

# Arquitetura das seqüências estratigráficas desenvolvidas na fase de lago profundo no Rifte do Recôncavo

*Architecture of stratigraphic sequences developed in the deep lake phase of the Recôncavo Rift*

José Antonio Cupertino | Gilmar Vital Bueno

## resumo

As litofácies do ambiente lacustre profundo constituem o preenchimento inicial da Bacia do Recôncavo e pertencem às formações Candeias e Salvador. Este estágio é identificado como de bacia faminta, ou seja, um momento onde o espaço de acomodação excede o suprimento sedimentar. A entrada de sedimentos ocorreu de forma catastrófica a partir da propagação lateral do rifte. O arcabouço deposicional se formou a partir da combinação de fluxos densos com sentidos convergentes para um depocentro pelítico e com muita água. A distância entre as áreas-fonte e de deposição percorrida pelos sedimentos ainda inconsolidados e provenientes tanto da borda flexural quanto da borda falhada foi controlada pela topografia de fundo. Esta é geneticamente relacionada à atividade de falhas no embasamento da bacia e influenciou o surgimento das diversas geometrias deposicionais e suas respectivas litofácies: almofadas/lentes de arenitos maciços, lobos turbidíticos e leques de conglomerados

polimíticos. A integração da estratigrafia rifte por meio de dados sísmicos, afloramentos e poços permitiu a identificação de duas tectonosseqüências de 3ª ordem compostas por tratos transgressivo-regressivo, assim como a distribuição das três principais litofácies. A compreensão dos processos deposicionais induzidos pela tectônica rifte foi de crucial importância na delimitação de ocorrência das cinco unidades sísmicas identificadas, assim como no reconhecimento dos limites das tectonosseqüências. O entendimento da importância do controle tectônico sobre a deposição permitiu a identificação dos sítios mais favoráveis à ocorrência das diversas geometrias e o que elas representam em termos de reservatórios, trazendo significativas seqüências nas perspectivas exploratórias de hidrocarbonetos em depocentros de riftes lacustres ao favorecer a prospecção de trapas estratigráficas.

(originais recebidos em 03.10.2005)

**Palavras-chave:** rifte continental | sedimentação sin-tectônica | Estratigrafia de Seqüências | termocronologia | dinâmica rifte

## abstract

*The deep lacustrine lithofacies of the Candeias and Salvador formations represent the initial filling of the Recôncavo Basin and are typical lithofacies of a starved basin, where the accommodation space exceeds the sedimentary supply and sedimentation occurs as a catastrophic process related to the lateral propagation of the rift. Furthermore, the depositional framework was controlled by a combination of several hyperpicnal flows towards pelitic depocenters located in deep water areas. The sedimentation path between the source areas - located in the flexural and/or the faulted borders - and the depocenters' areas was controlled by the bottom topography. On the other hand, the bottom topography is genetically related to basement faults' activity, which controlled several depositional geometries and their related lithofacies: mounds and lenses of massive sandstones, turbidite lobes and alluvial fans with polimitic orthoconglomerates. The integration of outcrop, well and seismic data allowed a better understanding of the rift stratigraphy and the depositional processes induced by the rift tectonics, as well as, the identification of three different lithofacies. In addition, it was also possible to identify the most favorable sites where three different identified geometries could occur and their related lithofacies, which is significantly interesting to the exploratory activities, mainly in terms of identifying stratigraphic traps in intracontinental rift basins. The history of the basin filling was strongly affected by the activity of the master fault - Salvador Fault System. A second order Deep Lake Tectonosequence was formed as a consequence of the tectonic intensity, which is composed by two different third order tectonosequences named High Lake (HLT) and Low Lake (LLT) and are formed by two system tracts: a lower transgressive and an upper regressive.*

*(expanded abstract available at the end of the paper)*

**Keywords:** *continental rift | syntectonic sedimentation | Sequence Stratigraphy | termochronology | rift dynamics*

## introdução

A Bacia do Recôncavo representa o marco da exploração de petróleo no Brasil e vem sendo exaustivamente estudada desde a década de 1950. Trata-se de um rifte intracontinental abortado do processo de deriva continental durante o Eocretáceo (Asmus e Porto, 1972; Asmus e Ponte, 1973; Dias, 1991; Magnavita, 1992 e Matos, 1992, entre outros). A evolução geológica da bacia é dividida em três fases tectônicas: pré-rifte, rifte e pós-rifte. Tal como já discutido por diversos pesquisadores (Asmus e Porto, 1980; Dias, 1991; Magnavita, 1992 e Cupertino, 2000), o desenvolvimento deste rifte apresenta forte sincronismo entre tectônica e sedimentação, tendo todo o seu preenchimento ocorrido sob a ação de subsidência mecânica.

Analisa-se, aqui, o comportamento tectono-sedimentar da Baía de Todos os Santos e do Baixo de Camaçari, compartimento sul do Rifte do Recôncavo (fig. 1), onde a presença de litofácies depositadas em ambiente lacustre profundo é comum. Estas rochas pertencem às formações Candeias e Salvador e representam o preenchimento inicial do Rifte do Recôncavo durante o estágio de bacia faminta, quando a geração de espaço excedeu a taxa de suprimento sedimentar.

Os propósitos deste estudo foram: (1) integrar dados sísmicos multicanais, poços (perfis elétricos e testemunhos) e afloramentos visando estabelecer a Estratigrafia de Seqüências na seção profunda de um paleolago tectônico; (2) investigar a influência do tectonismo distensivo na distribuição faciológica que preenche o paleolago; (3) verificar a aplicabilidade de técnicas combinadas na predição da ocorrência de trapas estratigráficas em bacias do tipo rifte.

## estratigrafia em riftes continentais

Posamentier e James (1993) ressaltam que os conceitos da Estratigrafia de Seqüências estão relacionados à resposta estratigráfica da interação entre espaço disponível e influxo sedimentar. Nos riftes lacustres o espaço disponível ou de acomodação é função da subsidência total (tectonismo, peso e compactação dos sedimentos) e o

influxo sedimentar é dependente das bacias de drenagem, as quais possuem menos de 100 km de largura e comprimento de algumas centenas de quilômetros, com mudanças laterais de fácies ocorrendo em curtas distâncias, 10 km ou menos.

Em função da peculiar geometria de meio-gráben os riftes intracontinentais possuem a particularidade de apresentarem um perfil deposicional em forma de rampa que os diferem da tradicional transição plataforma-talude-bacia, característica das margens continentais divergentes. O talude deposicional é substituído por charneiras estruturais sobre a margem flexural, provocadas pelo surgimento de grandes falhas normais geradas durante a propagação lateral do rifte.

Entre as bacias do tipo rifte pode-se distinguir o caráter limitado dos lagos intracontinentais em relação àqueles das margens passivas onde não é comum a determinação da borda falhada. Tal borda exerce um papel fundamental na formação de depocentros durante a fase de lago profundo, produzindo lateralmente padrões deposicionais contemporâneos e distintos, tal como observado no Rifte do Recôncavo.

Ao longo dos últimos anos os riftes africanos têm atraído a atenção de muitos pesquisadores (Le Fournier *et al.* 1985; Morley, 1988; Tiercelin, 1990; Scholz e Rosendahl, 1990; Lambiase, 1990 e Frostick e Steel, 1993) em cujos trabalhos sobressai o foco na análise da sedimentação em escala de bacia. Entre os que trataram o tema sob a ótica da Estratigrafia de Sequências, salienta-se o pioneiro trabalho de Scholz *et al.* (1990) nos lagos tectônicos Tanganyika e Malawi, os quais foram fundamentais ao estabelecimento de dois tratos de sistemas: nível de lago baixo, caracterizado pela presença de deposição evaporítica; e o de nível de lago alto, onde ocorrem turbiditos associados a lamas hemipelágicas. Mais tarde, Prosser (1993) introduziu a terminologia “tratados de sistemas tectônicos”, onde sistemas deposicionais são associados com as fases evolutivas, pré-, sin- e pós-rifte.

Na margem equatorial brasileira Della Fávera *et al.* (1994) determinaram três tratados de sistemas para a sucessão estratigráfica do Rifte Potiguar: de lago profundo, de lago raso e de lago assoreado, nos quais respectivamente dominam o ambiente lacustre, o deltaico e o flúvio-deltaico.

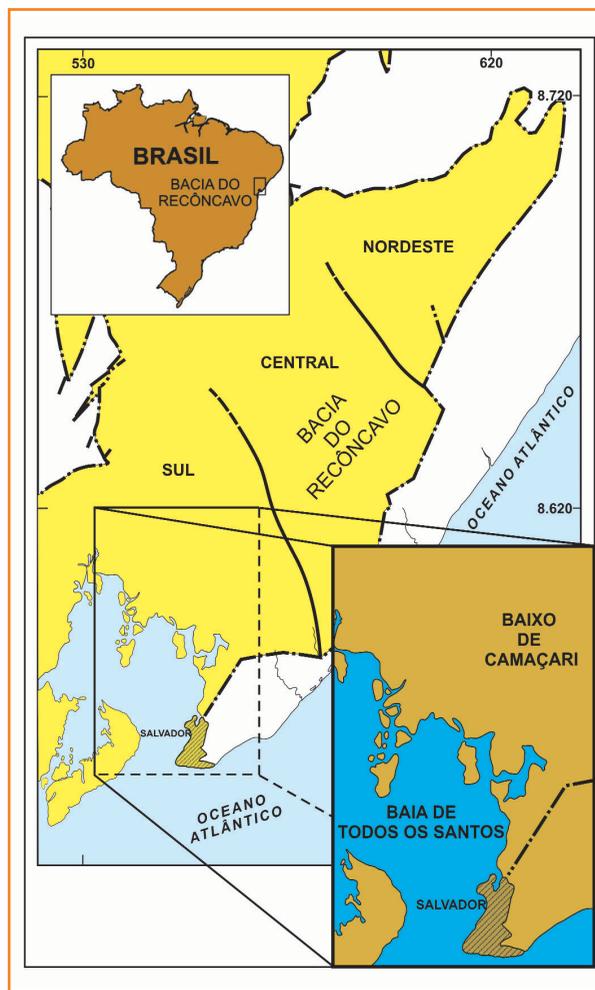


Figura 1

Mapa de situação da Baía de Todos os Santos e o Baixo de Camaçari, que se situam no compartimento sul do Rifte do Recôncavo, Nordeste do Brasil.

Figure 1

Maps of the study area, Recôncavo Basin, Northeast of Brasil, and a Sketch map of the regional features of Todos os Santos Bay and Camaçari Low.

A maioria dos modelos de preenchimento de riftes descreve, nas fases iniciais de estiramento, quando a zona principal de subsidência ainda não está definida e a trama das falhas que comporão o arcabouço é incipiente, uma série de pequenas bacias onde se desenvolverão drenagens subseqüentes. Estas alimentam pequenos pântanos e sistemas fluviais axiais sem a presença de conglomerados sintectônicos. A seguir, a sedimentação passa a ocorrer em ambiente predominantemente lacustre com intensa atividade tectônica em diversas sub-bacias desconectadas, o que dificulta a correlação estratigráfica. Neste momento chega ao fim a sedimentação de lago profundo e, conforme a atividade tectônica vai se tornando moderada, inicia-se a deposição em ambiente de lago raso. A subsidência concentra-se no depocentro, altos internos são soterrados e a bacia aumenta a área de sedimentação, passando a ocorrer progradações flúvio-deltaicas.

A sedimentação das fossas tectônicas é efetuada a partir de drenagens que se estabelecem tanto na margem flexural quanto na margem falhada, sendo que nesta última as drenagens são de pequena extensão e desenvolvem leques aluviais de dimensões restritas que se alternam a praias estreitas. Já nas zonas de acomodação, estruturalmente heterogêneas, ocorrem pequenos leques deltaicos e depósitos bioclásticos ao longo das áreas elevadas, enquanto nos baixos se depositam lamas carbonáticas e clastos finos. Ao final do ciclo tectônico a atividade se torna mais branda, nas zonas flexurais se desenvolvem sistemas deltaicos que progradam transversalmente à bacia em direção ao depocentro. Estes se assemelham àquelles que mais tarde precederão o desenvolvimento de possante sistema fluvial ao longo do eixo do rifte e que representam a fase de lago assoreado. A sucessão sedimentar no Rifte do Recôncavo em linhas gerais segue este padrão, porém difere no preenchimento inicial já que ocorre em ambiente lacustre profundo, sem a presença de lamas paludais e conglomerados sintectônicos.

engloba as formações Candeias e Salvador. Estas foram depositadas em ambiente lacustre durante a fase rifte, estando inseridas no intervalo das biozonas de ostracodes 002 a 004 (Eocretáceo). A primeira formação é composta basicamente de folhelhos com corpos arenosos homogêneos e gradacionais, enquanto a segunda é constituída por conglomerados polimíticos (fig. 2).

A análise dos dados existentes na Baía de Todos os Santos permitiu a identificação de cinco unidades sísmicas com propriedades bem definidas e inter-relacionadas dentro da seção rifte (fig. 3). A primeira sismofácies (I) encontra-se associada ao Sistema de Falhas de Salvador, borda falhada. Constitui-se por um grupo de refletores contínuos, sub-paralelos a caóticos, que configuram uma geometria externa em forma de cunha afetada por superfícies de truncamento no topo. Mergulha para NW e em função do basculamento exhibe os refletores basais concordantes com a seção pré-rifte, em direção ao topo os refletores apontam para o depocentro (fig. 4).

Uma larga feição acanalada identifica a segunda unidade (II). Seu eixo possui direção NE-SW e está superposto ao bloco baixo de uma falha que afetou a seção pré-rifte e que localmente controlou a subsidência do lago. *Onlaps* internos definem o caráter agradacional desta seção. No to-

## Rifte do Recôncavo – análise sísmica

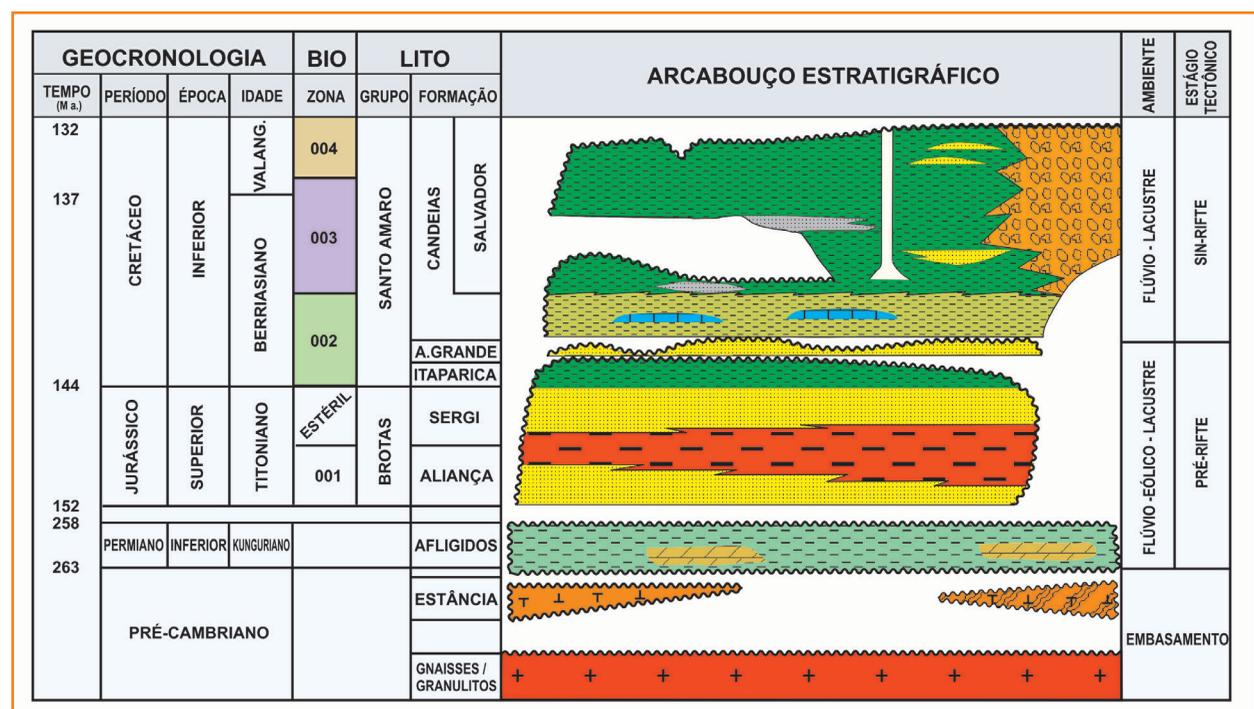
A seção estratigráfica analisada faz parte da Tectonossequência II de Cupertino (2000), que

Figura 2

Arcabouço estratigráfico do Rifte do Recôncavo durante o Eocretáceo. A seção estudada é de idade Berriasiano-Valanginiano, zonas de ostracodes 002, 003 e 004. (Modificado de Caixeta et al. 1994).

Figure 2

Stratigraphic framework of the Lower Cretaceous section (Berriasian/Valanginian ages). The stratigraphic age was defined by the local ostracode zones 002, 003 and 004. (Modified of Caixeta et al. 1994).



po os refletores horizontalizam-se, representando a colmatação total desta feição (fig. 5a).

A sudoeste da sismofácies anterior observam-se monteformas que ocupam uma região alongada na direção NW-SE (III). Internamente é possível distinguir duas sismofácies: *hummockies* ocupam a posição central e são margeados por reflexões sub-paralelas. Estas são sobrepostas por refletores contínuos e concordantes (fig. 5b).

Formas lenticulares e almofadas representam a sismofácies (III), cujos limites apresentam refletores com boa continuidade e forte amplitude. O alongamento destas lentes ocorre na direção NE-SW, junto ao bloco baixo de falha antitética. Internamente predominam reflexões livres, descontínuas e caóticas (fig. 6a).

Localizado em alto estrutural a SE da unidade IV, um padrão ondulado com refletores contínuos, crenulados e truncados em direção ao topo define a sismofácies (V). Feições em *onlap* ocorrem nas áreas baixas entre as ondulações, que por sua vez têm sua amplitude reduzida de NW para SE (fig. 6b).

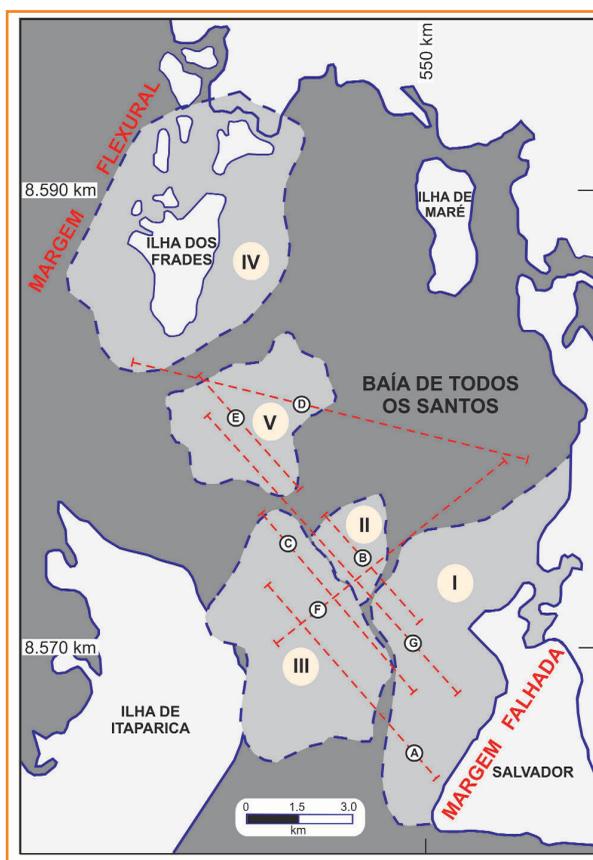


Figura 3

Mapa de localização das cinco unidades sísmicas interpretadas na Baía de Todos os Santos e sua orientação em relação às bordas flexural e falhada.

Figure 3

Map of the situation of Todos os Santos Bay with the five seismic units distribution in relation to the flexural and the failed borders.

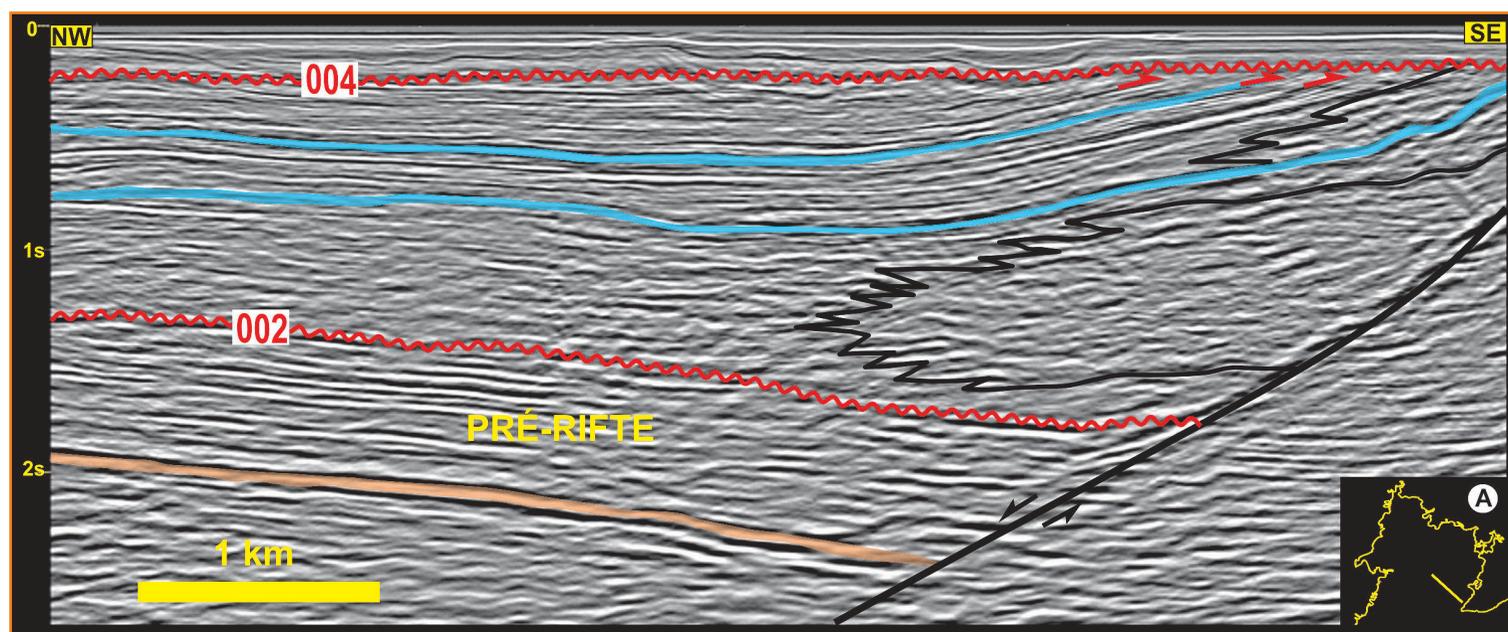


Figura 4 – Seção sísmica NW-SE (linha A – mapa de situação vide fig. 3) na Baía de Todos os Santos mostrando a geometria da unidade I e sua associação com a Falha de Salvador. Percebem-se franjas arenosas à frente das cunhas conglomeráticas e que este conjunto faciológico é coberto por um intervalo transgressivo. Sobre este nível, surge uma cunha regressiva de conglomerados que também é coberta por outro nível transgressivo. A contínua subsidência faz com que estes horizontes sejam erodidos e se disponham em padrão de *offlap* junto à borda falhada, definindo superfícies de discordância (Limites de Seqüências).

Figure 4 – NW-SE Seismic line A (situation see fig. 3) showing the geometry of unit I, and its correlation with the Salvador Fault. Notice that the conglomerate wedges and the associated distal sandy bodies are covered by a transgressive cycle. A conglomerate regressive wedge, covered by a second transgressive cycle, is identified on the upper part of the line. The tectonic activity and the associated subsidence created a seismic feature composed by reflectors *offlapping* against the Salvador Fault. This means that these events were eroded and rotated forming an unconformity surface (Sequence boundaries).

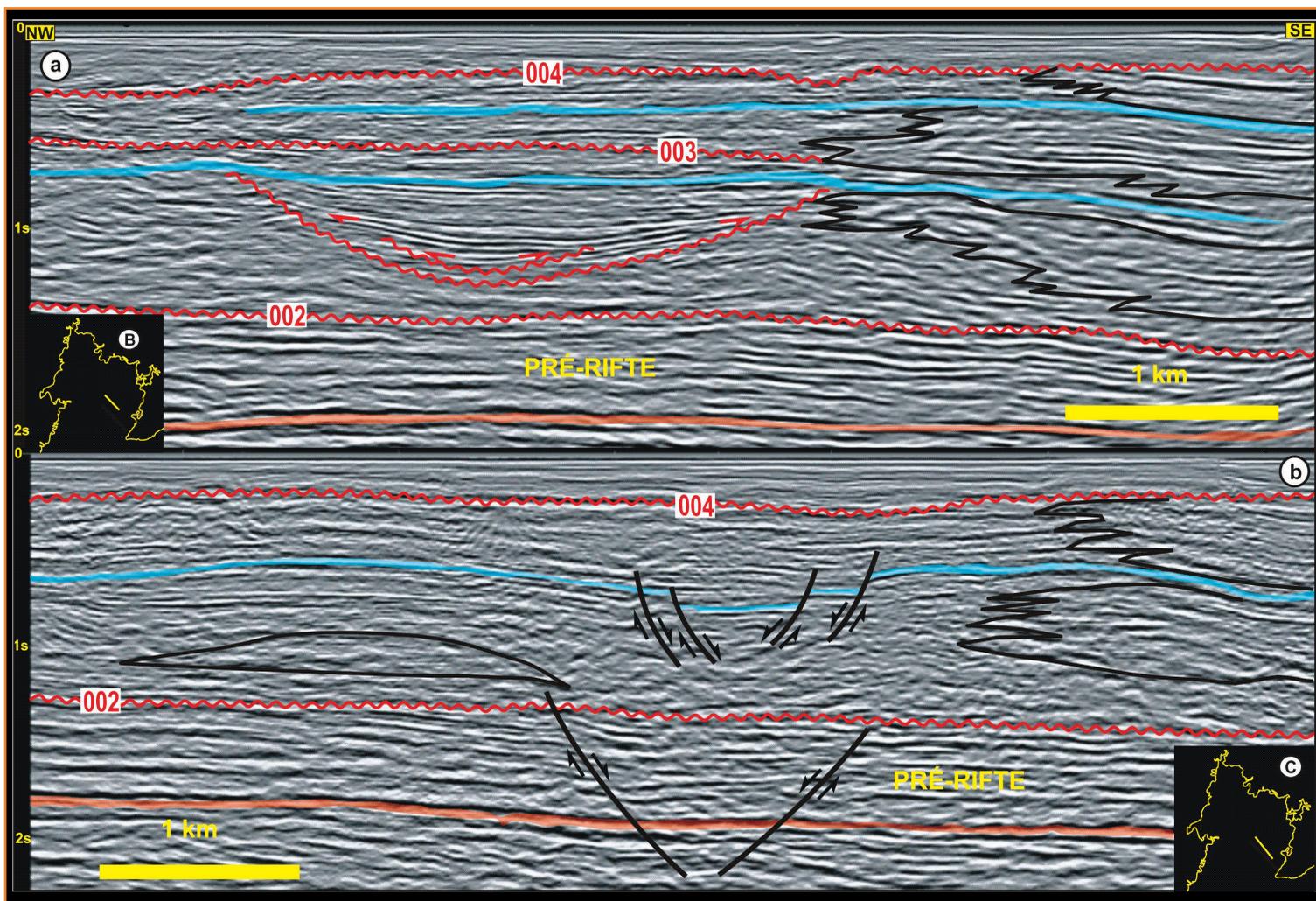


Figura 5 – a) Detalhe sísmico (linha B – mapa de situação vide fig. 3) da unidade II representada por uma feição acanalada dentro da Baía de Todos os Santos. Percebe-se, na porção inferior, uma evolução multi-episódica envolvida por sismofácies característica de depósitos arenosos. Para o topo ocorre uma mudança para sismofácies típica de pelitos. Internamente predominam terminações em *onlap*. b) Na desembocadura da unidade II ao nível da sua sismofácies arenosa desenvolvem-se montefomas (linha C – mapa de situação vide fig. 3). Estas são realçadas pela compactação diferencial sofrida pelos níveis hemipelágicos superpostos.

Figure 5 – a) Zoom of a seismic line B (situation see fig. 3) through the Todos os Santos Bay displaying a channel fill feature inside unity II showing an internal *onlap* geometry. A multi-episodic evolution feature involved by sismofacies typical of sandy deposits can be noticed in the lower part of this section. This sismofacies gradually changes to a sismofacies typical of shaly deposits towards the upper part of this image. b) Mound deposits, associated to sismofacies typical of sandy deposits, are present in the outlet of unity II (line C – situation see fig. 3). The hemipelagic mud affected by differential compactation enhance these features.

A distribuição e orientação das cinco distintas unidades sísmicas identificadas dentro da Baía de Todos os Santos refletem a associação entre sedimentação e atividade tectônica atuante em ambas as margens do rifte (fig. 3).

## interpretação

Seguindo a linha de Posamentier e Allen (1994), após o reconhecimento das principais feições tectônicas e fisiográficas da bacia foi estabelecida a

distribuição das sismofácies e, com base nos dados de poços e afloramentos disponíveis, passou-se aos padrões deposicionais de granocrescência ascendente, granodecrescência ascendente e padrões em blocos, que conduziram aos sistemas deposicionais e sua integração ao contexto estratigráfico através da identificação de superfícies de máxima inundação e limites de seqüências.

Os depósitos da unidade (I) refletem o caráter sintectônico ao longo da margem falhada. Os depósitos desta unidade são constituídos basicamente por ortoconglomerados (fig. 7a), resulta-

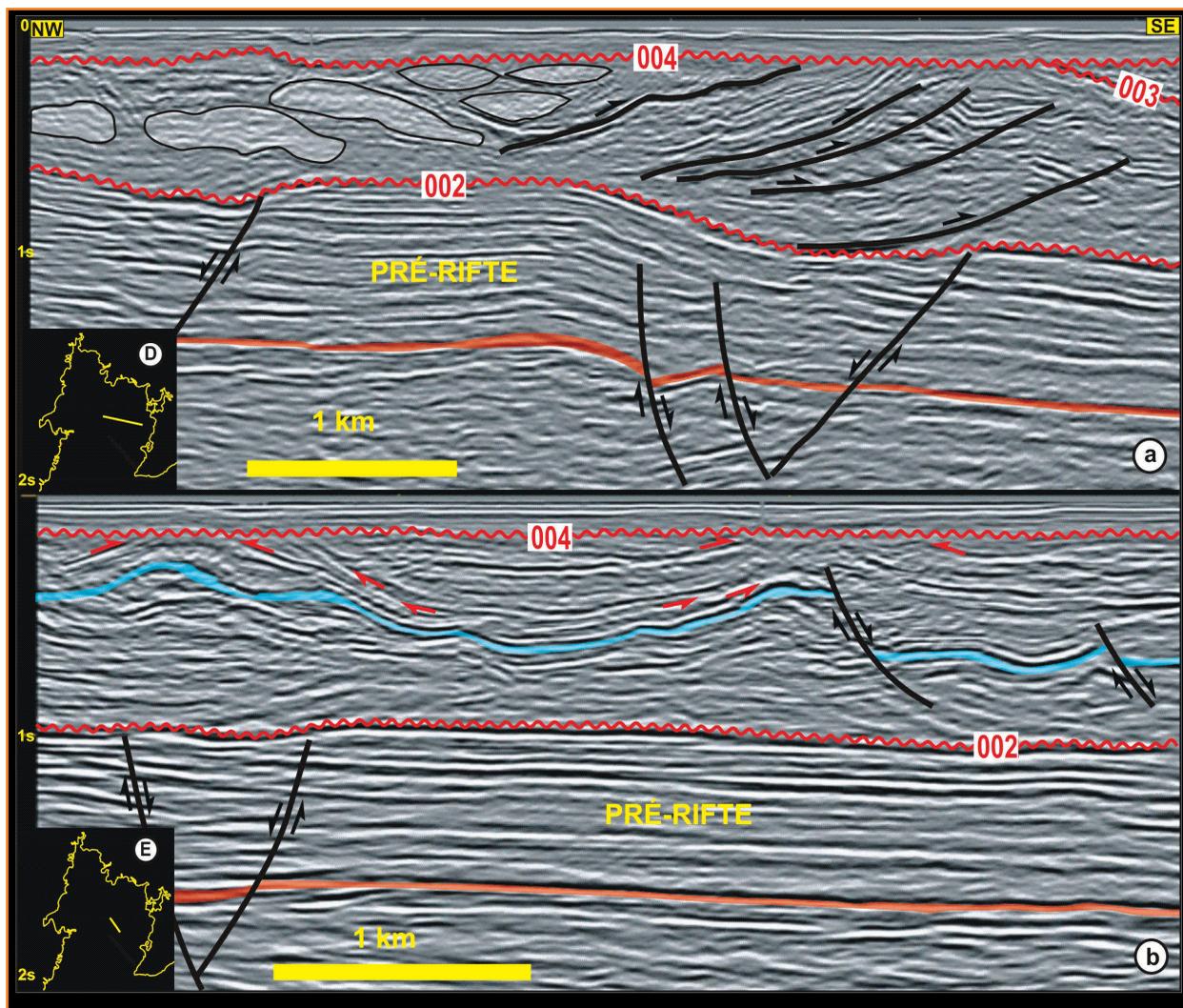


Figura 6

a) Contato das unidades sísmicas IV e V (linha D – mapa de situação vide fig. 3). As primeiras possuem um formato irregular a lenticular e estão dispersas no tempo. A unidade V exibe uma forma de cone truncado no topo e a SE por discordâncias. Internamente mostra-se deformada por planos de cavalgamento. b) Em direção ao depocentro a unidade V mostra um padrão ondulado com truncamento no topo e deformado por falhas normais (linha E – mapa de situação vide fig. 3). Níveis hemipelágicos mais jovens preenchem em *onlap* o espaço gerado entre as cristas.

Figure 6

a) A regional seismic line D (situation see fig. 3) illustrating the limit between units IV and V. The first one presents irregular to lenticular forms and is dispersed in the time. Unit V exhibits a truncated conical form limited by unconformities and internal thrust surfaces of deformation. b) Unit V displays a wavy pattern with a top truncation and deformed by normal faults towards the depocenter (line E – situation see fig. 3). Younger hemipelagic deposits fill out in *onlap* pattern the space generated among the crests.

do de deslizamentos e fluxos de detritos que se depositaram junto às escarpas do Sistema de Falhas de Salvador. A máxima progradação destes corpos ocorreu durante as épocas sem atividade sísmica, com os depósitos apresentando granulometria em padrão granocrescente para o topo (fig. 8). Nas partes mais distais intercalam-se depósitos areno-conglomeráticos provenientes da borda da bacia com lamias pelágicas. Segundo Magnavita *et al.* (1994) a quebra abrupta no padrão do raio gama (fig. 8) está relacionada a um novo pulso tectônico.

Na região plataformal, sobre a margem flexural, a atividade tectônica é menos acentuada, favorecendo a progradação de deltas transversais ao eixo da bacia. Falhas normais sintéticas, longitudinais ao eixo do rifte, formaram zonas de charneiras, enquanto falhas antitéticas produziram barreiras ao fluxo sedimentar. A atividade tectôni-

ca ao longo destas falhas gerou uma instabilidade nos depósitos próximos às charneiras, produzindo o ingresso instantâneo e cíclico de um grande volume de sedimentos. Aqueles capturados pelos anteparos comprimiram e deslocaram uma massa lamosa que deu início ao processo de argilocinese representado pela unidade (V). Estes sedimentos que tiveram o seu fluxo “congelado” perderam a estrutura original e tornaram-se corpos homogêneos e maciços (fig. 7b). Nos perfis elétricos estes apresentam um padrão em bloco (fig. 8) e definem a unidade (IV). Porém, correntes de turbidez foram geradas ao longo de canais tectonicamente controlados. A unidade (II) é um exemplo deste tipo de feição com 4,0 km de largura na desembocadura, 5,0 km de comprimento, 1,50 de gradiente e direção axial ao rifte. Os sedimentos, ao penetrarem no corpo de água, foram acelerados ao percorrerem o canal até atingirem as partes mais

Figura 7

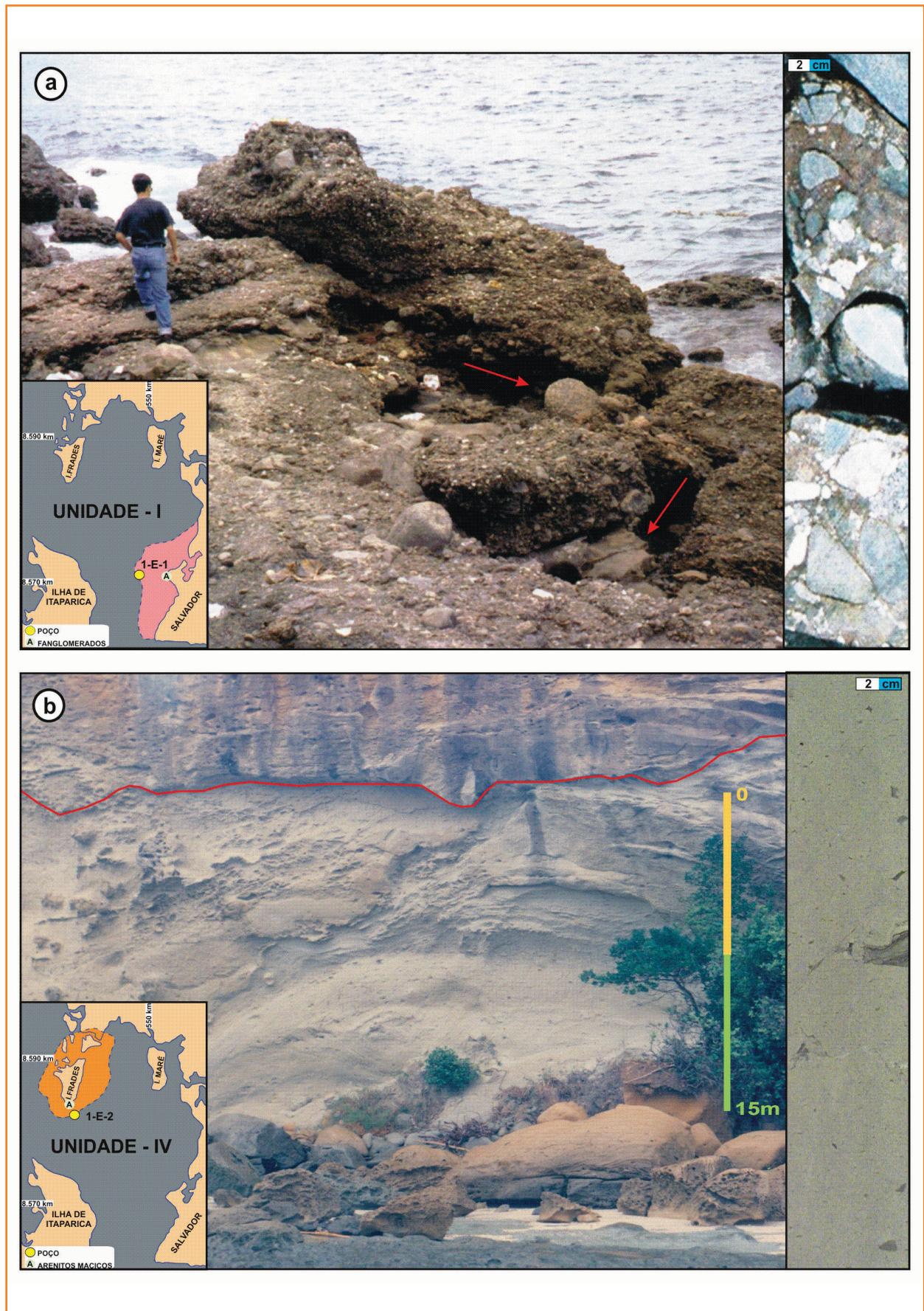
a) Afloramento de Mont-Serrat na Cidade de Salvador. Ortoconglomerados associados à borda falhada do rifte representam a unidade I. No detalhe à direita a mesma fácies amostrada em testemunho.

b) Representante litológico da unidade IV - arenito maciço aflorante na Ilha dos Frades. No testemunho um detalhe da estrutura maciça.

Figure 7

a) Mont-Serrat outcrops, City of Salvador. It represents the orthoconglomerate geometry of unit I, associated to the faulted border of the rift (Salvador Fault). The characteristic of this facies is shown at the right side of the figure.

b) lithological signature of unit IV – Ilha dos Frades massive sandstones outcrops. A core detail showing the lack of internal structures is presented at the right side of the figure.



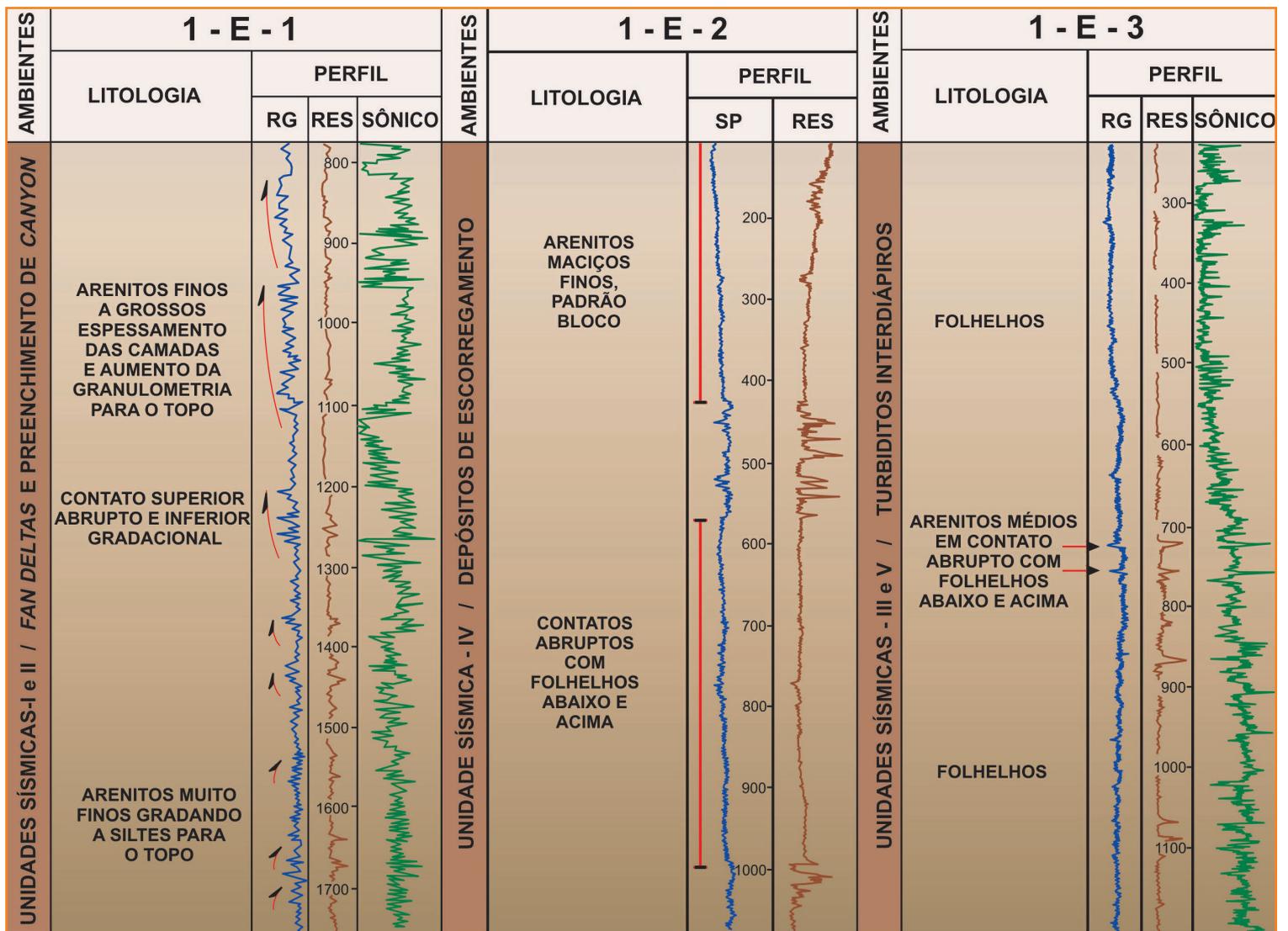


Figura 8 – Respostas dos perfis elétricos às litofácies e aos padrões deposicionais. O poço 1-E-1 exibe um padrão granodecrescente para o topo na seção inferior e outro granocrescente para o topo na seção superior. São respectivamente interpretados como depósitos de preenchimento de *canyon* e *fan deltas* coalescentes. No poço 1-E-2 predomina o padrão em caixote, típico dos arenitos homogêneos da unidade IV. O poço 1-E-3 é fundamentalmente constituído por folhelhos que integram a massa diapirizada. A área interdiápiros atuou como uma zona de *bypassing* onde esporadicamente pequenos corpos turbidíticos se depositaram, deixando uma assinatura de picos nas curvas de raio gama.

Figure 8 – Electric log response of petrofacies present in the well 1-E-1. It exhibits a thinning upward pattern on the lower part and a ticker upward on the upper part. They are interpreted respectively as canyon fill deposits and fan delta complexes. The well 1-E-2 is mainly composed by a box pattern log response, typical of the homogeneous sandstones present in unit IV. The well 1-E-3 is basically composed by shales related to diapiric bodies. Eventual turbidite sequences were deposited in the bypass zone formed in between diapirs, which can be identified as strong peaks in the gamma ray log.

distais do lago, formando depósitos turbidíticos amalgamados e não confinados (fig. 9) que representam a unidade (III), sendo típico nas curvas de poços a assinatura granodecrescente para o topo (fig. 8).

A partir da correlação entre poços, afloramentos e dados sísmicos foi proposta a seguinte interpretação para as cinco unidades sísmicas identi-

cadas na porção sul do Rifte do Recôncavo (Bueno *et al.* 1994; fig. 10).

**UNIDADE - I:** exprime uma franja de leques deltáicos coalescentes com direção NE-SW, que repousam sobre blocos baixos do sistema de falhas da borda leste da bacia.

**UNIDADE - II:** interpretada como depósitos de preenchimento de um *canyon*, constituídos por

Figura 9

Afloramento de Bom Despacho na Ilha de Itaparica - Lobos turbidíticos amalgamados representando os depósitos da unidade - III. No detalhe à direita, arenitos gradacionais amostrados em fácies equivalente.

Figure 9

Bom Despacho outcrops, Itaparica Island. The lobated turbidites represent the deposits of unit III. A detail of the gradate sandstones in equivalent facies is shown at the right side of the figure.

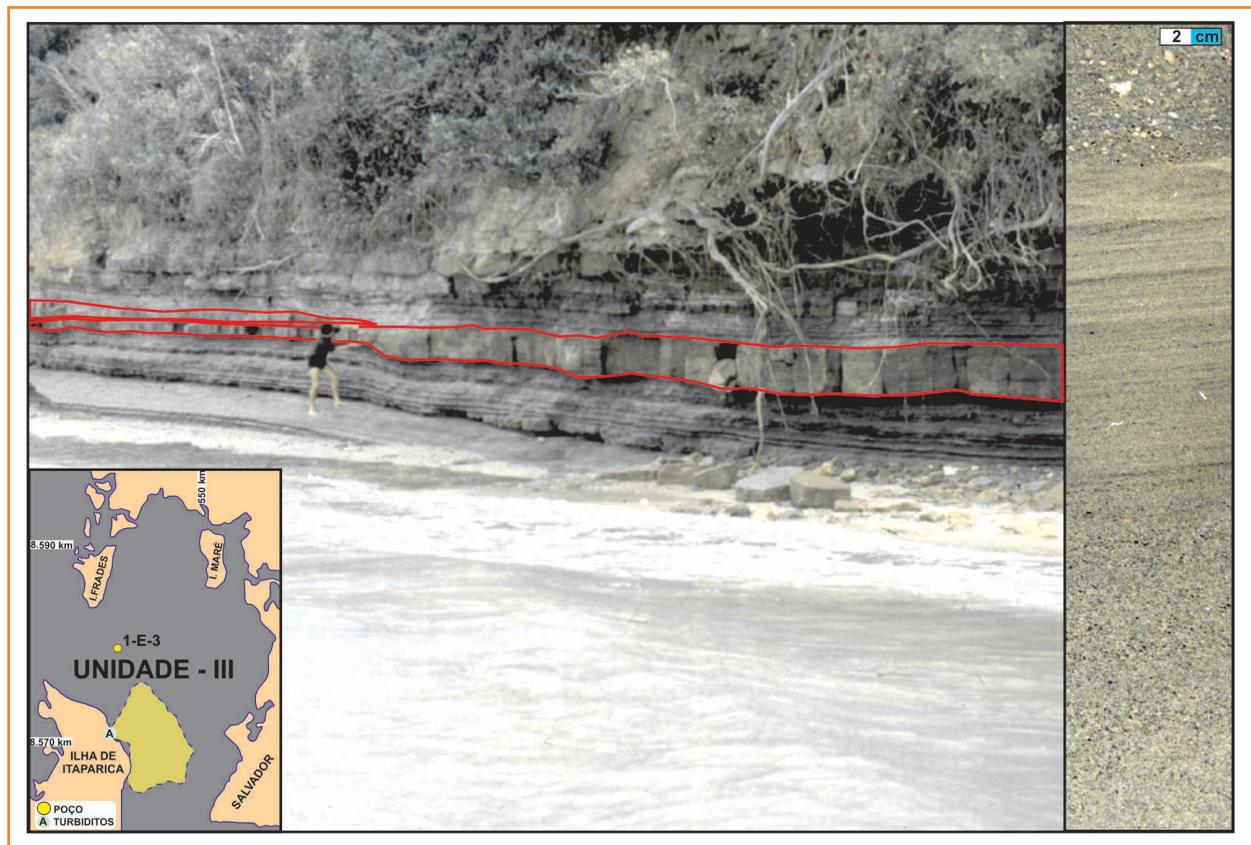


Figura 10

Sumário das propriedades e interpretação das unidades sísmicas identificadas na Baía de Todos os Santos.

Figure 10

Summary of the Todos os Santos Bay seismic units (properties and interpretation).

UNIDADES SÍSMICAS					
PROPRIEDADES	I	II	III	IV	V
CONFIGURAÇÃO DAS REFLEXÕES	PARALELA, LEVEMENTE DIVERGENTE, REFLETORES-LIVRES	PARALELA E ONLAP LATERAL	MONTEFORMAS, HUMMOCKY, SUB-PARALELA	ONDULADA, CAÓTICA, REFLETORES LIVRES, MONTEFORMAS	ONDULADA, CRENULADA, ONLAP
GEOMETRIA E RELAÇÃO ESTRUTURAL COM A SEÇÃO PRÉ-RIFTE	FORMA EM CUNHA E FOLHA, BASCULAMENTO	CÔNCAVA, SUPERPOSTA A BLOCO BAIXO FALHA SINTÉTICA	MONTEFORMA	LENTE ALONGADAS, ALMOFADAS, SUPERPOSTAS A BLOCO BAIXO DE FALHA ANTITÉTICA	ONDULADA, FORMA CÔNICA, SUPERPOSTA A ALTO ESTRUTURAL
ASSOCIAÇÕES ENTRE UNIDADES SÍSMICAS		III	II	V	IV
LIMITE SUPERIOR	DISCORDÂNCIA ANGULAR	CONCORDANTE	CONCORDANTE	CONCORDANTE COM REFLEXÕES SUPERIORES	TRUNCAMENTO EROSIONAL
LIMITE INFERIOR	CONCORDANTE	TRUNCAMENTO EROSIONAL	DOWNLAP IRREGULAR, CONCORDANTE	TRUNCADO CONCORDANTE, DOWNLAP	IRREGULARMENTE DOBRADO
AMPLITUDE	MODERADA A ALTA	MODERADA A ALTA	BAIXA A MODERADA	MODERADA AO LONGO DOS LIMITES, INTERNAMENTE BAIXA	BAIXA A MODERADA
CONTINUIDADE	ALTA A MODERADA	ALTA A MODERADA AO LONGO DOS LIMITES, INTERNAMENTE BAIXA A MODERADA	VARIADA	ALTA A MODERADA AO LONGO DOS LIMITES, INTERNAMENTE DESCONTÍNUA	MODERADA A ALTA
INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	FANGLOMERADOS COALESCENTES AO LONGO DA BORDA DA BACIA	DEPÓSITOS DE PREENCHIMENTO DE CANYON	LÓBOS TURBIDÍTICOS	ESCORREGAMENTOS E FLUXO DE DETRITOS	ESTRUTURAÇÃO ARGILOCINÉTICA

sedimentos resultantes de tração na base e suspensão no topo.

**UNIDADE - III:** provável expressão de leques sublacustres com retrabalhamento marginal, cuja deposição pelítica superposta acentua a monteforma por compactação diferencial. A associação das unidades II e III caracteriza um complexo de *canyon-fan*.

**UNIDADE - IV:** representa depósitos gerados por processos de escorregamento e fluxos de detritos rapidamente depositados em bloco baixo de falha com direção NE-SW.

**UNIDADE - V:** constitui uma área dominada por argilocinese, causada em parte por inversão de densidade, mas principalmente pela compressão de pelitos inconsolidados entre ressaltos de falhas e os repentinos fluxos sedimentares da unidade IV, provocando uma deformação que grada de falhas inversas a dobras suaves em direção ao depocentro.

## início da fase rifte e sua propagação lateral

As reorganizações tectônicas da litosfera produzem uma sucessão de eventos cujo embrião é o surgimento de riftes intracontinentais. Durante o Berriasiano o processo de ruptura do Gondwana se iniciou com a formação do Sistema de Riftes Recôncavo-Tucano-Jatobá (Magnavita e Cupertino, 1987). A partir de então o tectonismo se acentua sem, no entanto, atingir taxas de estiramento que propiciem o surgimento de vulcanismo associado. O ápice da primeira fase tectônica encerra-se com a formação da Discordância de Propagação do Rifte (DPR) no Neovalanginiense, biozona 004 (Bueno, 2004). Este evento seguiu-se à rotação da Microplaca de Sergipe (Szatmari e Milani, 1999), que provocou o deslocamento dos esforços na abertura do Atlântico Sul e abortou a evolução do Rifte do Recôncavo. Como conseqüência a tectônica foi atenuada e implantou-se um amplo sistema deltaico que caracteriza a Tectonossequência de Lago Raso.

No estágio inicial, quando a intensidade do tectonismo atingiu seu ápice, a dinâmica distensiva propiciou a expansão gradativa da bacia. A repetição de violentos pulsos tectônicos geraram o aparecimento de novas falhas e reativaram as

precedentes, aumentando a área e o volume do lago e, conseqüentemente, provocando rebaixamentos do nível da água e a produção de discordâncias (Della Fávera, 2001).

Silva *et al.* (1989) por meio da integração de mapas estruturais e de isópacas entre as biozonas de ostracodes do Rifte do Recôncavo, demonstraram a relação de espessamento sedimentar dos depocentros em direção à borda flexural, e estabeleceram três charneiras deposicionais associadas às idades das biozonas 002, 003 e 004, que no compartimento sul da bacia correspondem às falhas de Lamarão, Candeias e Nova América, registro da propagação lateral do rifte e formação do mergulho regional para sudeste contra o Sistema de Falhas de Salvador (fig. 11).

Conforme salientado por Carter e Gallagher (2004), as rochas sedimentares apresentam informações pré-deposicionais (proveniência) e pós-deposicionais (soterramento) que são influenciadas pela história térmica de uma bacia. Visando recompor a evolução térmica da Baía de Todos os Santos, Cupertino (2000) utilizou arenitos coletados em diversos poços e afloramentos da região para estudos de traços de fissão em apatitas (TFA). No caso do poço 1-E-1 foram coletadas três amostras (H1, H2 e H3). Duas destas extraídas de calhas a 150 m e 500 m de profundidade apresentaram idades centrais superiores à idade estratigráfica dos intervalos, o que significa que estas estiveram expostas a baixas temperaturas preservando os traços gerados desde a deposição. Mesmo assim, por se tratar de material detrítico, a análise estatística das idades TF individuais apontam para a existência de duas populações de apatitas com idades centrais distintas,  $126,3 \pm 5,3$  Ma e  $203,3 \pm 6,3$  Ma, no caso da amostra superior (150 m). A população de idades TF mais elevada está fortemente influenciada por apatitas cujos traços foram gravados a partir de soerguimentos da borda falhada, sendo correto afirmar que a área-fonte atingiu a zona de estabilidade dos traços há aproximadamente 200 Ma, no Jurássico. A segunda população mostra valores próximos à idade estratigráfica estimada por ostracodes (fig. 12). Esta população é composta por apatitas oriundas de áreas-fonte expostas a um ciclo de rápidos processos de

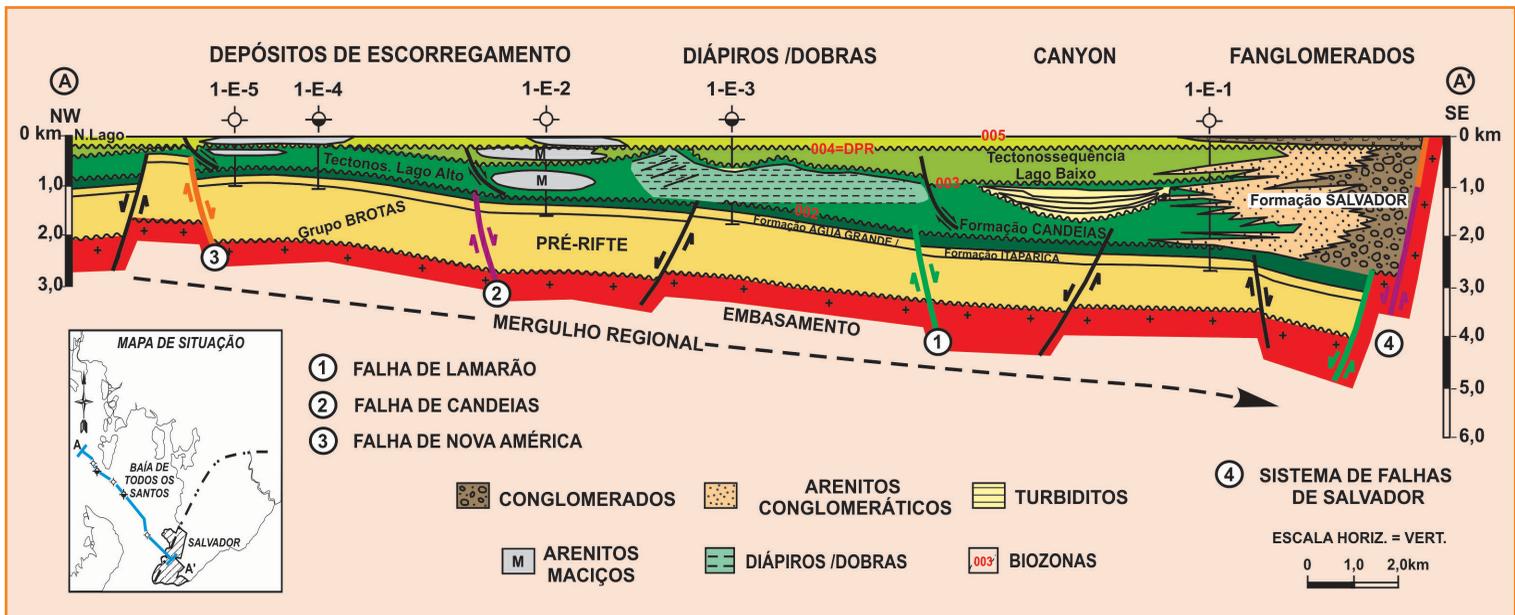


Figura 11

Distribuição faciológica ao longo do mergulho regional da Baía de Todos os Santos. As falhas verde, violeta e laranja demonstram a propagação lateral do rifte e *backfaulting* no Sistema de Falhas de Salvador.

Figure 11

Regional distribution of the facies along the regional dip direction in the Todos os Santos Bay. The green, violet, and orange fault set represents the lateral propagation of the rifte and the *backfaulting* of the Salvador Fault System.

soerguimento e erosão, corroborando a propagação lateral do rifte.

O Sistema de Falhas de Salvador, onde as elevadas taxas de subsidência são compensadas pelo soerguimento das ombreiras, representa a borda falhada deste rifte e é o principal responsável pelo padrão assimétrico do mesmo. Esta zona de falha paralela ao depocentro, durante o Eoberriasiense, provocou o aparecimento de desníveis estruturais acentuados na região da Baía de Todos os Santos, provocando um escalonamento de falhas que formam verdadeiros degraus de sedimentação entre a área-fonte e o depocentro (fig. 11).

Cupertino (2000), ao analisar dados de traço de fissão em apatitas ao longo das bordas do rifte, conclui: 1) a margem flexural adquiriu estabilidade tectônica precoce a 132 Ma, idade da DPR, enquanto a margem falhada exibe atividade até 91 Ma, típico de bacias que apresentam perfil de meio-gráben; 2) a taxa de erosão de 4,3-3,0 m/Ma obtida em modelagens TF de amostras oriundas da margem flexural é bem inferior aos 24 m/Ma relativos ao Alto de Salvador na margem falhada, demonstrando que nesta o relevo sempre foi mais acentuado em função da longa atividade da falha de borda; e 3) modelagens por TF na porção sul da Bacia do Recôncavo apontam para um período de máxima subsidência no Berriasiense, entre 144 e 137 Ma,

período correlato ao intervalo das biozonas 002 a 003, no qual foram identificadas as principais feições deposicionais tectonicamente induzidas na Baía de Todos os Santos.

Pela análise da seção sísmica F, paralela ao Sistema de Falhas de Salvador, percebe-se que além deste ser responsável pelo mergulho regional ele também controla a posição dos depocentros ao longo do seu traçado. Mediante a horizontalização de um refletor correspondente a um intervalo transgressivo próximo ao topo da biozona 003, constata-se que até esta idade a seção pré-rifte mergulhava fortemente no sentido SW, isto é, para a Baía de Todos os Santos (fig. 13a), propiciando o surgimento do *canyon* da unidade II e conseqüentemente dos depósitos turbidíticos da unidade III. No Baixo de Camaçari a condição de bacia faminta da seção cronocorrelata é representada por agradação argilosa e alguns níveis conglomeráticos vindos da própria borda falhada. A partir do intervalo transgressivo ocorreu uma migração dos depocentros, passando a se desenvolver as maiores espessuras sedimentares no Baixo de Camaçari (fig. 13b). Esta mudança transferiu a entrada dos sedimentos siliciclásticos oriundos da borda flexural. Sedimentos que antes corriam para SW passaram então a se deslocar para NE.

Apesar da importância do clima no preenchimento das bacias sedimentares, este não será

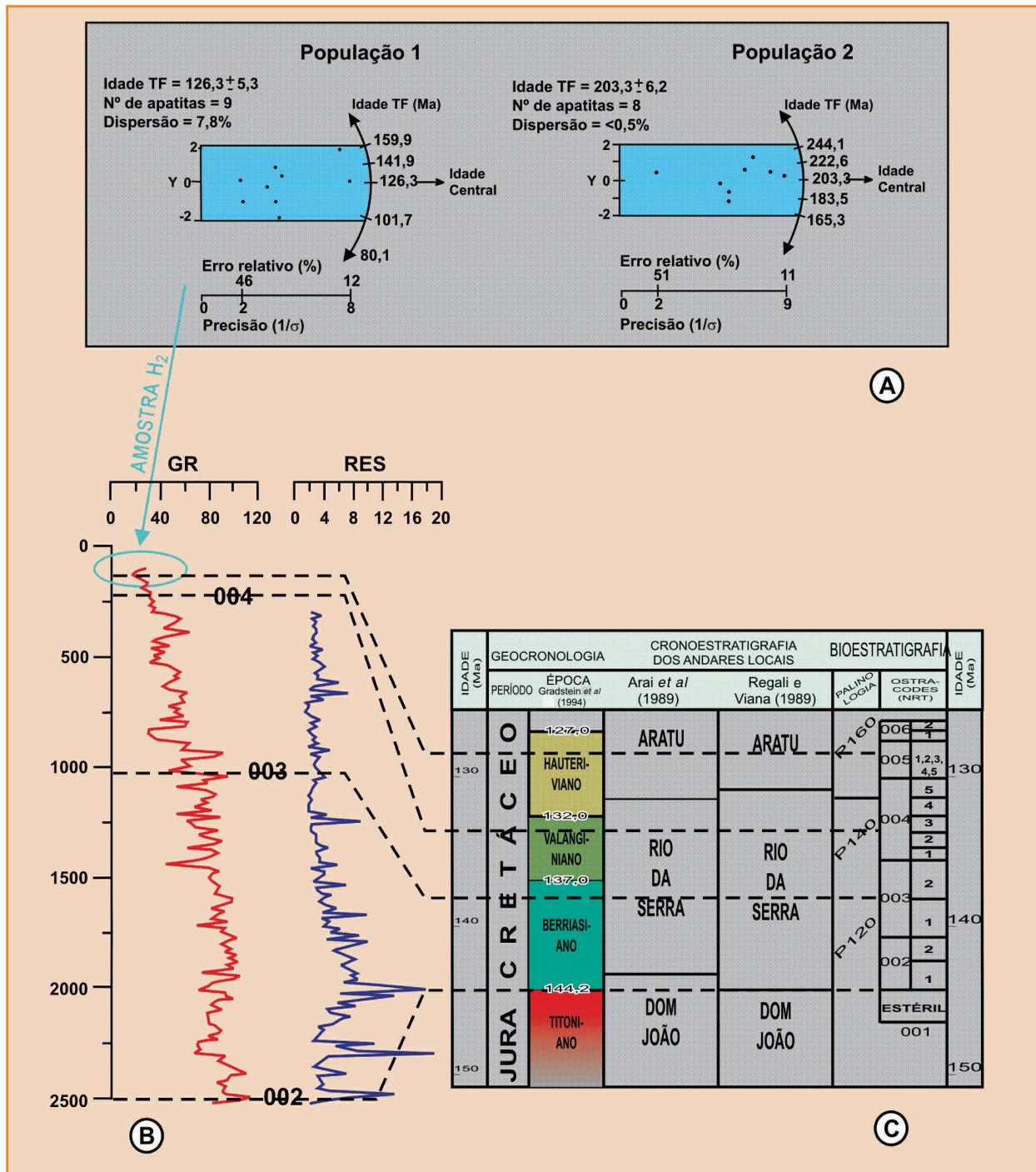


Figura 12

Poço 1 – E – 1: a) Posição da amostra utilizada para os estudos de traços de fissão em apatitas. b) Plotes radiais das idades TF individuais obtidas na amostra. A identificação de duas populações de idades sugerem que as apatitas presentes representam duas idades distintas; a mais antiga relacionada à área-fonte, a mais nova próxima da idade estratigráfica. c) Correlação entre a informação bioestratigráfica (ostracodes) e a cronoestratigrafia (modificado de Cupertino, 2000).

Figure 12

Well 1 – E – 1: a) Samples position in relation to the Gama Ray signature. b) Radial plots with the individual apatite fission track ages present two populations; the youngest belongs to a source area realms and the oldest is related to a fast erosion-deposition event. c) Chrono and Biostratigraphical (ostracodes) correlation (modified from Cupertino, 2000).

tratado neste trabalho. Mesmo assim não se pode negligenciar sua influência no tipo de sedimento disponível, em função da sua atuação no intemperismo e na coluna de água do lago ao longo de cada intervalo cronoestratigráfico (Hay, 1996). A fisiografia das áreas-fonte impede a precipitação das chuvas com umidade proveniente do oceano, permitindo o desenvolvimento de condições áridas no continente. Com isto

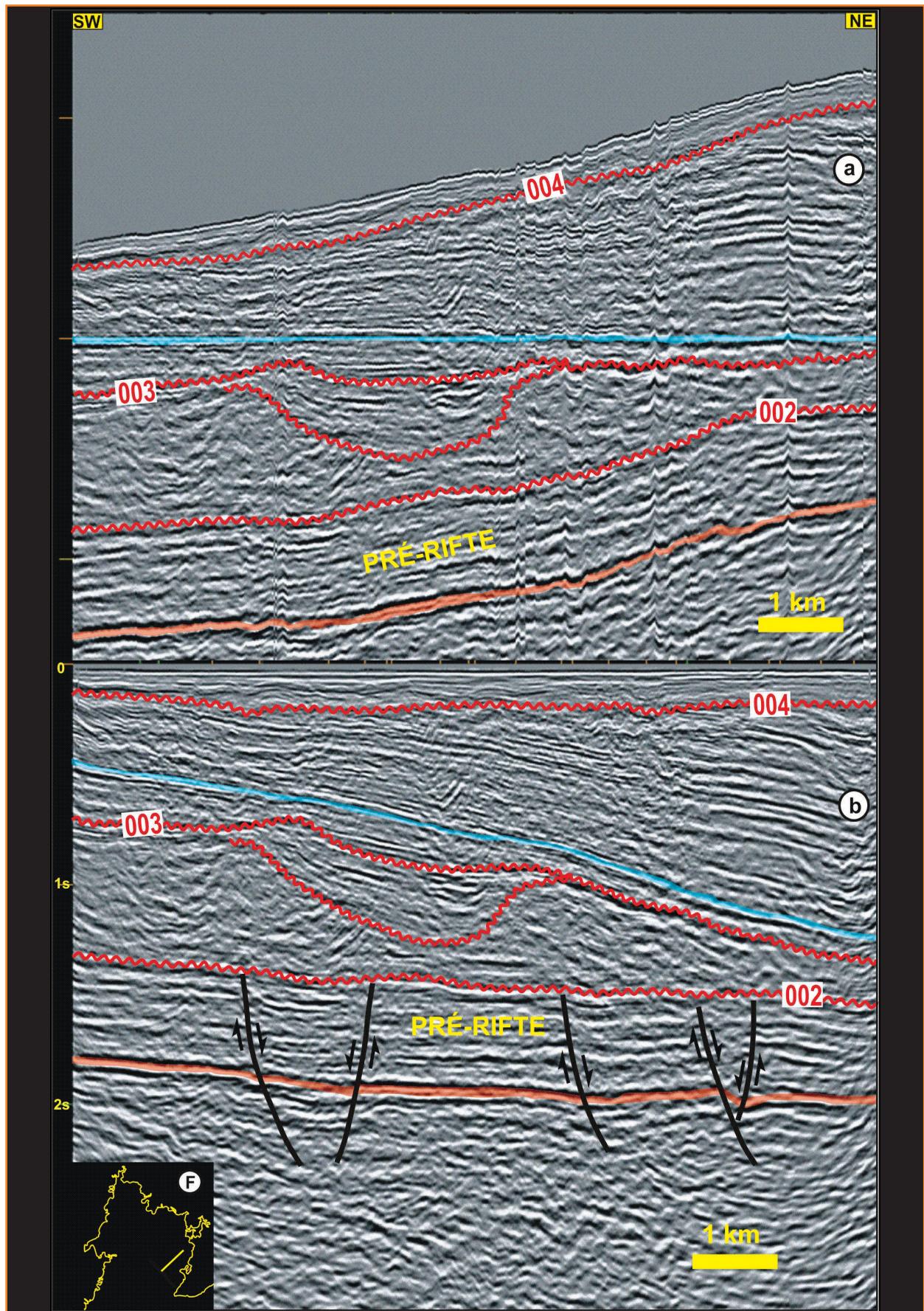
o intemperismo físico passa a ser o principal processo de desagregação das rochas. De modo geral admite-se que, durante o Andar Rio da Serra, mudanças climáticas afetaram a deposição nos riftes do Leste brasileiro. A análise conjunta dos valores isotópicos de oxigênio e carbono orgânico total, importante ferramenta para conclusões sobre o paleoambiente, já foi tema de discussão para as bacias rifte brasileiras e pode

Figura 13

Seção sísmica F ( mapa de situação vide fig. 3) paralela ao Sistema de Falhas de Salvador que mostra a migração de depocentros entre a Baía de Todos os Santos e o Baixo de Camaçari. a) A seção horizontalizada ao nível do refletor azul demonstra que o intervalo pré-rifte mergulha para sudoeste. b) Acima observa-se que este mesmo intervalo muda o mergulho para nordeste.

Figure 13

Strike seismic line F (situation see fig. 3) parallel to the Salvador Fault System that shows the depocenter migration from the Todos os Santos Bay to the Camaçari Low. a) The prerift section below blue reflector flattened dips to southwest. b) Later on the dip of prerift section change to northeast.



ser obtida em trabalhos de diversos autores (Chiossi, 1997, Guzzo, 1997, Santos, 1998, Cupertino, 2000, Bueno, 2001).

## Estratigrafia de Seqüências

Para as bacias marinhas de margem divergente define-se seqüência como uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados, limitados nos seus topos e bases por discordâncias e suas conformidades relativas. Ela é composta por uma sucessão de três tratos de sistemas e interpretada como uma deposição entre pontos de inflexão de queda eustática (Posamentier *et al.* 1988). Nos riftes, onde a tectônica além de gerar uma fisiografia em forma de rampa também controla as drenagens e, por conseqüência, o suprimento sedimentar, torna-se inaplicável o tradicional esquema de empilhamento de tratos de sistemas compondo seqüências como verificado nas bacias de margem passiva. Como o ingresso de sedimentos é feito a partir de drenagens tectonicamente controladas, é necessária a utilização de nomenclatura apropriada onde a influência do tectonismo no empilhamento crono-estratigráfico seja relevante em vez de se transportar a nomenclatura da Estratigrafia de Seqüências para as bacias do tipo rifte.

Uma alternativa foi criada por Sloss (1963) quando cunhou o termo tectonossequência para as seqüências estratigráficas geradas sob controle tectônico. Na Bacia do Recôncavo o termo foi utilizado por Silva (1993), que chamou de Tectonossequência do Cretáceo Inferior a todos os depósitos da fase rifte. Cupertino (2000) ratificou a aplicação do termo e estabeleceu três tectonossequências de 2ª ordem. Neste estudo também se emprega esta nomenclatura, denominando o intervalo estudado como a Tectonossequência de Lago Profundo (2ª ordem). Esta foi dividida em duas tectonossequências de 3ª ordem denominadas tectonossequência de Lago Alto e Tectonossequência de Lago Baixo (fig. 14), ambas compostas por dois tratos: um transgressivo na base e outro regressivo no topo.

Foram observadas diferenças importantes em relação ao modelo previsto pela Estratigrafia de Seqüências para as margens continentais diver-

gentes e o que foi identificado na porção sul do Rifte do Recôncavo. Por exemplo, a presença de monteformas, complexo de *canyon-fan* e escorregamentos, que são definidas como feições de Trato de Mar Baixo nas margens passivas, nos riftes lacustres encontram-se em condições de ambiente profundo. Nos depocentros do rifte, junto à borda falhada, o progressivo soerguimento do bloco alto, em contraste com a contínua subsidência da bacia, gera um padrão sísmico de *offlap* (fig. 4), o qual nas margens continentais divergentes é identificado nas regiões plataformais devido ao truncamento dos depósitos mais velhos pelos mais novos. A argilocinese se inicia por compressão e passa a distensão ao longo do mergulho regional do rifte, enquanto comportamento estrutural oposto é observado com a halocinese nas bacias de margem passiva, distensão na plataforma e compressão na bacia.

A gradação deformacional dos pelitos segundo o mergulho regional para SW, falhas inversas e cavalgamentos vizinho aos corpos de arenitos maciços, além de dobras que se atenuam em direção ao depocentro, indicam que durante a Tectonossequência de Lago Profundo a argilocinese foi tectonicamente induzida em função do estresse lateral produzido pela catastrófica entrada de sedimentos na borda flexural. A inversão de densidade como processo gerador de argilocinese só passa a dominar após a Discordância de Propagação do Rifte – DPR (Bueno, 2004) com a implantação da Tectonossequência de Lago Raso, cujo intenso aporte sedimentar oriundo do *Paleocanyon* de Taquipe, também tectonicamente controlado (Bueno, 1988), desloca-se em direção ao Baixo de Camaçari. A sobrecarga sedimentar produz uma série de diápiros perfurantes, entre eles o de Cinzento (fig. 14). A geometria, dimensões, estruturas e fácies associadas demonstram que os diápiros gerados no lago profundo procedem de esforços laterais, enquanto em lago raso a origem são esforços verticais.

O padrão deposicional de granodecrescência para o topo na seção inferior do poço 1-E-1, representado por arenitos muito finos, sugere que o transporte dos sedimentos vindos da borda flexural era redirecionado axialmente para então alcançar a bacia. Isto foi função do relevo de

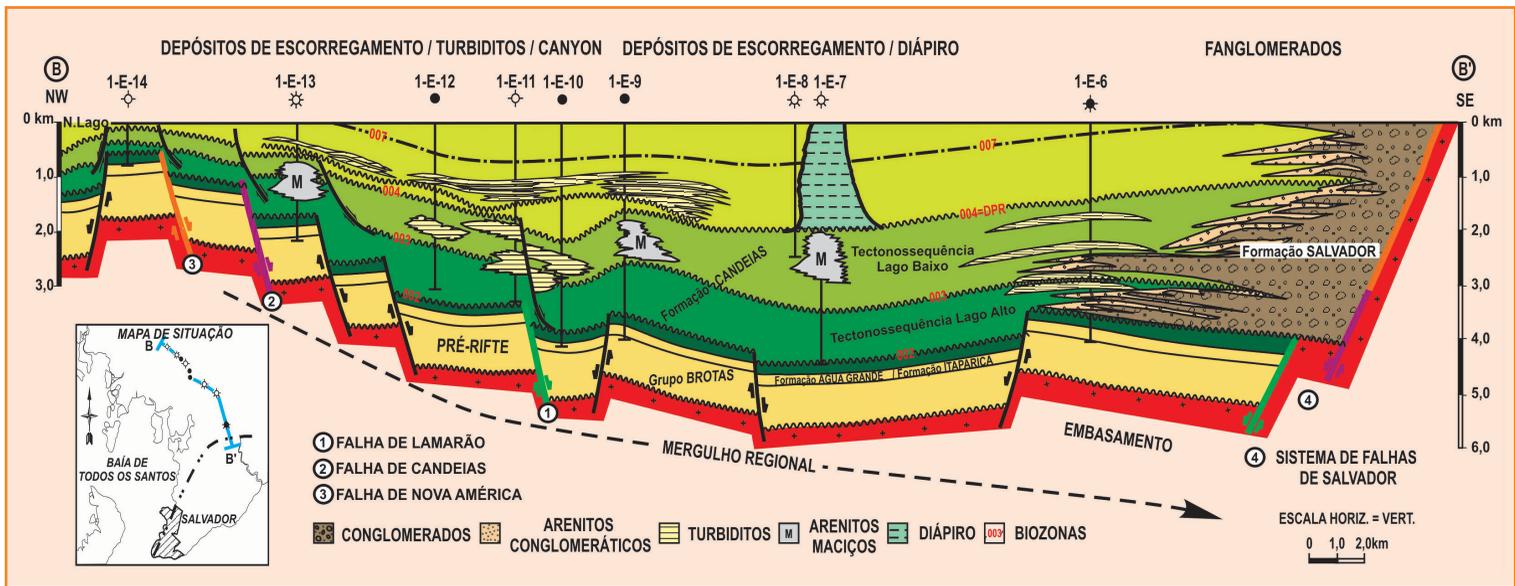


Figura 14

Seção geológica B-B' no Baixo de Camaçari mostrando a condição de bacia faminta durante a deposição da Tectonossequência de Lago Alto e a presença das três litofácies (turbiditos, maciços e conglomerados) da Tectonossequência de Lago Baixo. Os pares de falhas verde, violeta e laranja refletem a propagação lateral do rifte. A partir da DPR se implanta um ambiente deltaico com canyons e diápiros perfurantes na porção distal.

Figure 14

B-B' geological section of the Camaçari Low. Note the starvation condition during the deposition of the High Level Lake Tectonossequence and the petrofacies related to the Low Level Lake Tectonossequence. The green, violet, and orange fault set represents the lateral propagation of the rift. Just after DPR surface a broad deltaic environment was established, showing canyons and mud piercements (diapirs) toward distal portion.

fundo mergulhar fortemente para sudoeste, levando à formação do complexo de *canyon-mounds* turbidíticos. Na seção superior do poço até a biozona 004 (DPR) passam a dominar sedimentos com padrão granocrescente e com espessamento de camadas para o topo. Isto reflete a proximidade do Sistema de Falhas de Salvador e o diferencial de relevo por ele gerado. Passando a constituir a principal fonte de suprimento sedimentar para a Baía de Todos os Santos.

No poço 1-E-6, próximo ao topo da subzona 003.1, onde só conglomerados se depositavam entre os folhelhos, passou-se a ter a presença de arenitos finos a médios associados aos topos dos níveis conglomeráticos, provável consequência da mudança de um clima seco para úmido. Na região do poço 1-E-1 depósitos de mesma idade apresentam uma associação de arenitos finos, médios e conglomerados. Após o topo da subzona 003.1 predominam espessos intervalos de arenitos finos/muito finos e a ausência de conglomerados, que só retornaram a se depositar ao tempo da biozona 004, após a migração dos depocentros.

O progressivo deslocamento para norte do ponto de máxima atividade do Sistema de Falhas de Salvador, principal área de alívio à distensão crustal na bacia, provocou a inversão do mergulho estrutural (fig. 15a) e conseqüentemente migração do depocentro. Isto fez com que no decorrer da Tectonossequência de Lago Alto (Neoberriasia-

no), os fluxos de densidade vindos da borda flexural, que antes eram direcionados para a região da Baía de Todos os Santos por um *canyon* axial, pasassem a seguir para sudeste no Eovalanginiano, se depositando no Baixo de Camaçari ao longo da Tectonossequência de Lago Baixo.

Os esforços distensionais produziram um complexo mosaico de blocos basculados NE-SW que gerou caminhos e barreiras para o transporte sedimentar em direção à bacia, determinado por um modelo de propagação lateral do rifte e a conseqüente expansão do seu depocentro (fig. 15b). Com base nas litofácies, geometria dos depósitos e sua localização na bacia, Bueno (2005) classificou os fluxos hiperconcentrados em: congelado (lentes e almofadas de arenitos maciços na borda flexural); confinado (preenchimento turbidítico de *canyon* na zona axial); e não-confinado (conglomerados da borda falhada).

## conclusões

O reconhecimento das diferentes fácies que compõem cada uma das seqüências estratigráficas pôde ser definido pela integração entre a sísmica de reflexão, poços e afloramentos. No caso da Baía de Todos os Santos foram identificadas cinco unidades: UNIDADE - I: depósitos de leques coalescentes relacionados ao Sistema de Falhas

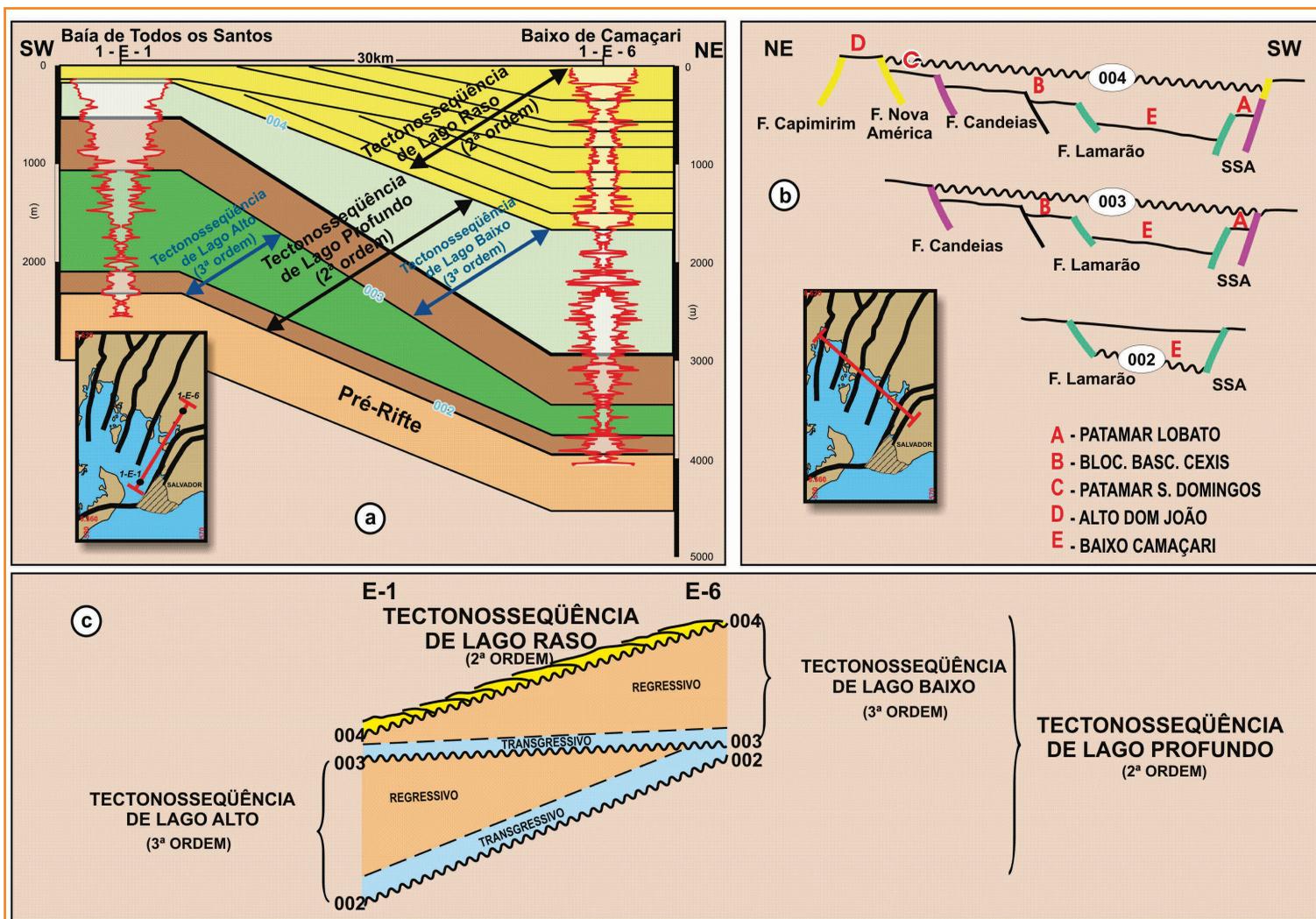


Figura 15 – a) Seção geológica unindo os poços 1-E-1 e 1-E-6 ilustra a inversão dos pontos de máxima subsidência migrando de sul para norte ao longo do Sistema de Falhas de Salvador. b) Seção esquemática representando a evolução do depocentro durante o Berriasiano-Valanginiano, gerando falhas antitéticas mais novas para oeste de modo a acomodar o espaço gerado por ação da borda falhada (propagação lateral do rifte). c) Modelo relacionando a disposição espacial das tectonoseqüências de Lago Alto e Lago Raso que compõem a Tectonoseqüência de Lago Profundo (2ª ordem). Notar a ciclicidade dos tratos transgressivo e regressivo.

Figure 15 – a) Geological section between wells 1 and 6 shows the northward migration of the depocenter (tectonic inversion) through the Salvador Fault System evolution. b) The cartoon represents the lateral rift propagation during the Berrisian-Valanginian ages. Antithetic faults, younger to the west side, compensate the fault border subsidence. c) Stratigraphic model illustrates the High Level Lake and Low Level Lake tectonostratigraphic sequences that belong to the Deep Lake Tectonostratigraphic Sequence (2<sup>nd</sup> order). Note the transgressive/regressive cyclicity.

de Salvador; UNIDADE - II: depósitos de preenchimento de um *canyon*, com sedimentos de tração na base e suspensão no topo; UNIDADE - III: leques sublacustres com retrabalhamento marginal, com geometria de monteforma, compondo com a unidade II um complexo de *canyon-fan*; UNIDADE - IV: depósitos de escorregamento e fluxos de detritos; UNIDADE - V: diápiros de lama formados principalmente por compressão gerada pelos fluxos da unidade IV (fig. 16).

As bacias do tipo rifte produzem, num curto espaço, uma grande variação faciológica, fruto da dinâmica de modificação das condições fisiográficas com o tempo. A frequência com que estas variações ocorrem está intimamente associada à tectônica. No caso da Baía de Todos os Santos esta relação está expressa pelas linhas sísmicas que permitem dividir o pacote sedimentar em tectonostratigraphic sequences, a partir do reconhecimento de discordâncias regionais. Como resultado, o pacote sedimen-

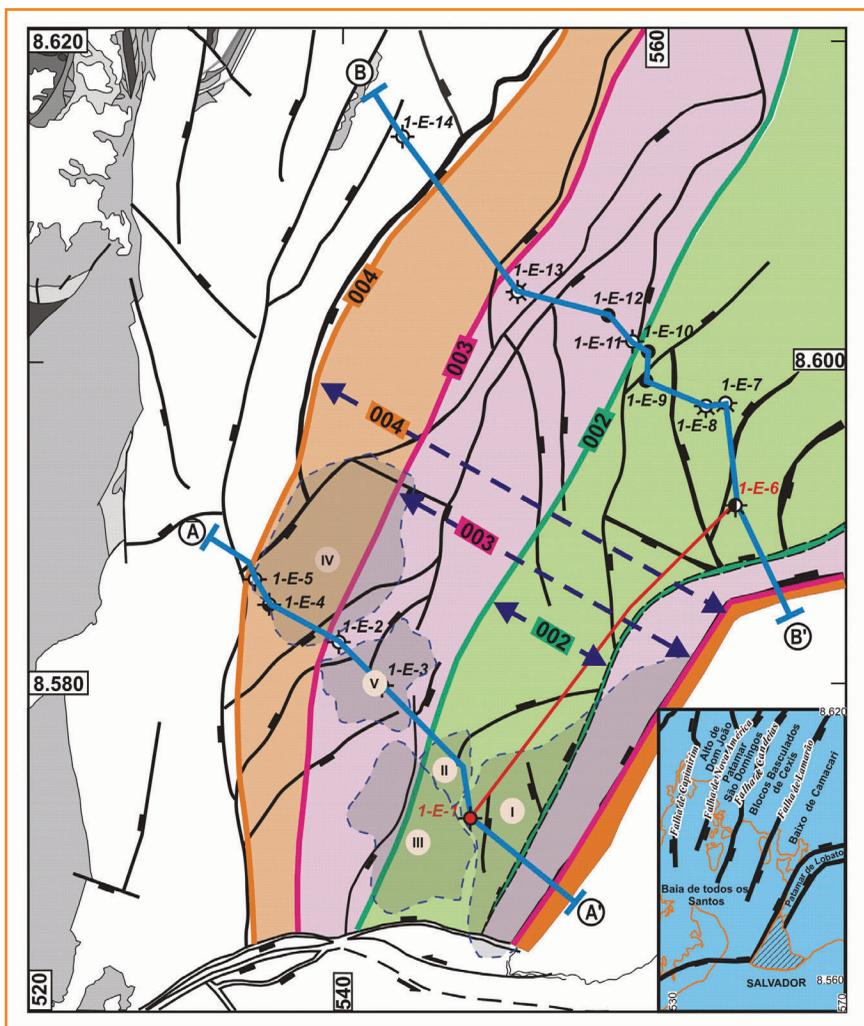


Figura 16

Unidades sísmicas superpostas ao arcabouço estrutural da seção pré-rifte (002, 003 e 004) demonstram o forte controle exercido pela tectônica na sedimentação. Em vermelho está realçado o poço com análise de traço de fissão (1-E-1).

Figure 16

Superposition of the seismic units and the structural framework of the pre-rift section. It means the tectonic influence in the sedimentation. The red dot represents the fission track sample position.

tar depositado entre o Eoberriasiano e o Neovalanginiano foi controlado por dois eventos tectônicos de 2ª ordem, as tectonosseqüências de Lago Profundo e Lago Raso (Fig 15c). A Tectonosseqüência de Lago Profundo, por sua vez, é composta de duas tectonosseqüências de 3ª ordem (Tectonosseqüência de Lago Alto e Tectonosseqüência de Lago Baixo).

De modo geral pode-se afirmar que a borda falhada exerce forte controle sobre a geração de depocentros, enquanto a borda flexural governa os diferentes tipos de fluxos sedimentares. O comportamento cíclico da subsidência ao longo da falha principal gerou um padrão estratigráfico correspondente, isto é, um intervalo transgressivo correlato a instantes de tectônica quiescente, seguido de um regressivo, quando sucessivos terremotos provocaram o surgimento de turbiditos e leques conglomeráticos. O Sistema de Falhas de Salvador sofreu uma migração do seu ponto de

máximo rejeito vertical ao longo do tempo, o que provocou uma inversão na posição do depocentro. Enquanto no Eoberriasiano a máxima isópaca ocorre na Baía de Todos os Santos, no Neoberriasiano a área de máxima subsidência localiza-se no Baixo de Camaçari.

Na margem oposta, a denominada borda flexural, ocorreu o ingresso de diferentes tipos de fluxos sedimentares. Sistemas fluviais que drenaram grande área do embasamento transportaram para esta região grande quantidade de detritos. Estes, perante a instabilidade tectônica, ingressaram na bacia na forma de fluxos hiperconcentrados. O redirecionamento destes sedimentos na bacia está relacionado à presença de falhas antitéticas que acomodaram os efeitos das reativações da falha de borda. Estes eventos catastróficos são responsáveis pela formação de corpos arenosos maciços, pelo espessamento de seção junto ao bloco baixo da falha de borda e pelo desenvolvimento de argilocinese (fig. 17).

O comportamento tectônico implica no aumento gradativo do volume do lago, propiciando um acréscimo da área potencial à deposição de fluxos hiperpicnais junto ao depocentro. Como resultado arenitos depositados em ambiente lacustre são recobertos por lençóis de pelitos que isolam os mesmos de modo a fornecer importantes trapas estratigráficas. Estes folhelhos muitas vezes apresentam teor de matéria orgânica elevado que, associado ao soterramento acentuado do depocentro, podem se constituir em importante rocha geradora de hidrocarbonetos. Sob a ótica da exploração de petróleo a associação das unidades II-III, complexo *canyon-fan*, é a mais favorável para a prospecção de hidrocarbonetos. A unidade IV raramente será um bom reservatório e a unidade I, na fase de lago baixo, passa a ser atraente em função do maior volume arenoso.

## agradecimentos

A todos aqueles que contribuíram de uma forma ou outra para que este trabalho fosse concluído. Em especial aos colegas Armando Santana, José Caixeta, Mário Ernesto e Carlos Varela.

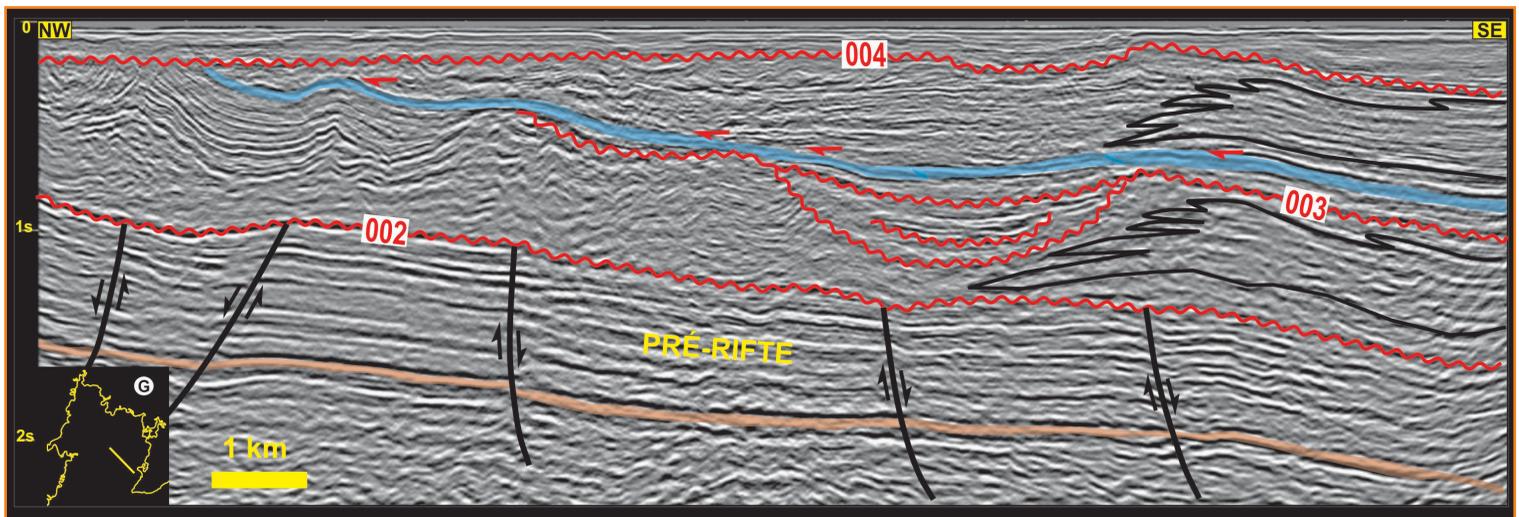


Figura 17 – Na seção sísmica regional G ( mapa de situação vide fig. 3) na Baía de Todos os Santos observa-se de NW para SE um conjunto de dobras, um canyon policíclico e uma cunha clástica superpostos por uma discordância regional que encerra a Tectonossequência de Lago Alto. A Tectonossequência de Lago Baixo inicia-se com uma seção condensada seguida por onlaps de um intervalo transgressivo que culmina na DPR.

Figure 17 – The dip seismic line G (situation see fig. 3) orthogonal to the Salvador Fault System shows the depocenter migration from the Todos os Santos Bay to the Camaçari Low. Note the presence of a fold set from NW to SE, a polycyclic canyon, and fan delta underlie a regional unconformity (High Level Lake Tectonosequence). A condensate section represents the base of the Low Level Lake Tectonosequence. In the upper part, below the DPR surface, occurs a transgressive system.

## referências bibliográficas

ASMUS, H. E.; PORTO, R. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1972, v. 2, p. 67-90.

ASMUS, H. E.; PONTE, F. C. The Brazilian marginal basins. In: NAIRN, A. E. M.; STEHLI, F. G. (Ed.). **The ocean basins and margins: the South Atlantic**. New York: Plenum, 1973. v. 1, p. 87-133.

ASMUS, H. E.; PORTO, R. Diferenças nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. v. 1, p. 225-239.

BUENO, G. V. Modelo evolutivo para um paleocanyon situado em um bacia do tipo rift intracontinental: Bacia do Recôncavo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v. 2, p. 854-868.

BUENO, G. V.; AGLE, H. M.; CUPERTINO, J. A. Feições geológicas típicas de margens passivas presentes em riftes lacustres: Bacia do Recôncavo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. v. 1, p. 270-271.

BUENO, G. V. **Discordância pré-Aratu:** marco tectono-isotópico no rifte afro-brasileiro. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 2 v. Tese (Doutorado).

BUENO, G. V. Diacronismo de eventos no rifte Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 203-229, maio/nov. 2004.

BUENO, G. V. Litofácies induzida por tectônica rifte: Bacia do Recôncavo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10., 2005, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 54.

CAIXETA, J. M.; BUENO, G. V.; MAGNAVITA, L. P.; FEIJÓ, F. J. Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 163-172, 1994.

- CARTER, A.; GALLAGHER, K. Characterizing the significance of provenance on the inference of thermal history models from apatite fission track data: a syntetic data study. In: BERNET, M.; SPIEGEL, C. (Ed.). **Detrital thermochemistry**: provenance analysis, exhumation, and landscape evolution of mountain belts. Boulder: Geological Society of América, 2004. p. 7-23. (Geological Society of América. Special paper, v. 378).
- CHIOSSI, D. S. N. **Estratigrafia de seqüências e condicionamentos tectono-climático num rifte continental (Bacia de Sergipe-Alagoas)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 204 f. Dissertação (Mestrado).
- CUPERTINO, J. A. **Evolução tectono-climática na fase rifte das Bacias de Camamu, parte norte, e sul do Recôncavo, com ênfase na utilização de isótopos estáveis e traço de fissão**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 2 v. Tese (Doutorado).
- DELLA FÁVERA, J. C.; CASTRO, J. C.; SOARES, U. M.; ROSETTI, E. L.; AZAMBUJA, N. C.; RODRIGUES, R.; HASHIMOTO, A. T.; MATSUDA, N.; GUZZO, J.; ALVES, D. B. Estratigrafia de seqüências da Formação Pendência, Bacia Potiguar. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3., 1994, Rio Claro. **Resumos...** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1994. p. 35.
- DELLA FÁVERA, J. C. **Fundamentos de estratigrafia moderna**. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2001. 263 p.
- DIAS, J. L. **Análise estratigráfica e evolução da fase "rift" nas bacias das margens leste e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991. 145 f. Dissertação (Mestrado).
- FROSTICK, L. E.; STEEL, R. J. Sedimentation in divergent plate margin basins. In: FROSTICK, L. E.; STEEL, R. J. (Ed.). **Tectonic controls and signatures in sedimentary successions**. Oxford: Blackwell Scientific, 1993b. p. 111-128. (International Association of Sedimentologists. Special publication, 20).
- GUZZO, J. V. P. **Estratigrafia integrada e paleolimnologia de uma seção de idade Aratu (Eocretáceo) da Bacia do Recôncavo, NE do Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 211 p. Dissertação (Mestrado).
- HAY, W. W. Tectonics and climate. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, v. 85, p. 409-437, 1996.
- LAMBIASE, J. J. A Model for Tectonic Control of Lacustrine Stratigraphic Sequences in Continental Rift Basins. In: KATZ, B. J., (Ed). **Lacustrine basin exploration**: case studies and modern analogs. Tulsa, Okla., American Association of Petroleum Geologists, 1990. p. 265-273. (American Association of Petroleum Geologists. Memoir, 50).
- LE FOURNIER, J.; CHOROWICZ, J.; THOUIN, C.; BALZER, F.; CHENET, P. Y.; HENRIET, J. P.; MASSON, D. G.; MONDEGUER, A.; ROSENDAHL, B. R.; SPY-ANDERSON, F. L.; TIERCELIN, J. J. Le basin du lac Tanganyika - Évolution tectonique et sédimentaire. **Compte Rendu**, v. 301, n. II, p. 1053-1058, 1985.
- MAGNAVITA, L. P.; CUPERTINO, J. A. Concepção atual sobre as bacias do Tucano e Jatobá, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 119-134, 1987.
- MAGNAVITA, L. P. **Geometry and kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift, NE-Brazil**. Oxford: Universidade de Oxford, 1992. 1 v. Tese (Doutorado).
- MAGNAVITA, L. P., DAVISON, I., KUZNIR, N. J. Rifting, erosion and uplift history of the Reconcavo-Tucano-Jatobá Rift, Northeast Brazil. **Tectonics**, Washington, v. 13, n. 2, p. 367-388, 1994.
- MATOS, R. M. D. The northeast brazilian rift system. **Tectonics**, Washington, v. 11, n. 4, p. 766-791, 1992.
- MORLEY, C. K. Variable extension in Lake Tanganyika. **Tectonics**, Washington, v. 7, n. 4, p. 785-801, 1988.
- POSAMENTIER, H. W.; JERVEY, M. T.; VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition I: Conceptual framework. In: WILGUS, C. K. (Ed.) **Sea-level Changes**: an integrated approach. Houston: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 110-124. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 42).
- POSAMENTIER, H. W.; JAMES, D. P. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. In: POSAMENTIER, H. W.; SUMMERHAYES, C. P.; HAQ, B. U.; ALLEN, G. P. (Eds.) **Sequence Stratigraphy and Facies Associations**. Oxford: Blackwell Scientific,

1993. p. 3-18. (International Association of Sedimentologists. Special Publication, 18).

POSAMENTIER, H. W.; ALLEN, G. P. **A model for tectonic control of lacustrine stratigraphic sequences in continental rift basins.** Tulsa, Okla: American Association of Petroleum Geologists, 1994. 89 p. (American Association of Petroleum Geologists, Short Course)

PROSSER, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. In: WILLIAMS, G. D.; DOBB, A. (Eds.). **Tectonics and seismic sequence stratigraphy.** London: Geological Society of London, 1993. p. 35-66. (Geological Society of London. Special Publication, 71).

SANTOS, C. F. **Seqüências estratigráficas, variação do nível do lago e ciclicidade no Andar Buracica (Formação São Sebastião) das bacias do Recôncavo e Tucano Sul, Bahia, Brasil.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. Tese (Doutorado).

SCHOLZ, C. A.; ROSENDAHL, B. R.; SCOTT, D. L. Development of coarse-grained facies in lacustrine rift basins: examples from East Africa. **Geology**, Boulder, Colo., v. 18, p. 140-144, 1990.

SCHOLZ, C. A.; ROSENDAHL, B. R. Coarse-clastic facies and stratigraphy sequences models from lakes Malawi and Tanganyika, East Africa. In: KATZ, B. J. (Ed.) **Lacustrine Basin Exploration: Case Studies and Modern Analogues.** Tulsa, Okla., American Association of Petroleum Geologists, 1990. p. 151-168. (American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 50).

SILVA, H. T. F.; PICARELLI, A. T.; CAIXETA, J. M.; CAMPOS, N. R.; SILVA, O. B.; RIGUEIRA, R. C. **Aspectos evolutivos do Andar Rio da Serra, fase rifte, na Bacia do Recôncavo e a Formação Jacuípe.** Salvador: PETROBRAS. DEXBA, 1989. 3 v. Relatório interno.

SILVA, H. T. F. **Flooding surfaces, depositional elements and accumulation rates – characteristics of the Lower Cretaceous Tectonosequence in the Reconcavo Basin, Northeast Brazil.** Austin: Universidade do Texas, 1993. Tese (Doutorado).

SLOSS, L. L. Sequences in the cratonic interior of North America. **Geological Society of American Bulletin**, Boulder, Colo., v. 74, p. 93-113, 1963.

SZATMARI, P.; MILANI, E. J. Microplate rotation in northeast Brazil during South Atlantic rifting: Analogies with the Sinai microplate. **Geology**, Boulder, Colo., v. 27, n. 12, p. 1115-1118, 1999.

TIERCELIN, J. J. Rift Basin Sedimentation: Responses to Climate, Tectonism and Volcanism. Examples of the East African rift. **Journal of African Earth Sciences**, Oxford, v. 10, n. 1-2, p. 283-305, 1990.

## expanded abstract

The most common geometry present in world-wide continental rift basins is a half-graben composed by flexural and fault borders. This rule is very useful when thinking about infilling rift models, which are the key to predict subsurface reservoirs. While eustasy is the main regulator factor for the open marine sedimentation, extension tectonics is the primary control mechanism over the depositional features in rift basins. Based on the integration of seismic, well and outcrop data, the model described here is characterized by the recognition of different tectonic cycles. Three main pulses are recognized, aged as 002 and 003 (Berriasian) and 004 (Valanginian). These pulses reflect the rift lateral propagation and are responsible for the bottom physiography, as well as for the catastrophic deposition and its spatial positioning inside the basin.

In the Early Cretaceous, the Recôncavo rift basin, Northeastern Brazil, was filled with lacustrine strata from Candeias Formation inter-fingered with conglomerates of Salvador Formation. The basin was segmented into three compartments: northeast, central and south. The last one is the focus of this paper, more precisely the Todos os Santos Bay and Camaçari Low. Strategic outcrops are present in several islands of the bay. They present lithofacies units and their external geometry, which constitute the architecture of the early deep synrift lake stage. The lithofacies were classified as three end members that are related to the source area and the flow type. Three distinct lithofacies may be recognized into the lacustrine shale, varying from lenticular/pillow massive sandstone bodies to turbidite lobes and orthoconglomerate fans.

Specific flexural and fault borders settings play a fundamental role in determining facies assemblages, as well as the nature of the reservoirs. Synsedimentary tectonics combined to the basin asymmetry provides the final arrangement of deep lake clastic sequences, which induce the use of the term tectonosequence. The extensional stress results in a complex NE-SW tilted block mosaic, thus producing paths and barriers to the sedimentary influx. Based on lithofacies texture, deposit geometry and location into the basin, the hyperconcentrated flows were genetically classified in: frozen (massive lens/pillows - flexural border); confined (canyon fill turbidites - axial zone) and unconfined (conglomerates fan - fault border).

Seismic interpretation indicates the presence of five units that were largely controlled by normal faults. By overlapping the seismic facies map on the structural map of the top of the pre-rift sequence and the three rift lateral propagation pulses it was possible to reveal a close relationship between the rift tectonics and the distribution and orientation of seismic units. Unit-I occurs as an elongated belt along the NE-SW trend of the Salvador Fault System. The seismic facies is characterized by sheet-wedge like shape, markedly tilted and basinward eroded by channel action, and filled by onlapping limnic sediments. Unit-II is U shaped in plan - 5.0 km long and 4.0 km wide at mouth, with an average gradient of 1.5o. It is laterally juxtaposed to Unit-I, and its axis has a parallel trend with an underlying synthetic fault block of prerift rocks. The internal configuration is typically onlap filling, that changes upward to flat surfaces. Unit-III is formed by large mounds extending over a broad area between unit-II and Itaparica Island. It is possible to distinguish two internal facies mounds: hummocky facies occupy the central portion and are surrounded by subparallel facies. The upper surface is concordant with continuous reflectors that drape all mounds. Unit-IV is represented by lens and pillows settled in an antithetic fault block of prerift rocks, northwest of Unit-V. A chaotic/free pattern dominates internally and boundaries are continuous. Unit-V is under a NE-SW high of prerift section and presents wavy and contorted patterns internally. Its geometry is cone shaped truncated at the top by a sublacustrine erosion.

The seismic Unit-I is the response of multiphase tectonic activity along the rift border fault system. The product is coalescing conglomerate fans interbedded with basinal shale. Seismic units II - III and IV - V result in the association of two genetic facies. The first is a typical tectonics controlled canyon-fan system and the second represent a mass transport-diapirism process. Unit-IV is interpreted as reworking of unconsolidated sediments from the platform edge into deep basin caused by earthquakes.

Not so common as alluvial fans along multi-phase fault border, massive bodies are often found in stacked succession at the footwall of fault blocks, thus indicating a continued tectonic subsidence of the area, which resulted in a restrict depositional setting which is frequently associated with hinge lines. Wireline logs, cores and outcrops data indicate that these deposits have poor reservoir potential.

Surface and subsurface data analysis were used to determine the time relationship between tectonic motions and depositional features into deep lake environment. The history of the basin filling was strongly affected by the activity of the master fault - Salvador Fault System. A second order Deep Lake Tectonosequence was formed as a consequence of the tectonic intensity, which is composed by two different third order tectonosequences named High Lake (HLT) and Low Lake (LLT), which are formed by two system tracts: a lower transgressive and an upper regressive.

The characteristic features observed in the sequence stratigraphy for divergent margins were identified in an opposite position in the Recôncavo rift basin. Canyon-fan, mounds and slumps are typical features of lowstand system tracts, but they occur in deep rift lake environment. The offlap seismic pattern is usually known over marine platforms although in the Recôncavo it is formed in rift depocenters as a consequence of progressive subsidence close to the faulted border. The last is the difference between halokinesis in divergent basins and argilokinesis in deep rift lake. The first is related to distension in proximal sites and compression in distal ones, the rift onset shows the opposite behavior when catastrophic sediment influx caused lateral stress over a mud mass, therefore resulting in platform reverse faults, ridings and folds towards the basin.

A strike cross section composed by 1-E-1 and 1-E-6 wells, located in Todos os Santos Bay and Camaçari Low, respectively presents a different stratigraphy, despite their similar position with respect to the main fault. HLT thickness increases towards Todos os Santos Bay; but its greatest thickness occurs in Camaçari Low during LLT deposition.

The migration of this depocenter is confirmed by a strike seismic section and correlation with the polyphase border faulting activity that resulted in a tilt of the basement towards SW that gradually progressed towards NE. The syntectonic character of this process is evident by the accumulation of turbidite deposits into Todos os Santos Bay during HLT that moved towards Camaçari Low along LLT deposition area. Our experience shows that it is very important to perform an accurate analysis of the fault border behavior, in order to determine the best turbidite deposition site and to favor stratigraphic trap exploration into rift continental depocenters.

autor author



**José Antonio Cupertino**

E&P - Exploração

Gestão de Portfólio das Bacias do Sudeste

e-mail: [jacgeo@petrobras.com.br](mailto:jacgeo@petrobras.com.br)

**José Antonio Cupertino** formado em geologia pela UNISINOS em 1978, ingressou na Petrobras em 1980 como Geofísico pelo antigo Distrito de Exploração da Bahia, ali permanecendo até 1990. A partir de então trabalhou no Núcleo de Exploração da Bacia do Paraná de onde saiu para obter o título de Doutor em Geociências na UFRGS, em 2000. Especialista em Estratigrafia, com ênfase em geocronologia, atualmente trabalha no EP-EXP, Gestão de Portfólio das Bacias do Sudeste (GPE/SSE), onde exerce a função de consultor técnico e participa de projetos de integração regional.