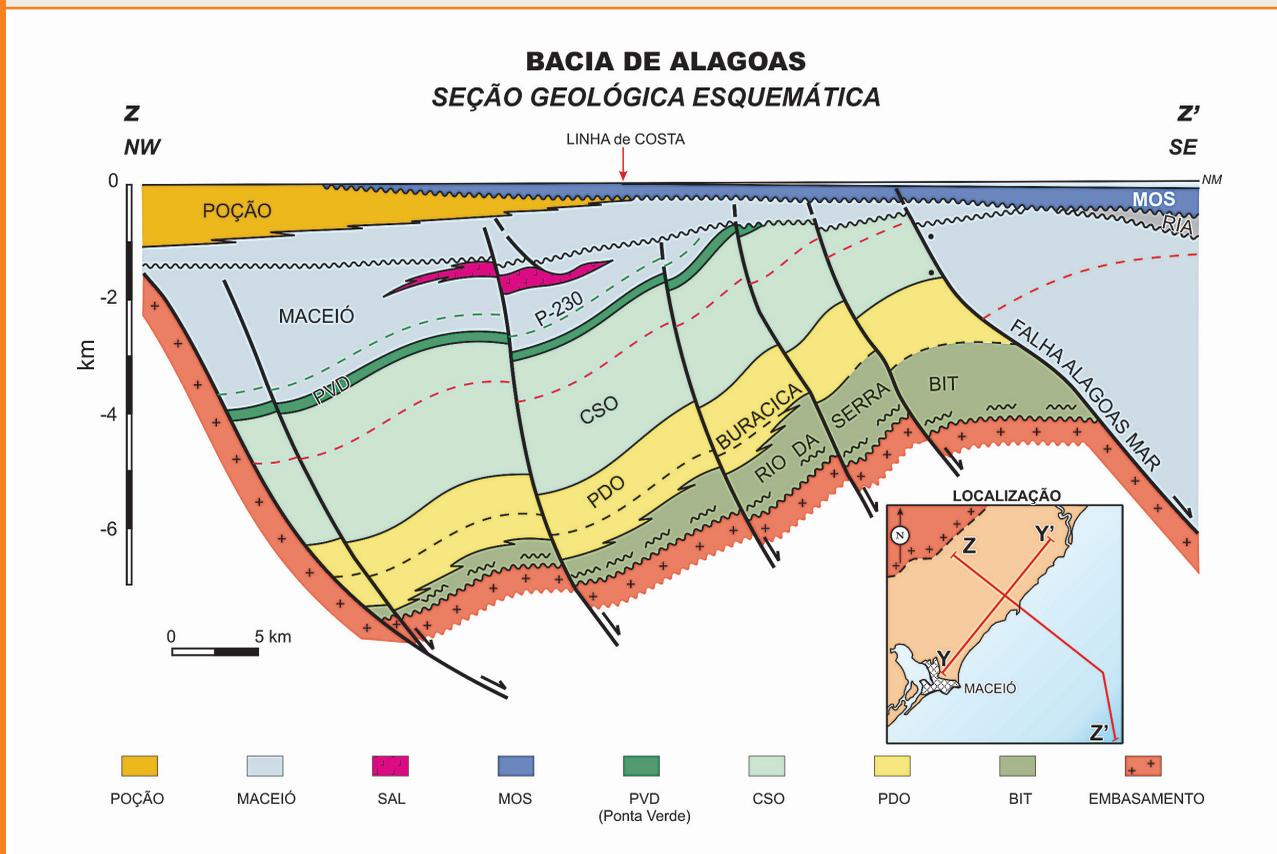


Figura 5 – Seção geológica NE-SW mostrando: o alto do embasamento (Alto de Maragogi), a região de afloramentos próximos ao poço 2 e a localização do Campo de Tabuleiro dos Martins.

Figure 5 – Geological NE-SW section showing: the top of the basis (Maragogi Highstand), the outcrop area close to well 2 and the location of Tabuleiro dos Martins Field.

teores de matéria orgânica dos folhelhos que chegam a até 17%.

A análise estratigráfica do intervalo e a determinação da ciclicidade da sedimentação foi feita por meio da adaptação dos conceitos de estratigrafia de seqüências para bacias do tipo rifte. O método de trabalho utilizado baseou-se nos conceitos de **fácies - processos - sistemas deposicionais - tratos de sistema - seqüências deposicionais**.

Os principais depósitos estudados foram agrupados em:

a) **fandeltas associados a falhas NE da bacia:** com direção de transporte de sedimentos de

NW para SE, representados pelos depósitos conglomeráticos e areno-conglomeráticos dos afloramentos Rio Flamenguinha, de Jacuípe, de Flexeiras e da Usina Santo Antônio (A5);

b) **fandeltas axiais/turbiditos hiperpicnais trativos:** o transporte de sedimentos ocorreu segundo o mergulho do eixo alongado da bacia lacustre (NE-SW), representados pelos afloramentos de Japaratinga (A7) e Barreiras do Boqueirão. Predominam arenitos médios/grossos, com grânulos, com estratificação cruzada e com seixos e matacões dispersos, resultantes de enchentes fluviais catastróficas.

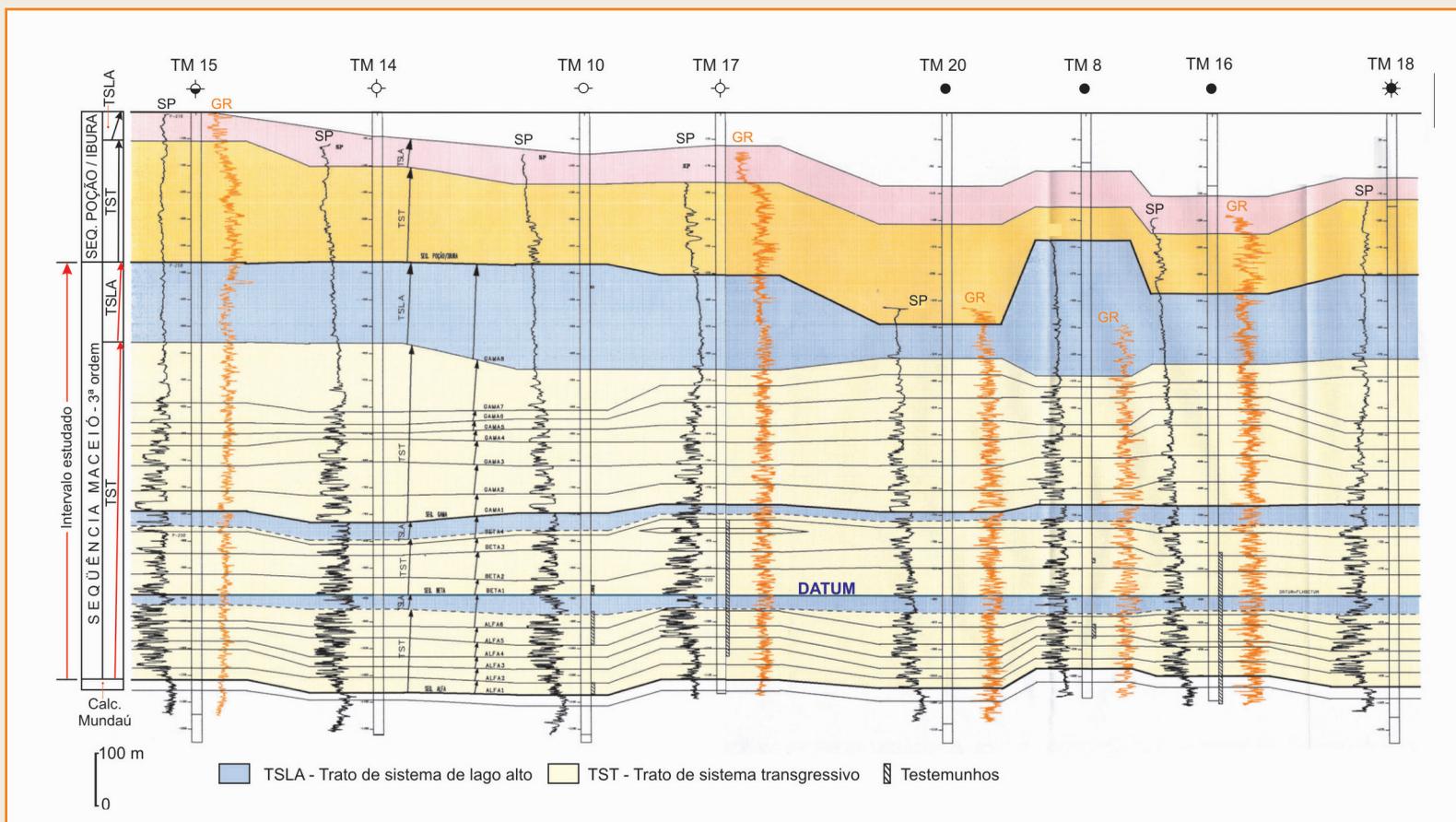


Figura 6 – Turbiditos hiperpicnais distais do Campo de Tabuleiro dos Martins. Apresenta-se uma correlação estratigráfica do campo, usando-se como *datum* o folhelho betuminoso que representa um pico de aridez no sistema (acima da biozona P-230). Observa-se uma excelente correlação, usando perfis e testemunhos. Na Formação Maceió foram identificadas três seqüências de 4ª ordem, onde o trato de sistema transgressivo (TST), clima úmido, está representado em amarelo e o trato de sistema de lago alto tardio/trato de sistema de lago baixo (TSLA), clima árido, representado em cores azuis.

Figure 6 – Distal hyperpicnal turbidites of the Tabuleiro dos Martins Field. The field stratigraphic correlation is presented using the bituminous shale datum; which represents an arid peak in the system (above biozone P-230). An excellent correlation is observed using logs and cores. Three fourth-order sequences were identified in Maceió Formation, in which the transgressive system (TST) with humid climate is represented in yellow and the highstand system tracts/ lowstand system tracts (TSLA) with arid climate are represented in blue.

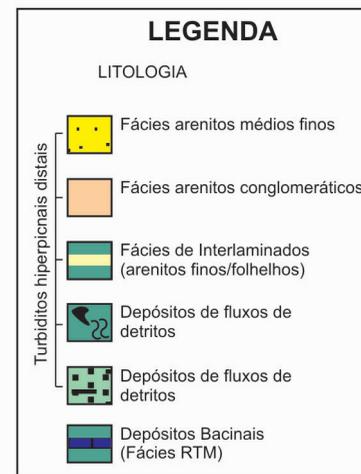
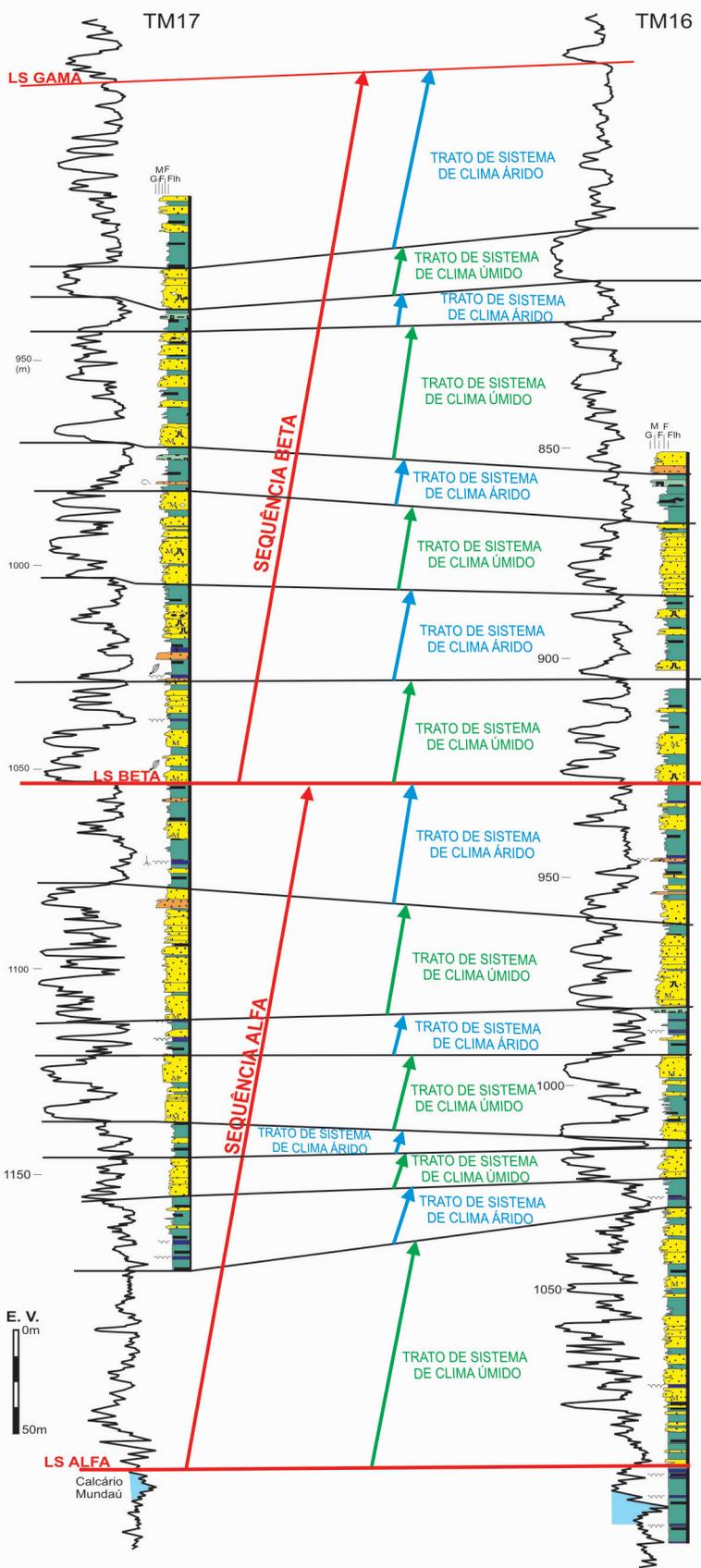


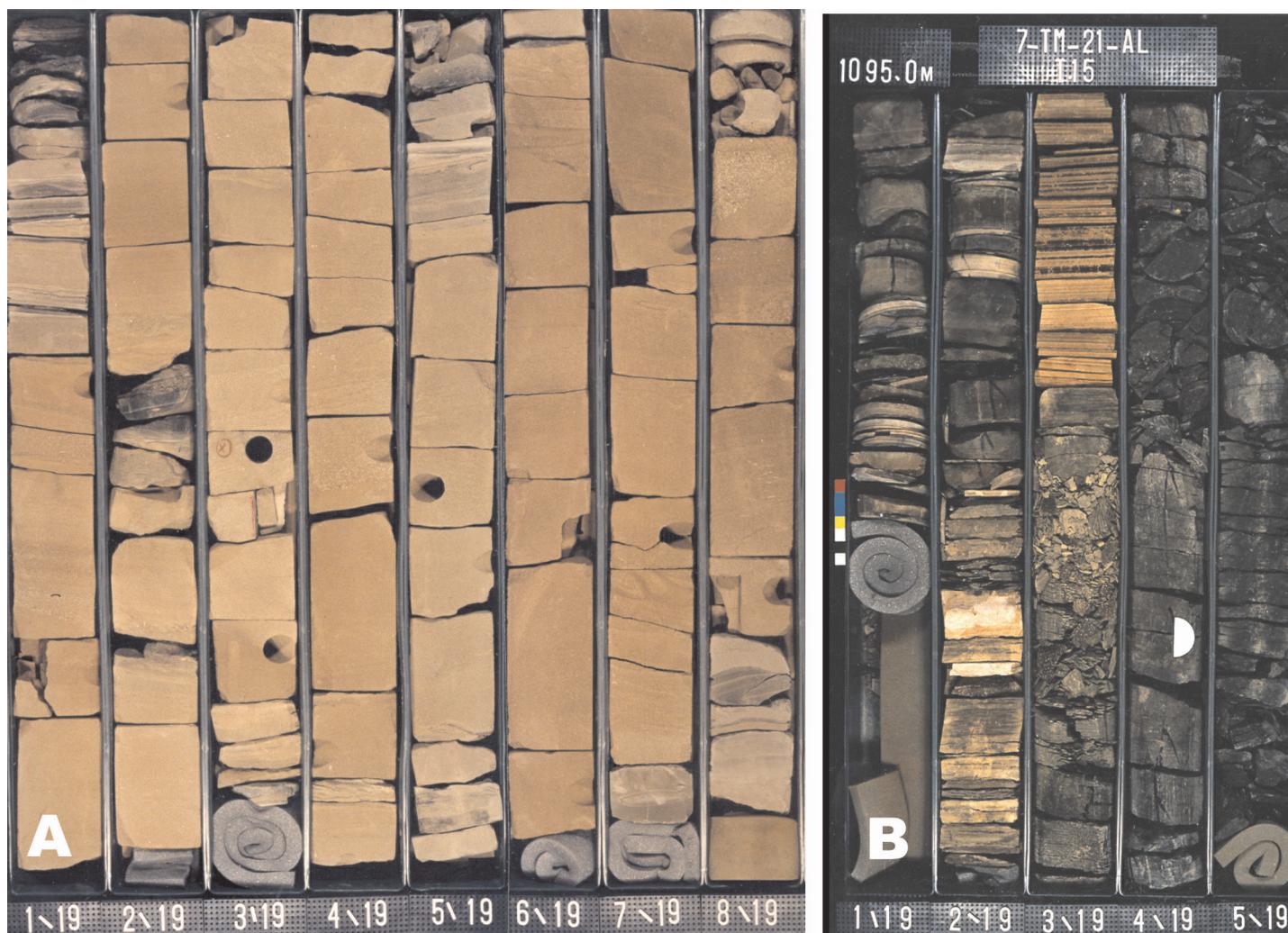
Figura 7 – Correlação estratigráfica usando testemunhos e perfis, onde se observa uma ciclicidade climática de alta frequência, alternando fases úmidas com fases áridas.

Figure 7 – Stratigraphic correlation using cores and logs in which the cyclicity of high frequency climate is observed, alternating humid and arid phases.

c) turbiditos hiperpicnais: principalmente no sentido axial da bacia (Afloramento do Morro do Camaragibe (A9) e depósitos do Campo de Tabuleiro dos Martins). Predominam arenitos médios/grossos, com intercalações de arenitos médios/finos e siltitos.

d) depósitos lacustrinos: representados por folhelhos pretos, calcilutitos com *bird's-eye* (Campo de Tabuleiro dos Martins) e evaporitos (Baixo de Paripueira).

A Formação Maceió foi subdividida em três seqüências de 4ª ordem: Alfa, Beta e Gama (figs. 6 e 7), cada uma dessas seqüências com aproximadamente 200 m de espessura, englobando 1 Ma em tempo absoluto. O fatiamento estratigráfico e as interpretações de sistemas deposicionais foram baseados em estudos de afloramentos (aqui apresentados no roteiro geológico) e em estudos detalhados de testemunhos do Campo de Tabuleiro dos Martins (fig.8). A Seqüência Alfa, basal, foi subdividida em seis seqüências de 5ª. ordem; a Seqüência Beta, intermediária, em quatro seqüências de 5ª. ordem e a Seqüência Gama, superior, em seis seqüências de 5ª ordem, cada uma com espessuras variando entre 35 e 40 m. A ciclicidade de alta frequência (figs. 6, 7,



8, 9 e 10) foi gerada por épocas de clima úmido que se alternavam com épocas de clima árido, conforme definiu Prosser (1993) - tratos de sistemas climáticos.

Durante as fases úmidas ocorria um aporte siliciclástico extremamente alto na bacia por meio de enchentes fluviais catastróficas, gerando fandeltas e turbiditos de eficiência moderada, representando o trato de sistema transgressivo (TST) em uma bacia riftte. Os folhelhos associados aos fluxos gravitacionais subaquosos possuem matéria orgânica terrestre, como fragmentos de carvão e palinomorfos. Em contraste, quando ocorria uma mudança de clima úmido para árido, a matéria orgânica dos folhelhos mudava para algálica, chegando a teores de até 17% de carbono orgânico total (COT). Associado com

Figura 8 – Testemunho do Campo de Tabuleiro dos Martins mostrando a principal fácies observada (A): Fácies de arenitos médios/finos, eventualmente com estruturas trativas e comumente fluidizados. No topo dos ciclos arenosos ocorrem siltitos e folhelhos com matéria orgânica continental. Intercalados aos pacotes arenosos turbidíticos, ocorrem pacotes de folhelhos com matéria orgânica algálica e com calcilitos de *bird's-eye* que representam as épocas de maior aridez no sistema (B).

Figure 8 – *Tabuleiro dos Martins Field specimen showing the main observed facies (A): medium/fine sandstones facies, eventually with tractive structures and commonly fluidized. Siltites and shale with continental organic matter occur at the top of the sandstone cycles. Shale packages with algalic organic matter and with bird's eye calcilitites occur intercalated with turbiditic sandstone packages; which represent the most arid times of the system (B).*

Figura 9

Evolução no espaço e no tempo (empilhamento vertical) das seqüências deposicionais da Formação Maceió controladas pelos ciclos climáticos da fase rifte da Bacia de Alagoas.

Figure 9

Space and time evolution (vertical stacking) of depositional sequences of Maceió Formation controlled by climate cycles of the Alagoas Basin rift phase.

esses folhelhos lacustrinos, encontram-se frequentes feições de dissecação e sedimentos carbonáticos algálicos que sugerem uma sedimentação em um ambiente de *sabkha*. Nestas épocas áridas implantava-se um trato sistema de lago alto tardio (TSLA), com anoxia de água rasa em uma bacia ampla, onde a alta salinidade permitia a geração, a acumulação e a preservação de elevados teores de matéria orgânica algálica. Durante o máximo da aridez, implantava-se o trato de sistema de lago baixo (TSLB), com o rebaixamento relativo do nível base, permitindo a deposição de evaporitos nas porções mais profundas da bacia e a formação de fendas de ressecamento nos folhelhos.

FASES CLIMÁTICAS

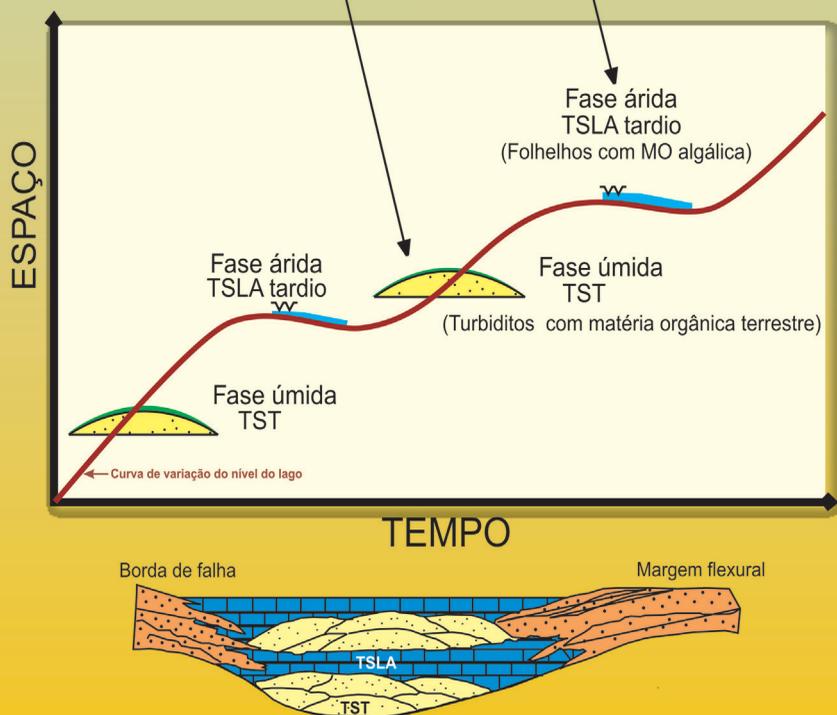


Figura 10

Modelo esquemático dos ciclos climáticos com suas respectivas faciologias, onde o ciclo climático úmido corresponde ao trato de sistema transgressivo; o ciclo climático úmido tardio corresponde ao trato de lago alto tardio e o ciclo climático árido corresponde ao trato de lago baixo. Notar direção axial da bacia NE-SW.

Legenda das fotos das fácies:

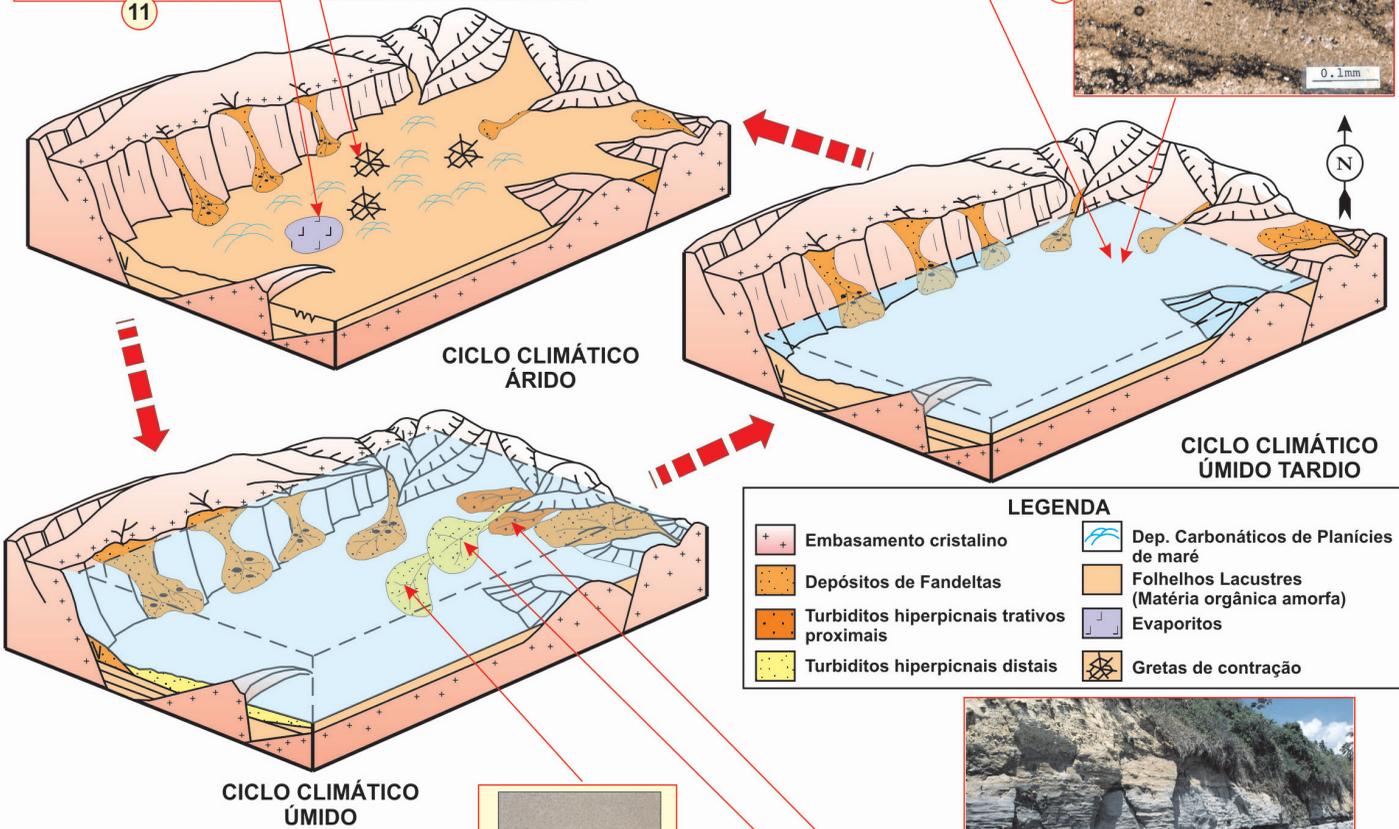
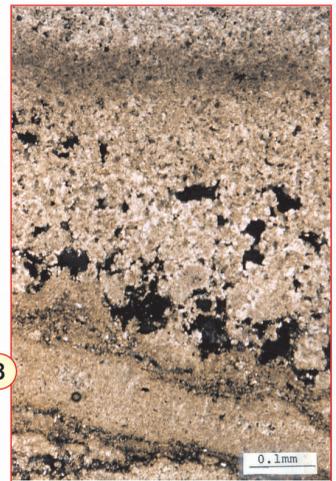
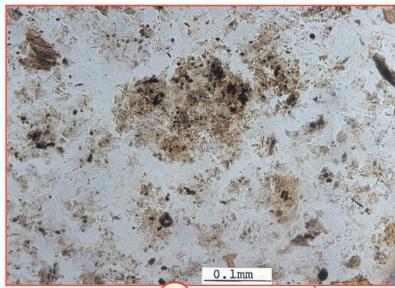
- 1 - Afloramento Japaratinga;
- 2 - Afloramento do Morro do Camaragibe;
- 3 - Testemunhos do Campo de Tabuleiro dos Martins, predominando a Fácies arenitos médios/finos;
- 4 - Fácies arenitos finos com climbing ripples com intercalações de folhelho;
- 5 - Fácies folhelhos sílticos com fragmentos de carvão;
- 6 - Lâmina petrográfica mostrando matéria orgânica lenhosa continental;
- 7 - Lâmina petrográfica com fragmento vegetal;
- 8 - Fácies calcilitito com bird's-eye;
- 9 - Lâmina petrográfica com matéria orgânica lacustre do tipo algálica amorfa;
- 10 - Gretas de contração nos folhelhos;
- 11 - Evaporitos no Baixo de Paripueira.

Figure 10

Schematic model of climate cycles with their respective faciological associations, where the humid climate cycle corresponds to the transgressive system tract; the late humid climate cycle corresponds to the late highstand tract and the arid climate cycle corresponds to the lowstand system tract. Note the axial direction of the NE-SW basin.

Legenda das fotos das fácies:

- 1 - Japaratinga Outcrop;
- 2 - Morro do Camaragibe Outcrop;
- 3 - Cores of the Tabuleiro dos Martins Field with predominance of medium/fine sandstone facies;
- 4 - Fine sandstone facies with climbing ripples intercalated with shale;
- 5 - Siltic shale facies with coal fragments;
- 6 - Petrographic slide showing continental woody organic matter;
- 7 - Petrographic slide with vegetal fragment;
- 8 - Calcilitito facies with bird's eye;
- 9 - Petrographic slide with lacustrine organic matter of amorphous algalic type;
- 10 - Mud-cracks in shales;
- 11 - Evaporites at Paripueira Low.



LEGENDA

	Embasamento cristalino		Dep. Carbonáticos de Planícies de maré
	Depósitos de Fandeltas		Folhelhos Lacustres (Matéria orgânica amorfa)
	Turbiditos hiperpicnais trativos proximais		Evaporitos
	Turbiditos hiperpicnais distais		Gretas de contração

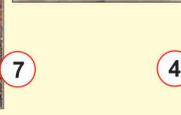
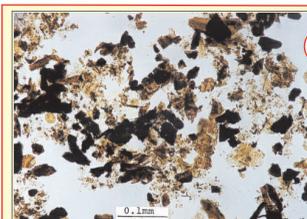


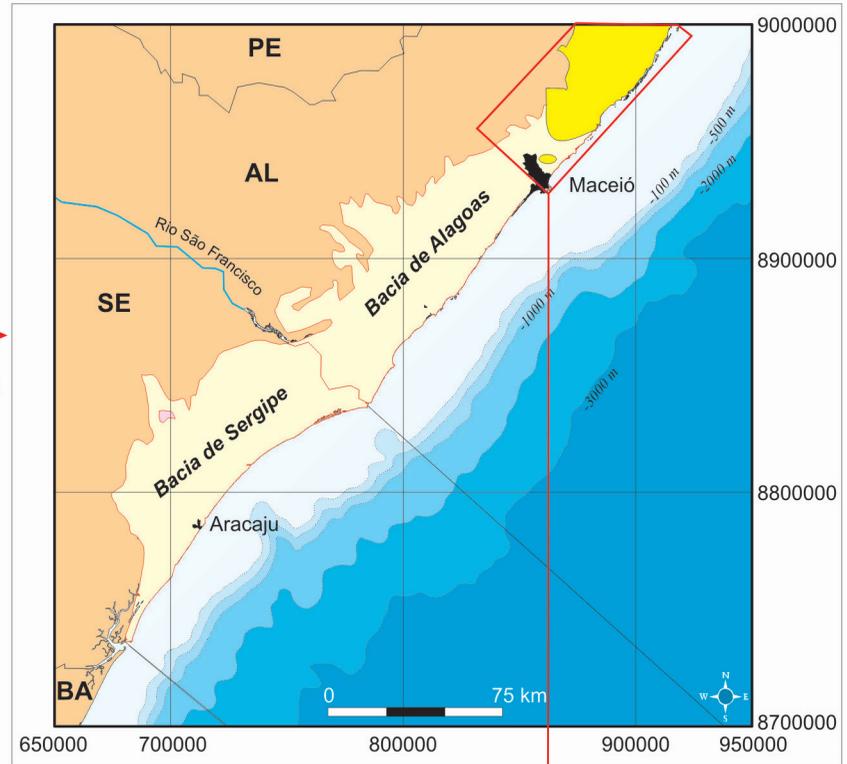
Figura 11

Mapa de localização dos afloramentos estudados da Formação Maceió e do Campo de Tabuleiro dos Martins (TM), sendo que os pontos apresentados neste roteiro geológico são o A5 (Usina Santo Antônio), o A7 (Barreiras do Boqueirão) e o A9 (Morro do Camaragibe).



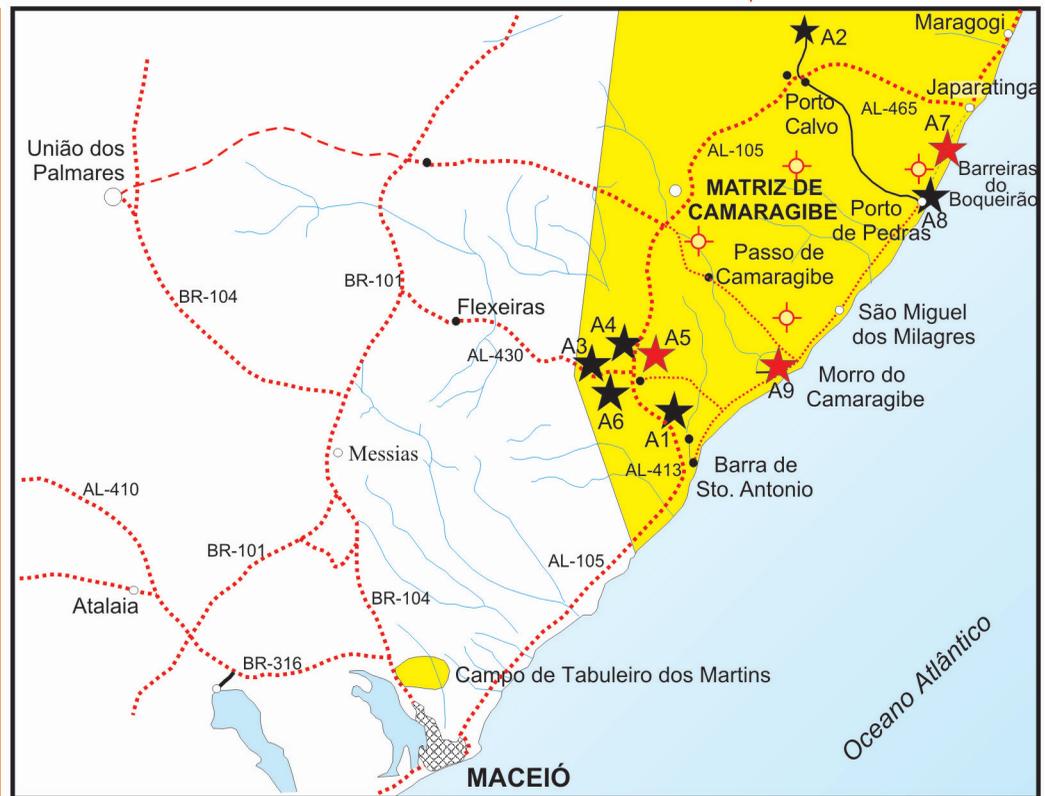
Figure 11

Map showing the location of outcrops from Maceió Formation and Tabuleiro dos Martins Field (TM). The points presented are A5 (Santo Antonio Power Plant), A7 (Barreiras do Boqueirão) and A9 (Morro do Camaragibe).



SIMBOLOGIA DAS ESTRUTURAS SEDIMENTARES

- M - Maciço
- ▲ - Acamadamento gradacional
- ≡ - Estratificação ou laminação paralela
- ≡ (com setas) - Laminação cruzada cavalgante
- ◊ - Clasto de folhelho e/ou carvão
- ∞ - Fragmentos de conchas
- ∩ - Pilar (fluidização)
- ∪ - Dish
- ☐ (com folha) - Restos de vegetais
- ∩ (com raiz) - Raizes
- ∩ (com ondulação) - Gretas de contração
- ∩ (com setas) - Estratificação cruzada tangencial
- ∩ (com ondulação) - Scour
- ∩ (com setas) - Escorregamento



- ★ Afloramentos
- ★ (vermelho) Afloramentos estudados
- ⊙ Poços
- ⋯ Estradas
- ∩ Drenagem
- Área de Estudo

roteiro geológico

Os pontos descritos neste roteiro encontram-se referidos no mapa de localização (fig.11), com estradas e drenagens. Encontram-se também no mapa de paleocorrentes dos sistemas deposicionais estudados, juntamente com os principais lineamentos estruturais da bacia (fig. 12). É aqui apresentado um perfil esquemático (fig.13) no qual é mostrada a evolução interpretada dos depósitos da borda NW-SE e da borda NE-SW (fonte axial). Infere-se que, a partir do Alto de Maragogi, desenvolveu-se um trato de fácies relativamente mais eficiente, capaz de segregar os sedimentos e, dependendo da magnitude da enchente fluvial responsável pelo aporte de sedimentos na bacia, eram gerados turbiditos hiperpicnais (Afloramento do Morro do Camaragibe e depósitos do Campo de Tabuleiro dos Martins).

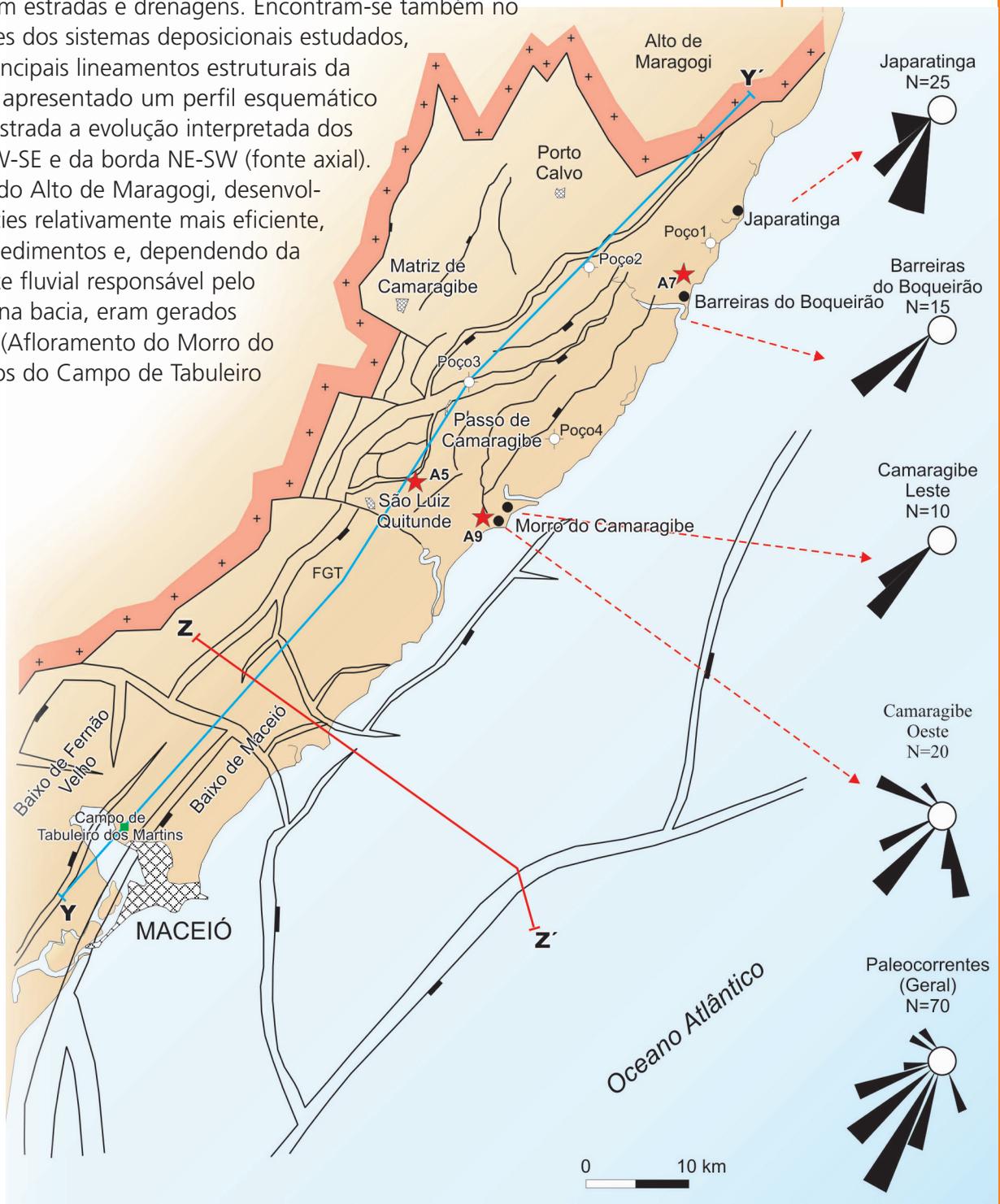


Figura 12

Mapa de localização de afloramentos e medidas de paleocorrentes, onde se observa um padrão de migração de sedimentos de NE para S-SW.

Figure 12

Map showing the location of outcrops and paleocurrent measurements, in which the pattern of sediment migration from NE to S-SW can be observed.

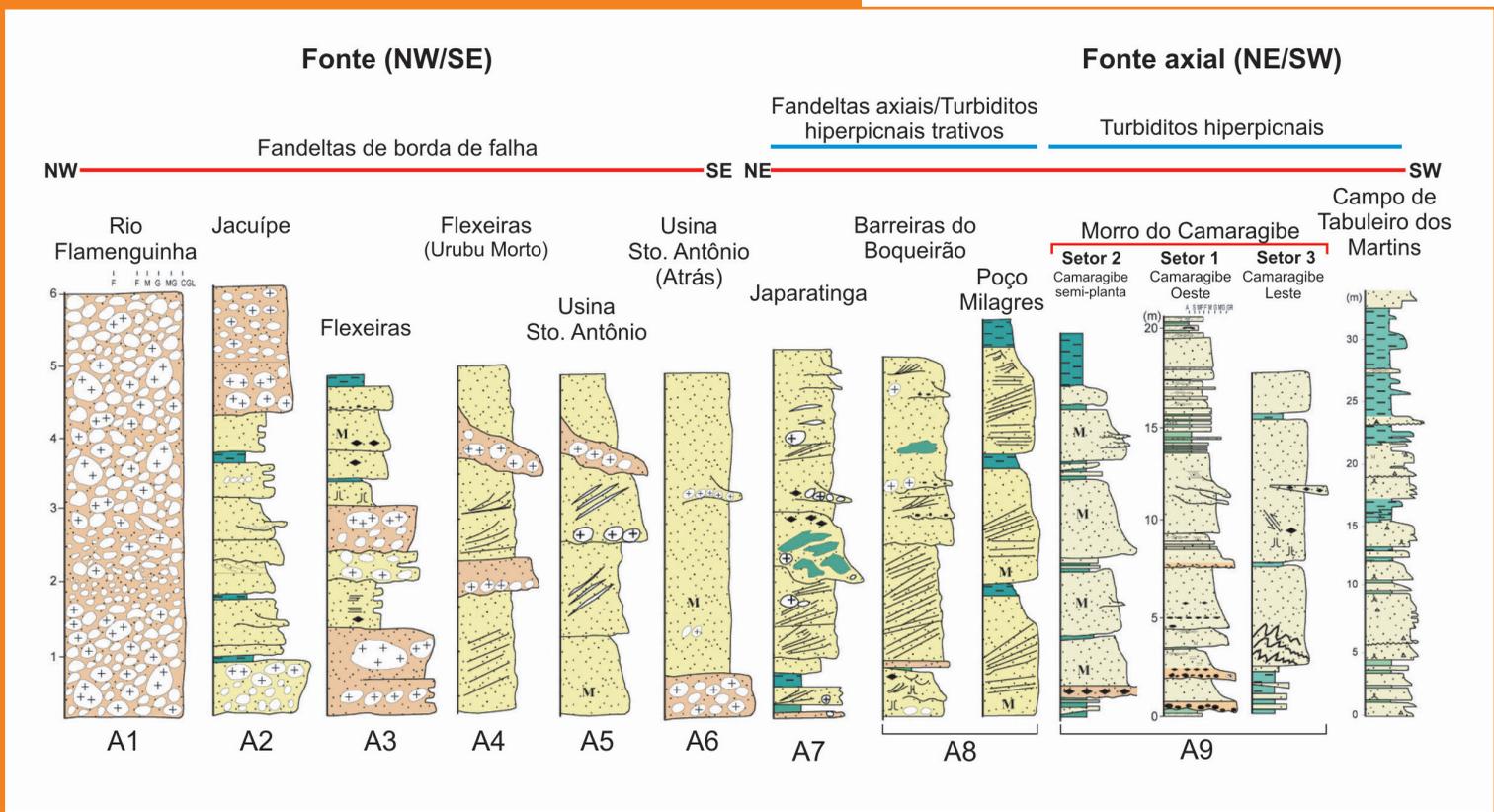


Figura 13

Perfil esquemático que mostra a evolução dos depósitos da borda NW-SE e de NE-SW (fonte axial).

Figure 13

Schematic profile that shows the evolution of deposits at the NW-SE and NE-SW edges (axial source).

PONTO 1 - Usina Santo Antônio (A5) – contexto proximal – depósitos gerados a partir da borda falhada NW-SE

interpretação dos processos

Depósitos originados por fluxos gravitacionais de sedimentos em fandeltas de baixa eficiência. Ocorrem conectados à face NE da falha de borda da bacia e tem transporte transporte de sedimentos segundo a direção NW-SE.

a) Principais feições a serem observadas no afloramento:

- a1) seixos e matacões dispersos em arenitos com estratificações cruzadas (fig. 14);
- a2) Evidências de scours (fig. 14).



Figura 14

Vista geral do afloramento. Notar seixos e matacões dispersos.

Figure 14

Outcrop general view. Note scattered pebbles and boulders.

Figura 15

Detalhe: matacões alinhados segundo a estratificação.

Figure 15

Detail view: boulders aligned according to the stratification.

b) Fácies principais a serem observadas (no afloramento descritas da base para o topo):

b1) arenito médio/grosso com cruzadas de baixo ângulo;

b2) arenito grosso/muito grosso, fluidizado com seixos e matacões dispersos (fig.15). Notar que os seixos alongados estão alinhados segundo a estratificação definida por bandas de arenito médio intercalado com arenito grosso;

b3) arenito médio/fino com cruzadas no topo, com grânulos e seixos dispersos.



PONTO 2 - Japaratinga (A7) – contexto de turbiditos hiperpicnais trativos proximais – alimentação a partir do Alto de Maragogi (NE-SW)

É apresentada a seguir uma seção geológica e alguns painéis fotográficos, mostrando as fácies e as geometrias dos depósitos do Afloramento de Japaratinga (fig. 16).

interpretação dos processos

Depósitos formados por correntes de turbidez trativas desenvolvidas a partir de fluxos hiperpicnais ligados a cheias fluviais catastróficas, em um sistema com suprimento sedimentar axial de NE para SW. Durante as fases de energia relativamente menor do sistema, os sedimentos eram acumulados na região mais proximal da rampa, próximos ao Alto de Maragogi, desenvolvendo fandeltas.

a) Principais feições a serem observadas:

a1) camada contínua na base do afloramento de arenitos muito finos/siltitos verdes, localmente fluidizados e ricos em conchostráceos (figs. 17 e 18);

a2) arenitos grossos/médios com estratificações cruzadas com seixos e matações de rochas granitóides dispersos (figs. 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28). Aspectos texturais mostram uma seleção pobre, o que sugere um fluxo trativo pouco seletivo e gravitacional;

a3) observar feição erosiva (*scour*), com erosão de 2 a 3 m do substrato, com preenchimento por depósitos conglomeráticos extraformacionais na base; também ocorrem intraclastos rasgados, localmente injetados, de siltitos esverdeados ricos em conchostráceos, passando ao topo para arenitos médios/grossos com estratificações cruzadas de médio porte (figs. 16, 24, 25 e 26) com alguns seixos e blocos flutuantes;

a4) paleocorrentes predominantemente de NE para SW, com *trend* de migração de sedimentos a partir do Alto de Maragogi, que deve ter funcionado como área fonte durante todo o rifte. A migração e a deposição de sedimentos deram-se segundo o eixo axial NE-SW, ao longo da calha configurada pela Rampa de Maragogi.

b) Fácies principais (da base para o topo do afloramento)

b1) arenito muito fino/siltito verde, rico em conchostráceos (fig. 18);

b2) arenito fino com *climbing ripples* e com deformações (fluidização);

b3) arenito médio/grosso com cruzadas de baixo ângulo;

b4) arenito muito grosso/médio com cruzadas tangenciais de pequeno porte e cruzadas acanaladas de pequeno porte, contendo seixos e matações de rochas granitóides e sílex (fig. 21);

b5) conglomerado suportado por matriz arenosa muito grossa/grossa, com seixos de granitóides de várias composições e clastos pelíticos rasgados (fig. 24);

b6) arenito médio/grosso com estratificações cruzadas de médio porte preenchendo o canal.

c) Principais evidências para a interpretação de fluxos gravitacionais trativos.

É importante ressaltar que é o conjunto destas evidências que corroboram a interpretação proposta:

c1) as camadas de siltitos esverdeados com conchostráceos indicam um corpo d'água permanente, sugerindo uma deposição subaquosa;

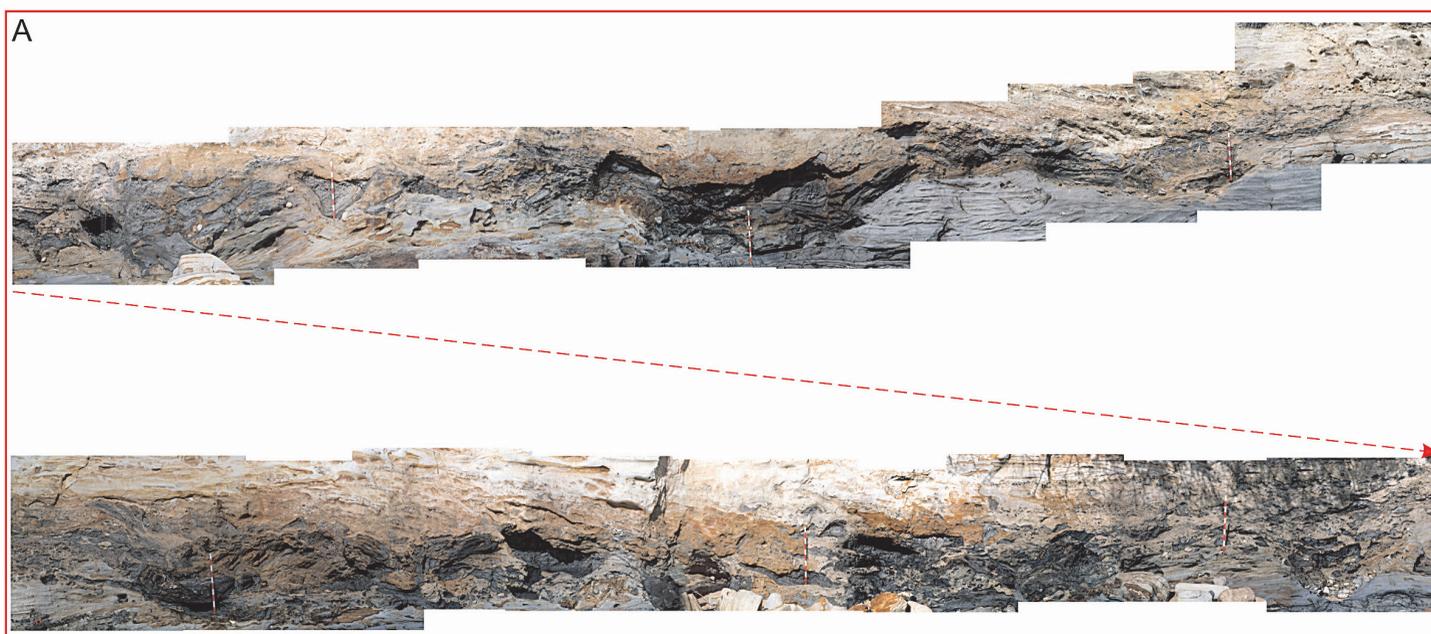
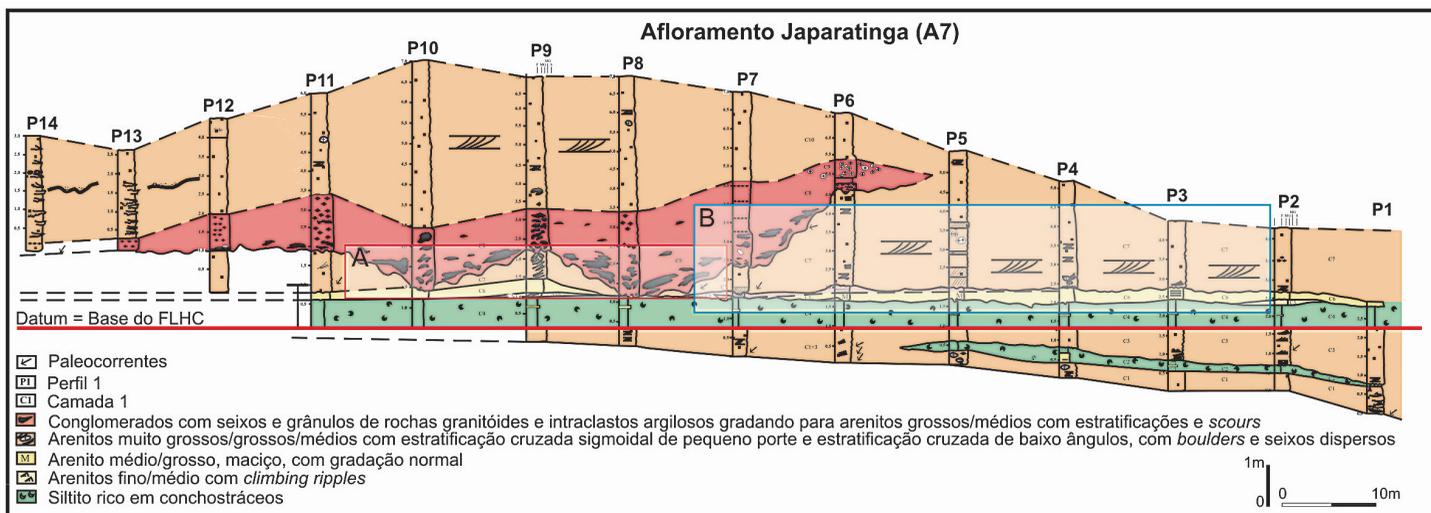


Figura 16 – Seção geológica do afloramento Japaratinga com datum na camada de folhelho rica em conchostráceos (FLHC). Detalhes da seção geológica com um painel fotográfico de canal erosivo na base e deposicional em direção ao topo (A). Painel fotográfico da fácies arenito grosso/médio com cruzadas tangenciais de pequeno porte e cruzadas acanaladas de pequeno porte, contendo seixos e matacões de rochas granitóides e sílex dispersos (B). O corte do afloramento é NE (10° - 15°), mergulho tectônico das camadas = 6° para SW, sendo que o ângulo de mergulho médio das estratificações é 20° de NE para SW.

Figure 16 – Geological section of Japaratinga outcrop with datum on the shale layer, which is rich in conchostraca (FLHC). Details of the geological section with a photograph panel of the erosion channel at the basis and depositional direction at the top (A). Photograph panel of the coarse/medium sandstone facies with small tangential cross-bedding stratifications, containing scattered pebbles and boulder of granitoid and silex rocks (B). Outcrop with a NE cut view (10° - 15°), tectonic angle of layers = 6° towards SW, yet the average dive angle of stratifications is 20° from NE to SW.

c2) os seixos e matacões de granitóides ocorrem predominantemente dispersos em arenitos médios/grossos com estratificações cruzadas, freqüentemente alguns centímetros acima da base das camadas. Isto sugere que o seu transporte foi através de fluxos gravitacionais e que, no momento da deposição, ocorria turbulência suficiente para tracionar os sedimentos;

c3) alguns seixos ocorrem posicionados verticalmente (fig. 20), descartando completamente qualquer interpretação de rolamento em um fluxo trativo normal do tipo *bedload*. Observar que os matacões dispersos e soltos na praia atual possuem dimensão semelhante ao matacão imerso nos arenitos com estratificações cruzadas (fig. 23, 27 e 28);

c4) alguns seixos apresentam-se orientados com o eixo maior segundo as estratificações (fig. 22);

c5) os intraclastos de siltitos, que chegam a 1 m de comprimento (fazendo parte do preenchimento da feição erosiva), ocorrem imersos nos arenitos e possuem aspecto "rasgado" (figs. 25 e 26), resultado do cisalhamento simultâneo à deposição gerado entre a porção mais densa, basal ao fluxo, e a mais turbulenta superior. Caso fossem clastos da carga de leito de um sistema fluvial normal, teriam rolado, arredondado e assim estariam na base do pacote e não dispersos.

Figura 17
Vista geral do afloramento de Japaratinga. Notar camada do siltito verde, rico em conchostráceos, e arenitos (seta) com estratificações cruzadas.

Figure 17
General view of Japaratinga outcrop. Note the green siltite layer, which is rich in conchostraca, and sandstones (arrow) with crossed stratifications.

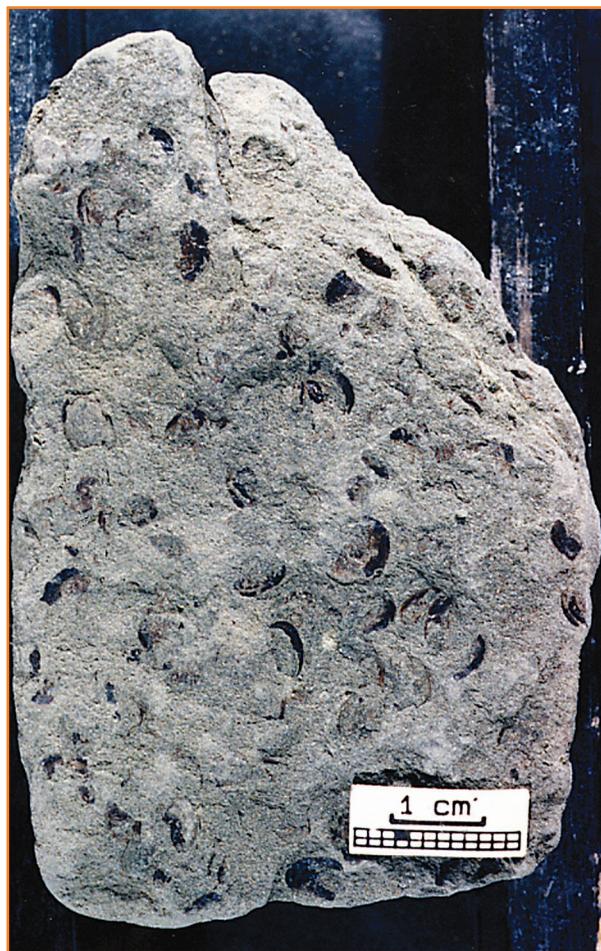


Figura 18 — Detalhe da camada de siltito verde rico em conchostráceos (datum estratigráfico na seção geológica).

Figure 18 — Detail view of the green siltite layer rich in conchostraca (stratigraphic datum on the geological section).



Figura 19 — Seixo de rocha granitóide disperso em arenitos com restos de estratificações cruzadas.

Figure 19 — Pebble stone of granitoid rock scattered in sandstones with remainings of crossed stratifications.



Figura 21 — Estratificações cruzadas sigmoidais.

Figure 21 — Sigmoidal cross-bedded stratifications.

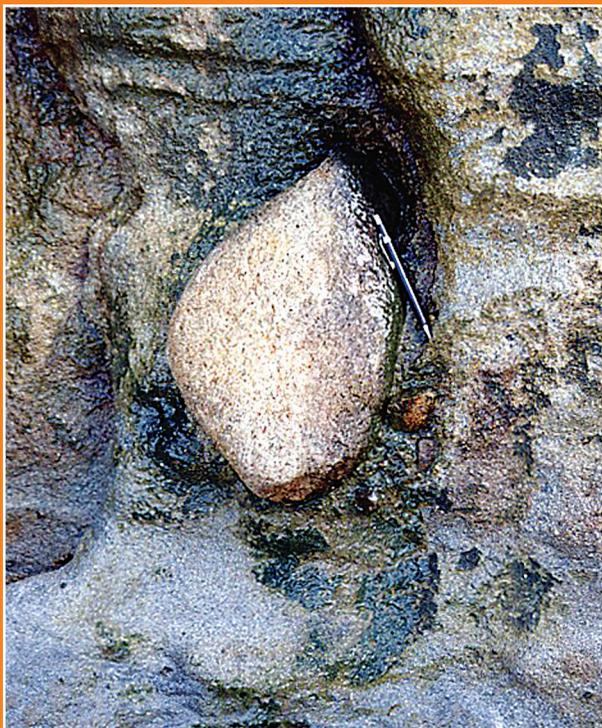


Figura 20 — Matacão de rocha granitóide posicionado verticalmente. Notar estratificações cruzadas no topo.

Figure 20 — Boulder of granitoid rock on a vertical position. Note cross-bedded stratifications at the top.



Figura 22 — Notar seixos (salientes) e intraclastos (buracos pretos retangulares) orientados segundo as estratificações cruzadas. No topo observa-se a feição de scour (canal deposicional).

Figure 22 — Note (protruding) pebble and intraclasts (rectangular black wholes) oriented according to cross-bedded stratifications. The scour (depositional channel) can be observed at the top.

Figura 23

Notar matacões de rochas granitóides soltos na praia atual, resultado da erosão do afloramento pelo mar. No afloramento observa-se um canal erosivo na base, rico em intraclastos de siltito verde arrancados do substrato.

Figure 23

Note loose boulders of granitoid rock at the current beach. They have resulted from outcrop erosion by the sea. An erosion channel at the base of the outcrop can be observed and it is rich in green siltite intraclasts ripped off from the substrate.



Figura 24

Conglomerado suportado por matriz arenosa. Notar superfície erosiva na base do canal (seta).

Figure 24

Conglomerate supported by sandstone matrix. Note erosion surface at the channel base (arrow).





Figura 25 – Intraclasto de folhelho rasgado (um metro de comprimento), e com feições de cisalhamento à esquerda com intraclastos menores orientados, sugerindo um transporte pequeno.

Figure 25 – Shale intraclast (one meter long) with evidences of shear to the left with oriented smaller intraclasts, thus suggesting little transportation.



Figura 26 – Intraclasto de folhelho dobrado e rasgado, evidenciando o sentido do cisalhamento, com intraclastos menores estão orientados a esquerda (jusante).

Figure 26 – Folded shale intraclast as evidence of the shear direction, with smaller intraclasts oriented towards the left (downstream).

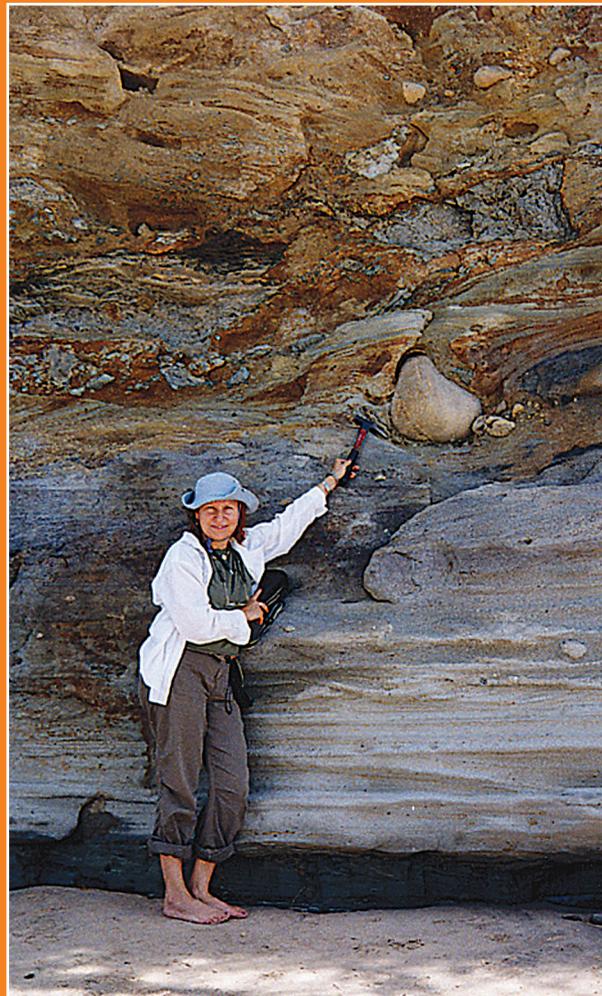


Figura 27

Matacão de rocha granitóide. Notar dimensão semelhante aos matacões soltos na figura 17.

Figure 27

Granitoid rock boulder. Note that its dimension is similar to the loose boulders shown in figure 17.



Figura 28

Detalhe do matacão imerso nos arenitos, com alguns seixos aninhados próximos.

Figure 28

Detail view of boulder in sandstone with some pebble nested nearby.

Figura 29a e 29b

Seção geológica do afloramento do Morro do Camaragibe (A9) – turbiditos hiperpicnais – perfil 1 ao perfil 17.

Figure 29a and 29b

Geological section of Morro do Camaragibe outcrop (A9) – hyperpicnial turbidites – lithological profile 1 to 27.

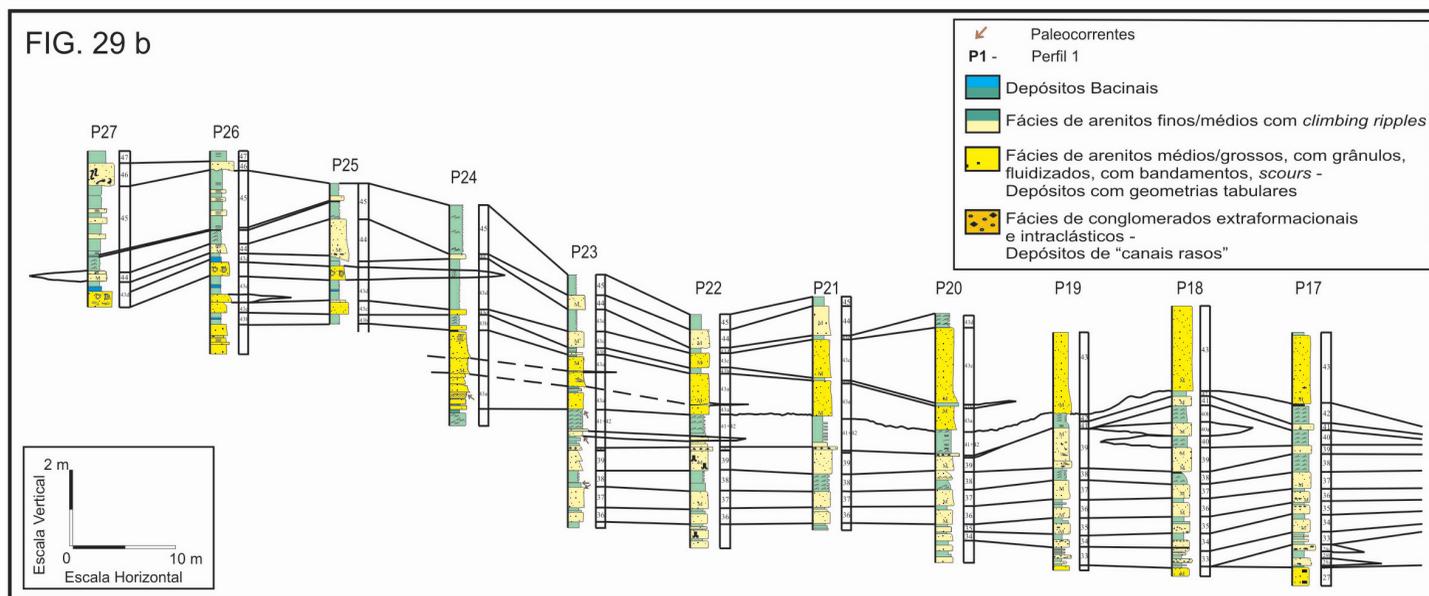
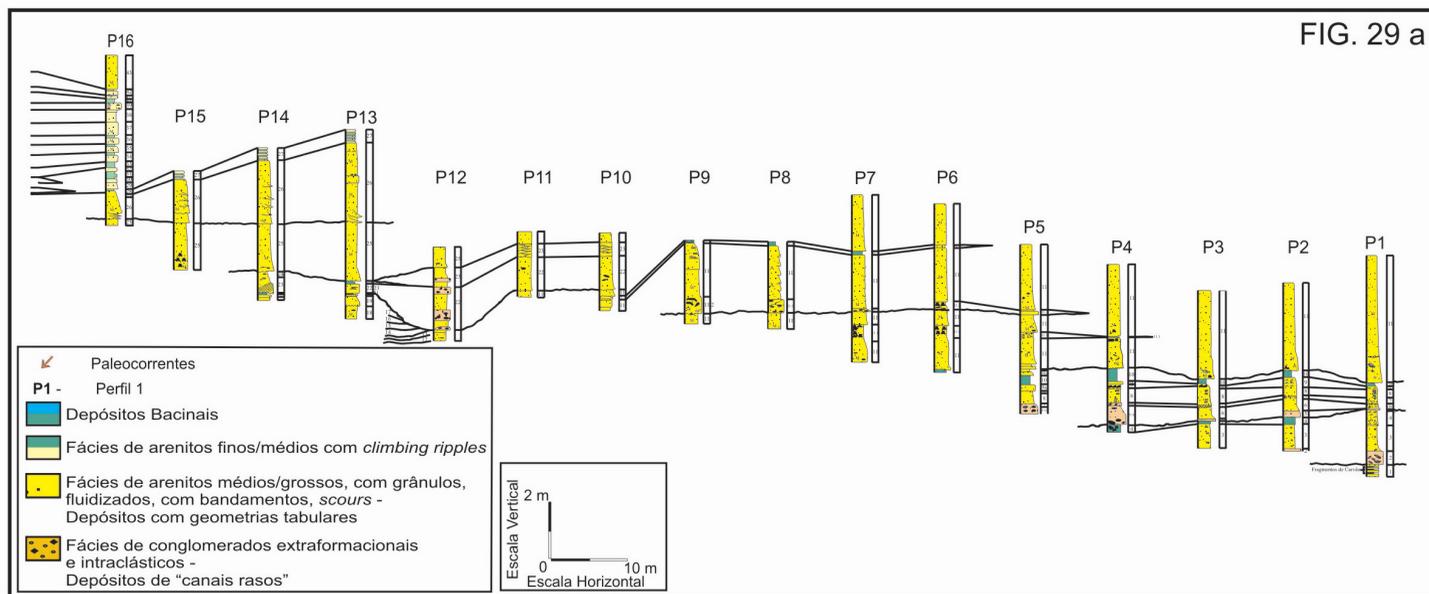
PONTO 3 – Morro do Camaragibe (A9) – contexto de turbiditos hiperpicnais distais – alimentação a partir do Alto de Maragogi (NE-SW)

São apresentadas duas seções geológicas em continuidade lateral: figura 29a: perfil litológico 1 ao perfil 16; figura 29b: perfil litológico 17 ao perfil 27. É apresentado também um perfil litológico completo de todo o afloramento, incluindo um caminhamento à esquerda do perfil 27, que está exposto em planta (fig. 30).

interpretação dos processos

Depósitos gerados por fluxos gravitacionais do tipo turbiditos hiperpicnais, de moderada eficiência, provavelmente alimentados durante cheias catastróficas que traziam sedimentos diretamente a partir dos sistema fluvial e remobilizavam os sistemas de deltas e fandeltas. A deposição ocorreu abaixo do nível base de ondas, em um contexto relativamente raso (100 a 300 m de lâmina d'água). Nos depósitos, predominam ca-

AFLORAMENTO CAMARAGIBE (A9) - SETOR 1 - PERFIL 1 AO 27



madras tabulares (*sheets*) e canais rasos, sugerindo tratar-se do trecho deposicional do sistema. Estes depósitos representam tratos de sistema transgressivo (TST) durante fases climáticas úmidas.

a) Principais feições a serem observadas:

a1) predominam arenitos médios/grossos, comumente com grânulos e intraclastos argilosos dispersos, imaturos textural e mineralogicamente, secundariamente arenitos médios/finos (figs. 31 e 32);

a2) processos de fluidização comuns. Notar abundância de estruturas do tipo *dish* (fig. 33);

a3) não ocorrem seixos e matacões dispersos nos arenitos;

a4) abundância de fragmentos lenhosos, sugerindo uma proximidade da fonte fluvial continental (fig. 34);

a5) camadas têm base plana abrupta ou com erosões pouco profundas. São comuns múltiplos *scours* centimétricos, internos às camadas arenosas, atingindo no máximo 50 cm de profundidade (fig. 35);

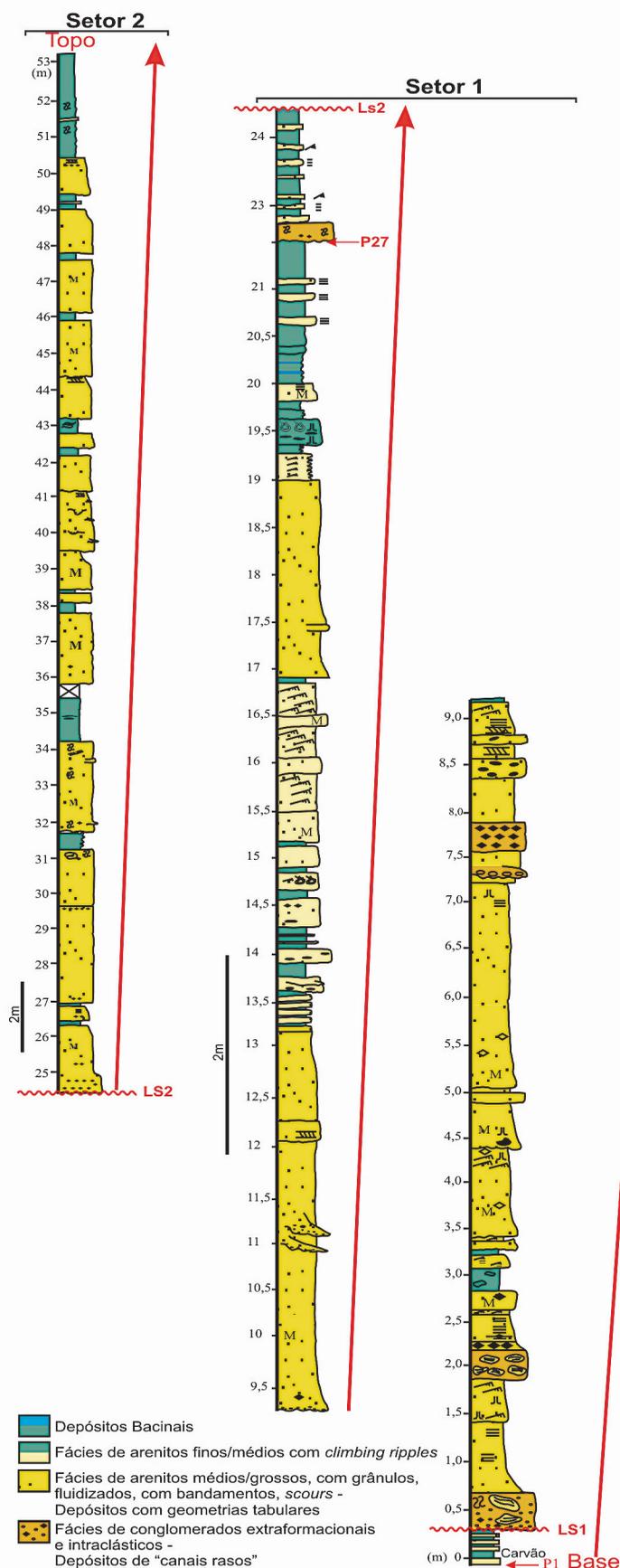


Figura 30 – Perfil litológico completo (P1 ao P27). Setor 1 do afloramento e a descrição na coluna da esquerda corresponde à continuação do perfil 27 - Setor 2, em uma exposição em planta, onde se observa o mesmo tipo de organização interna das fácies dos perfis 1 ao perfil 27. O empilhamento total deste afloramento é de 53 metros de espessura, o que corresponde a duas seqüências de 5ª ordem.

Figure 30 – Full lithological profile (P1 to P27). Sector 1 of the outcrop and the description on the left column corresponds to the continuation of log 27 – Sector 2, at an exposition in plant, where the same type of internal organization of the facies of profiles 1 to 27 can be observed. The total stacking of this outcrop is 53 meters thick, which corresponds to two fifth-order sequences.

Figura 31

Vista geral do afloramento - perfil 1.

Figure 31

Outcrop general view - lithological profile 1.



a6) observar bandamentos – alternâncias de arenito médio/fino com arenito grosso – cujas bandas são freqüentemente mal selecionadas (fig. 36);

a7) presença de corpos tabulares com deformação por peso dos sedimentos (figs. 37 e 38);

a8) não ocorrem evidências importantes de *by pass* de sedimentos, apenas feições localizadas;

a9) notar a orientação sistemática para S-SW das flases, estas são típicas de sítios com alta taxa de deposição (perfis 1, 2, 3), (fig. 39).

b) Principais fácies a serem observadas

b1) conglomerado extraformacional (fig.40), com grânulos e seixos de rochas granitóides, incorporando intraclastos de arenitos e siltitos de até 1 m de comprimento (perfil 1);

b2) conglomerado intraclástico (perfil 12);

b3) arenito médio/grosso, com grânulos e intraclastos milimétricos de folhelhos dispersos, comumente fluidizado;

b4) arenito médio/grosso com estratificações cruzadas sigmoidais;

b5) arenito médio/grosso com bandamento ao longo das estratificações cruzadas;

b6) arenito médio/grosso com intraclastos de folhelhos orientados segundo a estratificação;

b7) arenito médio com laminação plano-paralela, *climbing ripples* e silito no topo, depositado por correntes de turbidez diluídas, sendo que as *climbing ripples* migram para S-SW, evidenciando a direção de transporte de sedimentos (fig.41);

b8) arenitos médios/finos com *climbing ripples*, com truncamentos internos e preenchimento por drapes lamosas, apresentando provavelmente um retrabalhamento por correntes de fundo (fig. 42);

b9) arenitos muito finos/siltitos maciços (perfis 26 e 27) com intercalações de lâmi-

Figura 32

Detalhe da textura. Notar aspecto maciço, imaturidade textural e mineralógica com fragmentos de carvão em cores pretas e fragmentos alongados claros de conchas.

Figure 32

Detail view of the texture. Note structureless aspect, textural and mineralogical immaturity with fragments of coal in black and elongated light shell fragments.



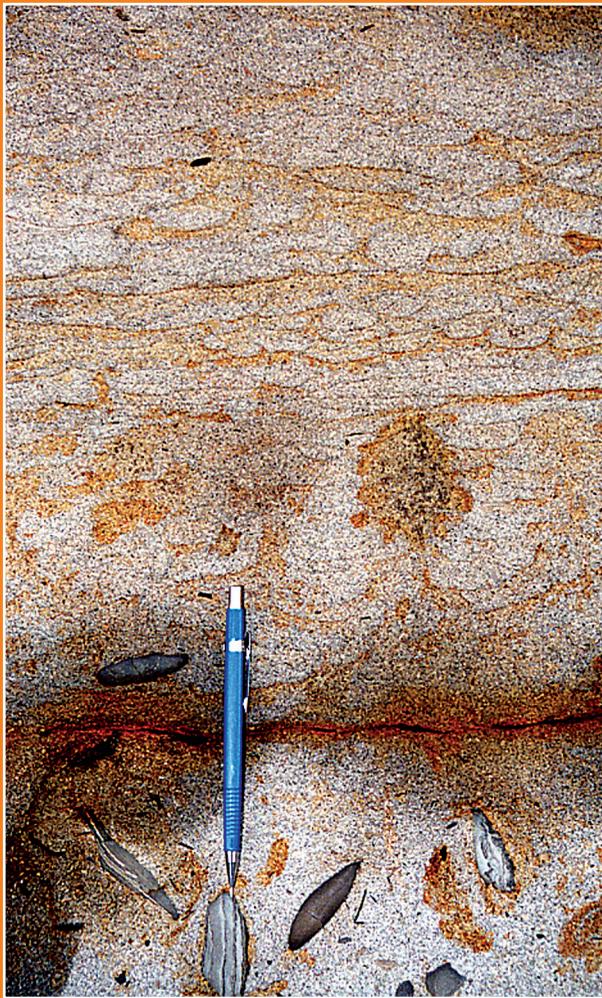


Figura 33 – Notar aspecto maciço na base, com intraclastos argilosos dispersos e estruturas dish no topo.

Figure 33 – Note the structureless aspect at the basis with scattered clay intraclasts and dish structures at the top.



Figura 34 – Fragmento de material lenhoso decimétrico.

Figure 34 – Decimetric fragment of woody material.



Figura 35 – Scours múltiplos, de dimensões centimétricas em arenitos grossos/muito grossos, com grânulos.

Figure 35 – Multiple scours of centimetric dimensions in coarse/very coarse sandstones with granules.

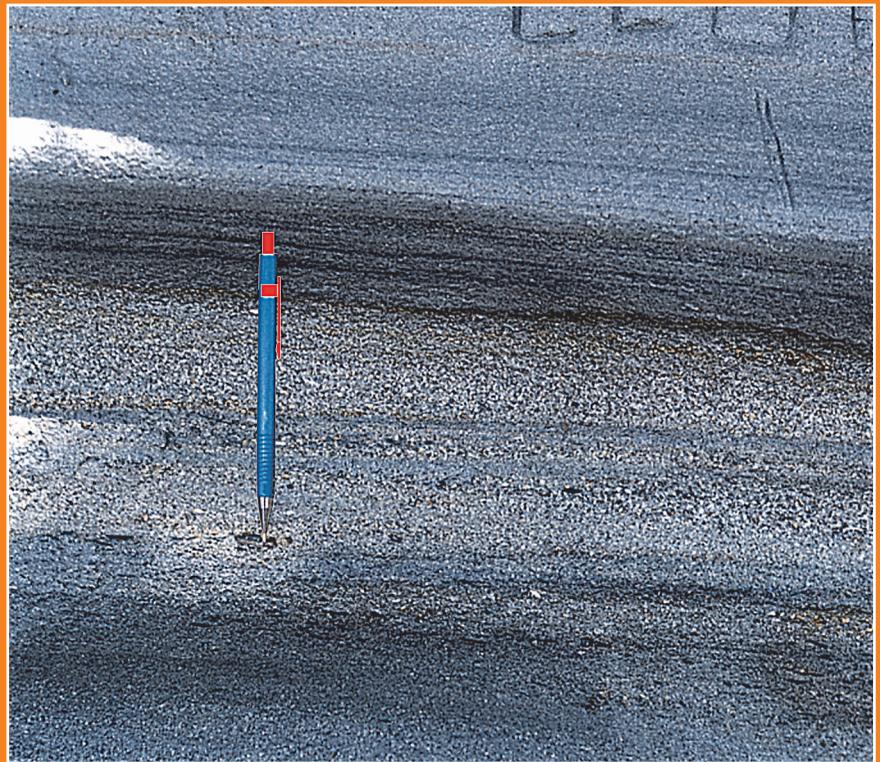


Figura 36 – Bandamentos, com alternância de arenitos médios/finos com arenitos grossos, onde a população granulométrica mais grossa marca as fases de cheias fluviais.

Figure 36 – Banding of alternating medium/fine and coarse sandstones, where the coarser grain size population characterizes the phases of fluvial floods.

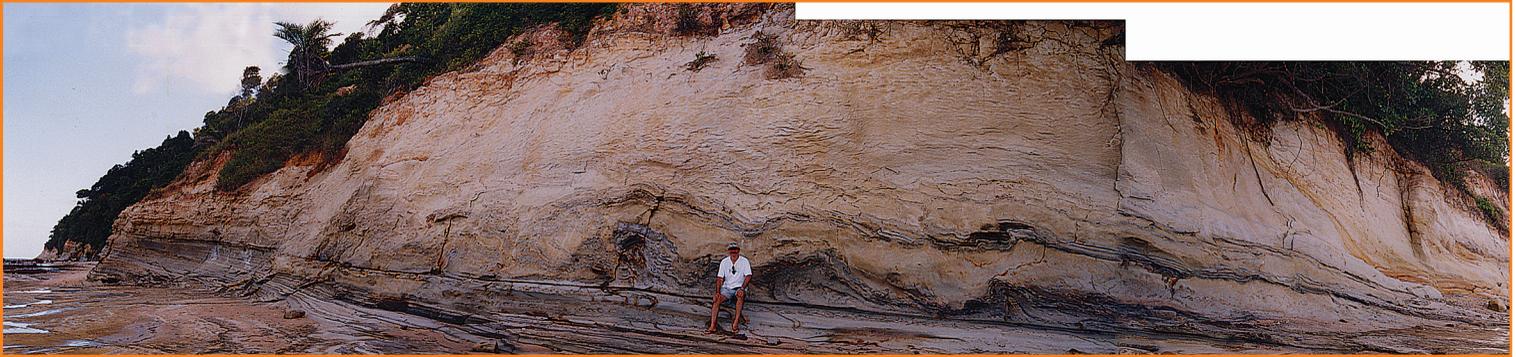


Figura 37

Painel fotográfico posicionado à direita do perfil 1, onde se observam as geometrias relativamente tabulares dos pacotes arenosos.

Figure 37

Photographic panel positioned to the right of profile 1, where relatively tabular geometry of sandstone packages can be observed.

nas delicadas de carbonatos de cores claras formadas em climas áridos (figs. 43 e 44);

b10) folhelhos escuros ricos em matéria orgânica terrestre. Podem ser observados também fragmentos vegetais (perfis 1 e 27).

c) Principais evidências para a interpretação proposta.

Lembrar que é o conjunto destas evidências que sustentam a interpretação proposta:

c1) a imaturidade textural e a mineralógica sugerem pouco retrabalhamento dos sedimentos; transporte quase direto da área-fonte para a bacia;

c2) a presença de camadas de folhelhos orgânicos escuros – ricos em matéria orgânica terrestre, bem como a ocorrência comum de fragmentos de folhelhos orgânicos/carvão dispersos nos arenitos médios/grossos – sugere a proximidade de fontes continentais;

c3) a presença de bandamentos (alternância de diferentes granulometrias de arenitos médios/finos com arenitos grossos) é muito comum no afloramento, podendo representar oscilações de energia durante as enchentes e ocorrem comumente em fluxos hiperpicnais;

c4) considerando-se a granulometria relativamente mais fina que a dos depósitos de Japaratinga, a ausência de seixos e matações dispersos nos arenitos e os scours de pequenas dimensões (no máximo 50 cm de profundidade, sendo a média 10-20 cm – scours internos às camadas arenosas) bem como a presença de corpos tabulares e o padrão geral de paleocorrentes S-SW, pode-se sugerir que estes depósitos foram acumulados em regiões relativamente *downdip*, considerando-se um trato de fácies ideal a partir do Alto de Maragogi.



Figura 38 – Detalhe da foto anterior. Pode-se observar a deformação por peso dos arenitos sobre os sedimentos finos sotopostos e ainda dúcteis.

Figure 38 – Detail view of the previous picture. The deformation caused by the weight of sandstones over fine sediments, which are still ductile can be observed.

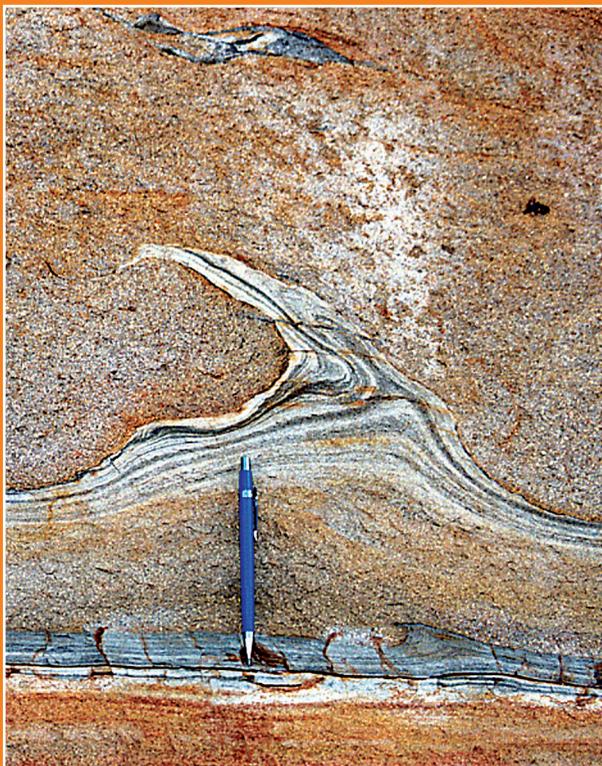


Figura 39 – Flames orientadas para S-SW.

Figure 39 – Flames oriented towards S-SW.

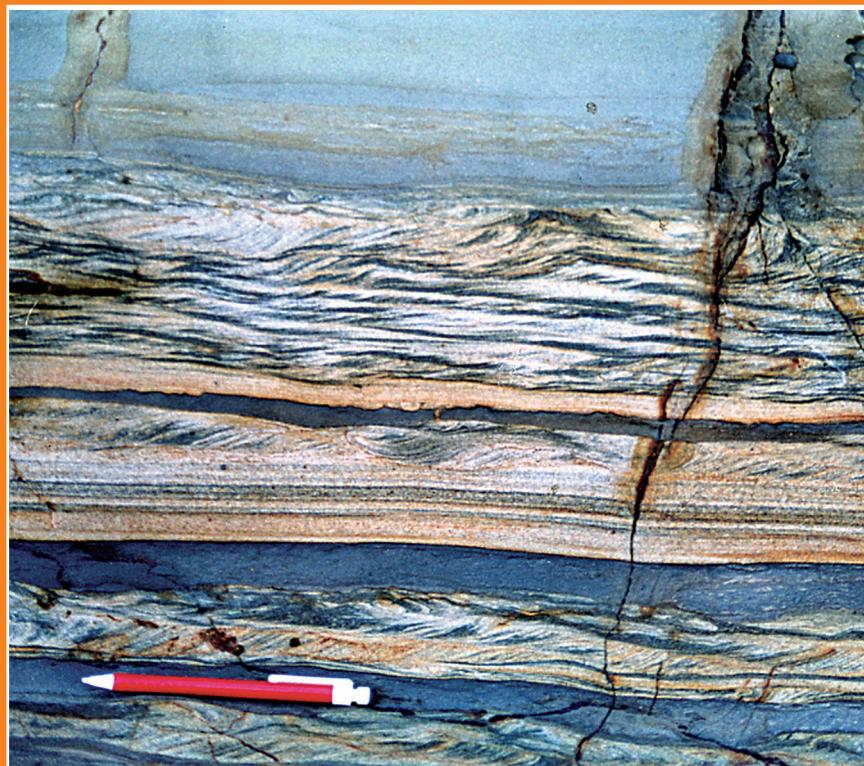


Figura 41 – Arenitos com laminações plano-paralelas, climbing ripples e siltites no topo.

Figure 41 – Sandstones with plain-parallel laminations, climbing ripples and siltites at the top.



Figura 40 – Conglomerado extraformacional formado por grânulos de rochas granitóides e grânulos de quartzo rico em intraclastos argilosos com gradação normal – base do perfil 1.

Figure 40 – Extraformational conglomerate formed by grain of granitoid and quartz rock rich in clay intraclasts with normal grain size – basis of log 1.

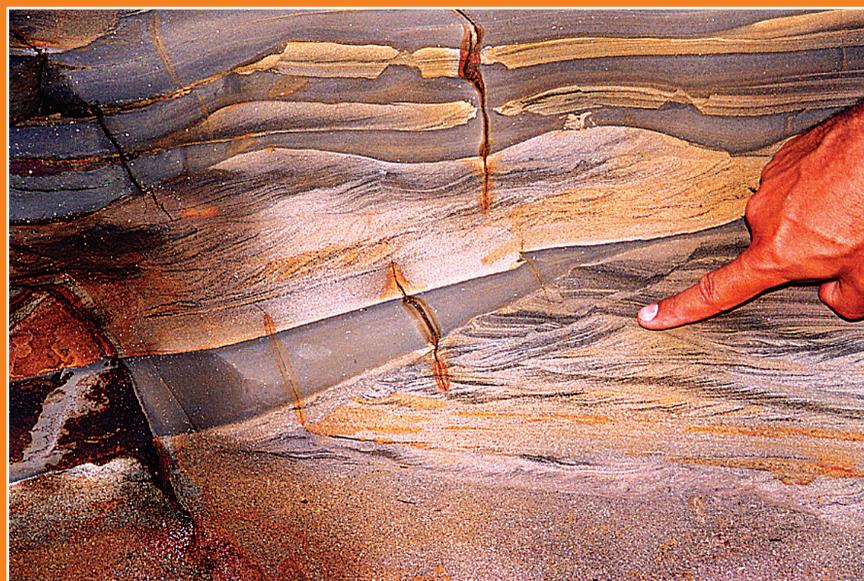


Figura 42 – Arenitos médios/finos com climbing ripples, com truncamentos internos e preenchimento por drapes lamosas (provavelmente retrabalhamentos por correntes de fundo).

Figure 42 – Medium/fine sandstones with climbing ripples, with internal erosion and filled by muddy drapes (probably reworked by bottom currents).

Figura 43

Arenitos muito finos /siltitos.

Figure 43

Very fine sandstone/siltites.



Figura 44

Arenitos médios alternados com siltitos e folhelhos. Notar lâminas muito finas de cor branca, formadas por calcilutites (seta) depositadas em fases climáticas mais áridas.

Figure 44

Medium size sandstones alternating with siltites and shale. Note very fine white films formed by calcilutites (arrow) deposited during more arid climate phases.



agradecimentos

Ao grupo de campo do SEDEST 2005, colegas e revisores: Oscar Pessoa, Eduardo B. Rodrigues, Roberto S. d'Ávila, Saulo F. Santos, James V. Ferreira, Célia Falcone, N. C. Azambuja. A Edison J. Milani, pelo incentivo para a publicação deste Roteiro Geológico.

referências bibliográficas

ARIENTI, L. M. Análise estratigráfica, estudo de fluxos gravitacionais e geometria dos depósitos "rift" da Fm. Maceió e Fm. Poção: Bacia de Alagoas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 2 v. Tese (Doutorado).

FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-161, jan./mar. 1994.

MENDES, J. M. C.; BACELLAR, P. B. **Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da área norte de Maceió – São Luiz do Quitunde – Alagoas**. Aracaju: PETROBRAS. DENEST. DIREX. SERINT, 1992. 16 f. il.

PROSSER, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expressions. IN: WILLIAMS, G. D.; DOBB, A. (Ed.). **Tectonic and seismic stratigraphy**. London: Geological Society, 1993. p. 35-66. (GS. Special Publication, 71).

bibliografia

CAMPOS NETO, O. P. de A.; GARCIA, M. T. M.; CÔRTEZ, M. H. **Tabuleiro dos Martins**: modelo geológico, caracterização dos reservatórios e mapeamento físico das acumulações de hidrocarbonetos. Aracaju: PETROBRAS. DENEST. DINTER, 1989. 5 v. il.

MILLIMAN, J. D.; SYVITSKI, P. M. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. **Journal of Geology**, Chicago, v. 100, n. 5, p. 525-544, 1992.

MUTTI, E.; DAVOLI, G.; TINTERRI, R. Flood-related gravity-flow sequence stratigraphy deposits in fluvial

and fluvio-deltaic depositional systems and their implications. In: HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY CONFERENCE, 2., 1994, Trem, Spain. **Abstracts...** [S.l.]: [s.n.], 1994.

MUTTI, E. et al. Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. **Marine and Petroleum Geology**, Guildford, v. 20, n. 6/8, p. 733-755, 2003.

SHANLEY, K. W.; MCCABE, P. J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 78, n. 4, p. 544-568, 1994.

SCHOLZ, C. A.; ROSENDAHL, B. R. Coarse-clastic facies and stratigraphic sequence models from Lakes Malawi and Tanganyika, East Africa. IN: KATZ, B. J. (Ed.). **Lacustrine basin exploration: case studies and modern analogs**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1990. (AAPG. Memoir, 50).

SURLYK, F. Mid-Mesozoic syn-rift turbidite systems: controls and predictions. IN: CORRELATIONS IN HYDROCARBON EXPLORATION, 1988, Bergen. **Proceedings...** London: Graham & Trotman, 1989. p. 231-241.

VAN WAGONER, J. C.; et al. **Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1990. (AAPG Methods in Exploration, 7).

autor



Luci Maria Arienti

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)

Gerência de Sedimentologia e Petrologia

e-mail: arienti@petrobras.com.br

Luci Maria Arienti é geóloga formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1982. Mestre em Geociências - Geologia Costeira e Oceânica - CECO/UFRGS; Especialista em Administração e Manejo dos Recursos do Mar (CIRM). Foi Docente na Universidade do Vale do Rio dos Sinos - RS. Ingressou na Petrobras em 1987 no Centro de Pesquisas da Petrobras. Em 1996 fez seu Doutorado em Estratigrafia no Convênio UFRGS/Petrobras e atualmente é Consultora Sênior do CENPES, ministrando cursos na Universidade Corporativa e trabalhando em projetos de pesquisa junto ao Reservatório e à Exploração da Petrobras. Seus principais interesses são Estratigrafia e Sedimentologia.