

ANÁLISE CRONOESTRATIGRÁFICA DE RIFTS INTRACONTINENTAIS: REFLEXÕES SOBRE OS CONCEITOS E A NOMENCLATURA EM USO

CHRONOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS OF RIFT BASINS: REFLECTIONS ON THE EMPLOYED CONCEPTS AND TERMINOLOGY

Hercules Tadeu F. da Silva¹

RESUMO - Analisa-se, aqui, o resultado da aplicação de modelos cronoestratigráficos desenvolvidos para bacias marginais marinhas em *riffts* intracontinentais. A adaptação desses modelos para aplicação em *riffts* intracontinentais e a terminologia empregada, traduzida da língua inglesa, tem gerado discussões entre os estudiosos desta classe de bacias. Faz-se necessário sistematizar a terminologia utilizada atualmente, bem como rever os conceitos que norteiam os modelos cronoestratigráficos aplicados a *riffts* intracontinentais, que devem enfatizar como mecanismos geradores de seqüências, o tectonismo e as flutuações climáticas em intervalos temporais que podem alcançar até dezenas de milhões de anos. Propõe-se a utilização dos termos **sistemas de nível alto**, **sistemas de nível transgressivo** e **sistemas de nível baixo** como equivalentes a *highstand*, *transgressive* e *lowstand systems tracts*, respectivamente. Em cada um desses sistemas ocorrem condições variáveis, controladas por tectonismo e flutuações climáticas, para a formação de reservatório, gerador e selo, parâmetros básicos para a ocorrência de acumulações de petróleo.

(Originais recebidos em 17.06.94.)

ABSTRACT - This paper deals with the analysis of the results obtained when applying to rift basins the chronostratigraphic models developed for marine marginal basins. Both the models that were adapted to be used in rift basins and the correspondent terminology, a literal translation from English, have generated discussion among those who study these basins. The chronostratigraphic models applied to intracontinental rift basins should emphasize active tectonics and climatic changes as the main forcing mechanisms responsible for sequences generation, within time intervals that may attain tens of million years. Terms in portuguese are proposed for system tracts. Variable conditions controlled by tectonism and climatic fluctuations are responsible for the development of the reservoir, source rock, and seal that constitute the basic parameters required for petroleum accumulation.

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

1 - INTRODUÇÃO

Os conceitos da **Sismoestratigrafia** apresentados à comunidade geológica na década de 70 (Vail *et al.* 1977; Brown e Fisher, 1977, entre outros) resultaram em uma revolução na análise de bacias sedimentares. Esses conceitos foram inicialmente propostos para bacias marginais marinhas; todavia, seu sucesso foi tão grande, que os mesmos foram ajustados para outras classes de bacias. A Sismoestratigrafia recebeu forte reforço na década de 80, com a incorporação de uma base sedimentológica

mais firme, pela criação da Estratigrafia de Seqüências (Vail, 1987; Van Wagoner *et al.* 1990).

Vail *et al.* (1977) observaram evidências de *onlap* sobre discordâncias regionais em seções sísmicas *dip* através de bacias de margem passiva. Flutuações do nível do mar foram consideradas como mecanismo principal no desenvolvimento de seqüências deposicionais balizadas por discordâncias de caráter regional (fig. 1).

Os conceitos da Sismoestratigrafia representaram marco importante para o estudo de bacias sedimentares, elevando a importância da interpretação sísmica como

1 - E&P-SEAL/GEXP/GEINT, Rua Acre, 2504, 49080-010, Siqueira Campos, Aracaju, SE, Brasil.

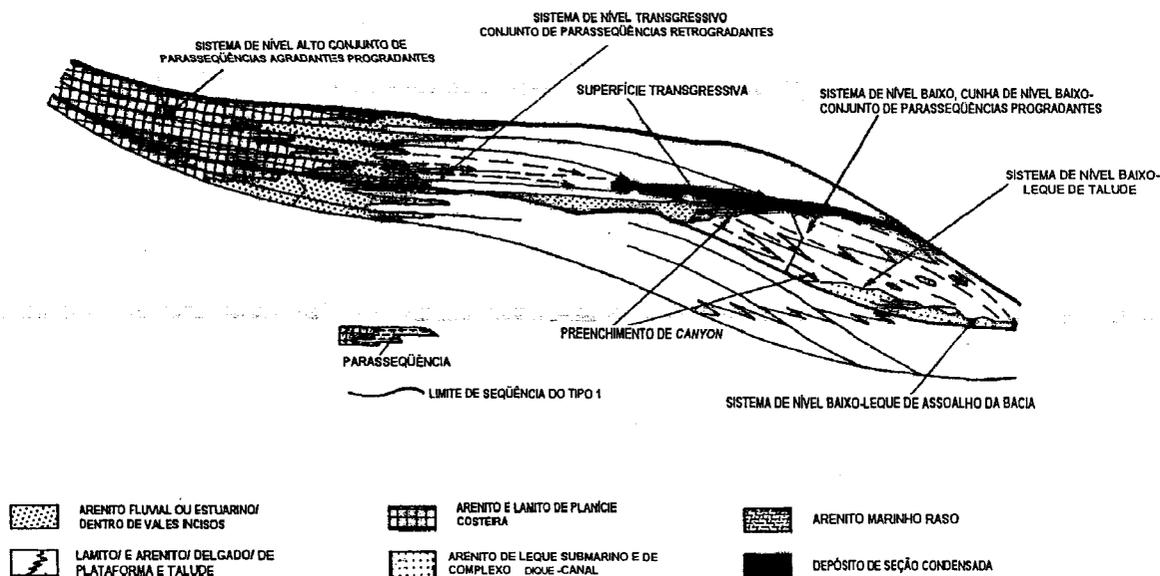


Fig. 1 - Padrões estratiais encontrados em uma seqüência do tipo I em bacia com quebra de plataforma. De acordo com Van Wagoner et al. (1990).
Fig. 1 - Stratial patterns found in a type I sequence in a basin with shelf break. According to Van Wagoner et al. (1990).

ferramenta exploratória. Esse modelo, contudo, tem levantado muita controvérsia no que se refere ao papel representado pela eustasia no controle da distribuição faciológica, na natureza dos limites de seqüências e no desenvolvimento de um arcabouço global de pacotes sedimentares cíclicos (Haq et al. 1988; Miall, 1991). O modelo de Vail et al. (1977) representa uma reciclagem das idéias de Sloss (1963, por exemplo) e de Frazier (1974) somada às experiências pessoais de Peter Vail et al. em diferentes bacias em todo o mundo.

Na realidade, além do modelo proposto por Vail et al., existem outros dois modelos, o de Frazier e o de Galloway, que incorporam discussões importantes no que se refere aos mecanismos controladores de seqüências.

O modelo de Frazier (1974) baseia-se no estudo de depósitos quaternários da porção noroeste do Golfo do México. Naquele artigo, o autor propõe as bases que governam a sedimentação siliciclástica em bacias sedimentares: 1) sedimentos siliciclásticos devem ser trazidos até a margem da bacia por sistemas fluviais; 2) o preenchimento de uma bacia é alcançado pela repetição de intervalos deposicionais e não-deposicionais; 3) em uma bacia sendo preenchida por sedimentos siliciclásticos, todos os pontos em uma superfície hiatal são diacrônicos. Um instante de tempo, contudo, está presente em cada ponto. Um pulso de deposição localizada caracteriza um intervalo temporal denominado por Frazier de **evento deposicional** (fig. 2).

Galloway (1989) definiu a **seqüência estratigráfica genética** como o produto de um episódio deposicional (fig. 3). Assim, uma seqüência genética consistiria no arranjo tridimensional de sistemas deposicionais geneticamente relacionados.

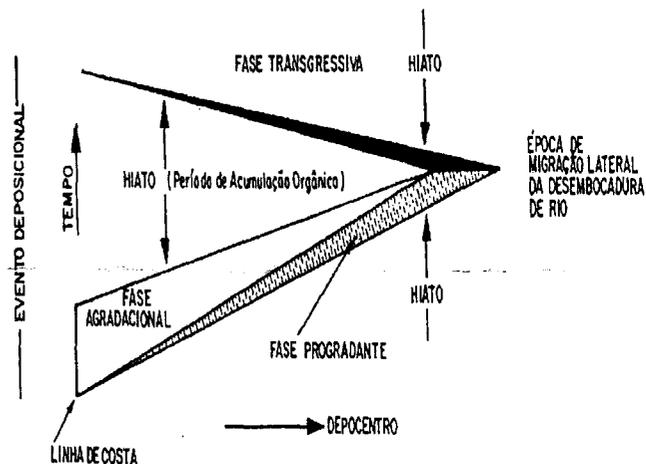


Fig. 2 - Diagrama tempo-distância apresentando as características de um evento deposicional. Observe-se que, durante a progradação, o hiato temporal é maior em direção ao depocentro. O inverso ocorre quando existe transgressão da superfície deposicional. De acordo com Frazier (1974).

Fig. 2 - Time-distance diagram showing the characteristics of a depositional event. Note that during progradation the time gap is greater towards the depocenter. The opposite situation occurs when there is a transgression of the depositional surface. According to Frazier (1974).

Uma diferença importante entre esse modelo e o de Frazier em relação àquele proposto por Vail et al. é a natureza dos limites das seqüências. Tanto Frazier como Galloway utilizam marcos estratigráficos como limites de seqüências, desde que esses horizontes representem períodos de máxima inundação da bacia deposicional. Já no modelo de Vail, os limites de seqüências são marcados por discordâncias regionais e suas concordâncias relativas. Pelo modelo de Galloway, admite-se também que uma seqüência genética é o

resultado da interação entre variações do nível do mar, subsidência da bacia e influxo sedimentar.

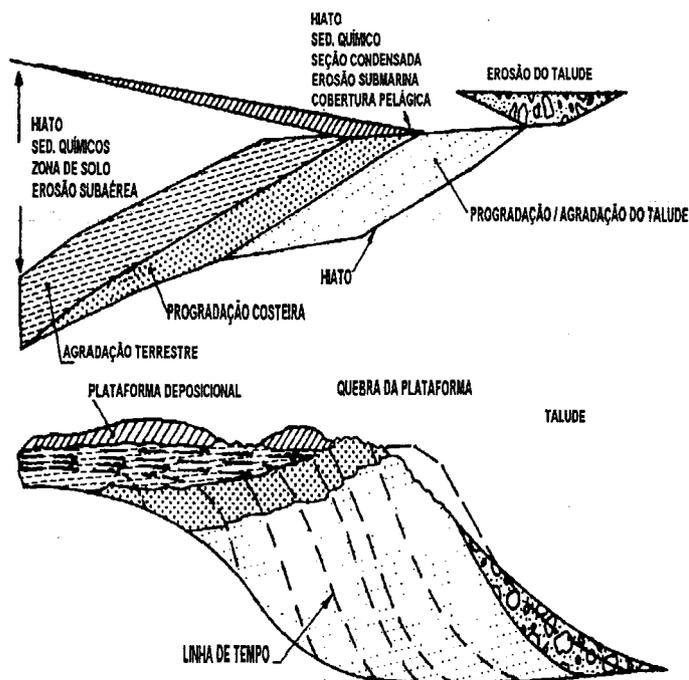


Fig. 3 - Arquitetura estratigráfica idealizada de um episódio deposicional simples e seqüência estratigráfica genética resultante. Diagrama superior (episódio) demonstra o tempo na escala vertical; diagrama inferior (seqüência), o arcabouço estratigráfico, e associação de fácies resultante (eixo vertical representa profundidade). De acordo com Galloway (1989).

Fig. 3 - Idealized stratigraphic architecture for a simple depositional event and the resulting genetic stratigraphic sequence. Top diagram (depositional episode) shows the time in a vertical scale. Bottom diagram (genetic sequence) shows the stratigraphic framework and the resulting facies association (vertical axis represents depth). According to Galloway (1989).

Ao se aplicar um modelo desenvolvido para determinado tipo de bacia a outras com características diferentes, corre-se o risco de criar situações forçadas (Walker, 1990). No caso das bacias *rift* intracontinentais, foco desta discussão, admite-se que tectonismo e flutuações climáticas sejam os principais mecanismos responsáveis pela geração de seqüências (Scholz *et al.*, 1990; Silva, 1993, entre outros). O tectonismo é responsável: 1) pela gênese da depressão onde a bacia se instalará; 2) pelo modelamento do arcabouço estrutural da bacia; 3) pelo controle dos principais sítios de acumulação de sedimentos; 4) pela criação de barreiras e rotas preferenciais para entrada de sedimentos na bacia; 5) pelo controle do relevo na bacia de drenagem. As flutuações climáticas controlam: 1) o volume de água e de sedimentos que entram na bacia; 2) o tipo de sedimento gerado, seja detrítico, biológico ou químico; 3) a precipitação pluviométrica e cobertura vegetal, que por sua vez, controlam os cursos fluviais.

Possivelmente, o trabalho de Ribeiro (1991) foi o pioneiro na aplicação dos conceitos sismoestratigráficos a bacias *rift* intracontinentais brasileiras. O referido autor

reconheceu na Bacia do Recôncavo duas grandes seqüências: 1) a Seqüência Sísmica Inferior, constituída por depósitos dos andares Dom João e Rio da Serra Inferior; 2) Seqüência Sísmica Superior, que engloba estratos dos subandares Rio da Serra Médio e Superior e dos andares Aratu, Buracica e Jiquiá.

A seguir, apresentam-se os principais modelos ou conceitos aplicados a *rifts* intracontinentais, com ênfase em exemplos brasileiros, bem como indicam-se possíveis pontos falhos ou restritivos que esses modelos apresentam.

2 - MODELOS APLICADOS A BACIAS DO TIPO RIFT INTRACONTINENTAL

2.1 - Lagos Tanganica e Malawi, Leste da África

O estudo faciológico desenvolvido por Scholz *et al.* (1990) foi realizado com base em sísmica de alta resolução. Eles concluíram que, durante fases de nível de base alto, a deposição de fácies grossas é dominada por processos turbidíticos (fig. 4), sendo que nas encostas dos semigrabens ocorrem processos gravitacionais (*slumps*, *slides* e fluxos de detritos).

Os rios que entram na bacia via áreas plataformais podem desenvolver deltas progradação expressivos. Durante fases de nível (de base) baixo, fácies grossas acumulam-se em canais fluviais nas margens da bacia, em *fan* deltas adjacentes à falha de borda e em deltas progradação de pequenas dimensões (fig. 4).

Aspectos restritivos a esse modelo: foi aplicado somente aos depósitos mais superficiais dos lagos Tanganica e Malawi, e toda a base de dados está restrita a dados sísmicos, não envolvendo informações de afloramentos ou de poços. Desse modo, a generalização desses conceitos, oriundos de intervalos temporais pequenos, pode-se mostrar de difícil aplicação a bacias onde toda ou a maior parte da fase *sin-rift* estiver preservada.

2.2 - Estratigrafia de Seqüências da Formação Pendência, Bacia Potiguar

Della Fávera *et al.* (1992) analisam a seção *sin-rift* da Bacia Potiguar, na qual identificaram quatro seqüências balizadas por discordâncias e suas concordâncias relativas dentro da Formação Pendência. São reconhecidos tratos de sistemas de fase de lago profundo, de fase de lago raso e de fase de lago assoreado.

Os autores aplicaram os conceitos do modelo de Vail (*op. cit.*) no estudo da Formação Pendência. Dois pontos que merecem reflexão mais aprofundada são aqueles associados aos limites de seqüências, conforme definido por Della Fávera *et al.*, e à nomenclatura dos

tratos de sistemas da Formação Pendência. Esta reflexão constará do item 3 deste artigo.

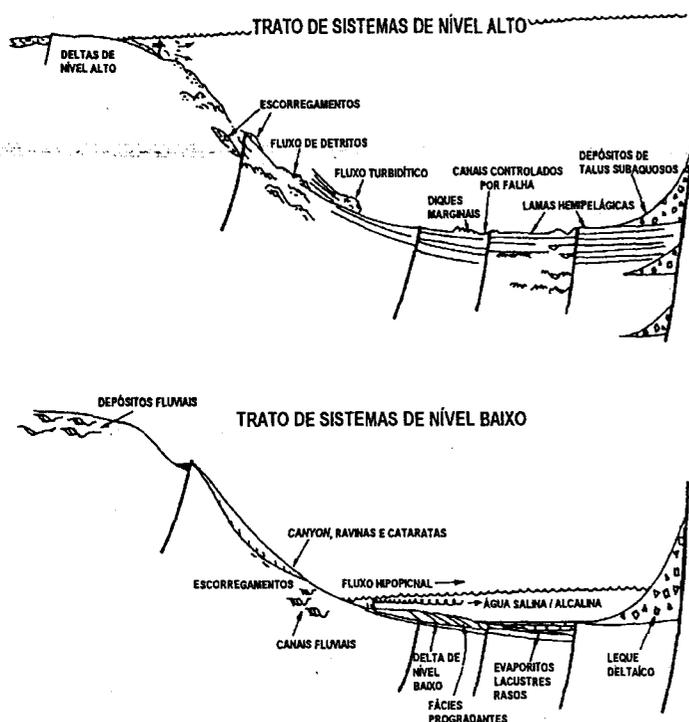


Fig. 4 - Modelo generalizado de um meio *graben*, apresentando os principais componentes de tratos de sistemas de nível alto e baixo. Modificado de Scholz et al. (1990).

Fig. 4 - Generalized model of a half *graben*, showing the major components of highstand and lowstand system tracts. Modified after Scholz et al. (1990).

2.3 - Modelo da Tectono-seqüência

Silva (1993) propôs um esquema cronoestratigráfico para *riffts* intracontinentais. Seu laboratório de estudos foram os depósitos da fase *sin-rift* da Bacia do Recôncavo. O autor justifica a introdução de nomenclatura nova, pois a existente, criada para bacias marginais marinhas, não abrange, de modo claro, o empilhamento vertical de fácies em uma bacia tectonicamente ativa. O autor procura mostrar que tectonismo e clima são os principais mecanismos que controlam a geração de seqüências em *riffts* intracontinentais.

Silva (*op.cit.*) apresenta três elementos que perfazem seu modelo:

1. *tectono-seqüência* - define o arranjo espacial e temporal de estratos geneticamente relacionados, depositados durante uma fase tectônica específica. Uma tectono-seqüência é balizada por discordâncias regionais (fig. 5). Essas discordâncias delimitam estratos gerados durante fases tectônicas distintas, servindo como pontos

referenciais relevantes no desenvolvimento de um esquema cronoestratigráfico para bacias sedimentares;

2. *intervalo tectono-deposicional* - designa um pacote estratigráfico que compreende depósitos geneticamente relacionados, o qual caracteriza um período tectônico distinto dentro de uma fase tectônica específica de uma bacia (fig. 5). Um intervalo tectono-deposicional é balizado por marcos estratigráficos;

3. *episódio tectono-deposicional* - define depósitos geneticamente relacionados criados durante um período construtivo (de ingresso sedimentar) na história de uma bacia. Um episódio tectono-sedimentar também é balizado por marcos estratigráficos e assemelha-se a uma parasseqüência em termos de duração temporal.

Uma tectono-seqüência ocorre em uma escala de tempo equivalente a uma fase tectônica (*sin-rift*, de subsidência termal etc; fig. 6); um intervalo tectono-deposicional pode ser analisado na escala de ocorrência de sistemas deposicionais; finalmente, um episódio tectono-deposicional ocorre na escala temporal de um reservatório de petróleo (fig. 6). Mecanismos alocíclicos (Beerbower, 1964) seriam os responsáveis pela geração de tectono-seqüências e de intervalos tectono-sedimentares. No caso dos episódios tectono-deposicionais, a participação de mecanismos autocíclicos seria importante.

O trabalho de Silva (1993) é principalmente apoiado por dados de poços. No modelo proposto pelo autor, são discutidos conceitos, apresentada nova terminologia para *riffts* intracontinentais, e é aplicado ao pacote *sin-rift* da Bacia do Recôncavo, onde o autor interpreta sistemas deposicionais, áreas-fonte, principais vias de ingresso de sedimentos na bacia e sucessão vertical dentro do que se denominou de tectono-seqüência do Cretáceo Inferior da Bacia do Recôncavo. Esse modelo, entretanto, é incompleto por não abordar mais aprofundadamente tratos de sistemas dentro da tectono-seqüência proposta.

2.4 - Modelo de Prosser

Prosser (1993) reconhece a influência do tectonismo tanto na distribuição espacial como na evolução temporal de sistemas deposicionais presentes em bacias limitadas por falhamentos ativos. Propõe o termo *tectonic systems tract* para caracterizar arranjo de sistemas deposicionais, cujo desenvolvimento e evolução são controlados por tectonismo. Isso se opõe aos *eustatic systems tracts* (Posamentier e Vail, 1988) onde a faciologia é dominada por flutuações do nível do mar.

De acordo com a autora, fases distintas na evolução de um *rift* (tratos de sistemas tectônicos) podem ser reconhecidas com base em sistemas deposicionais e expressões sísmicas associadas, sendo designados *rift* inicial; *clímax do rift*; *pós-rift* imediato e *pós-rift* tardio (fig. 7).

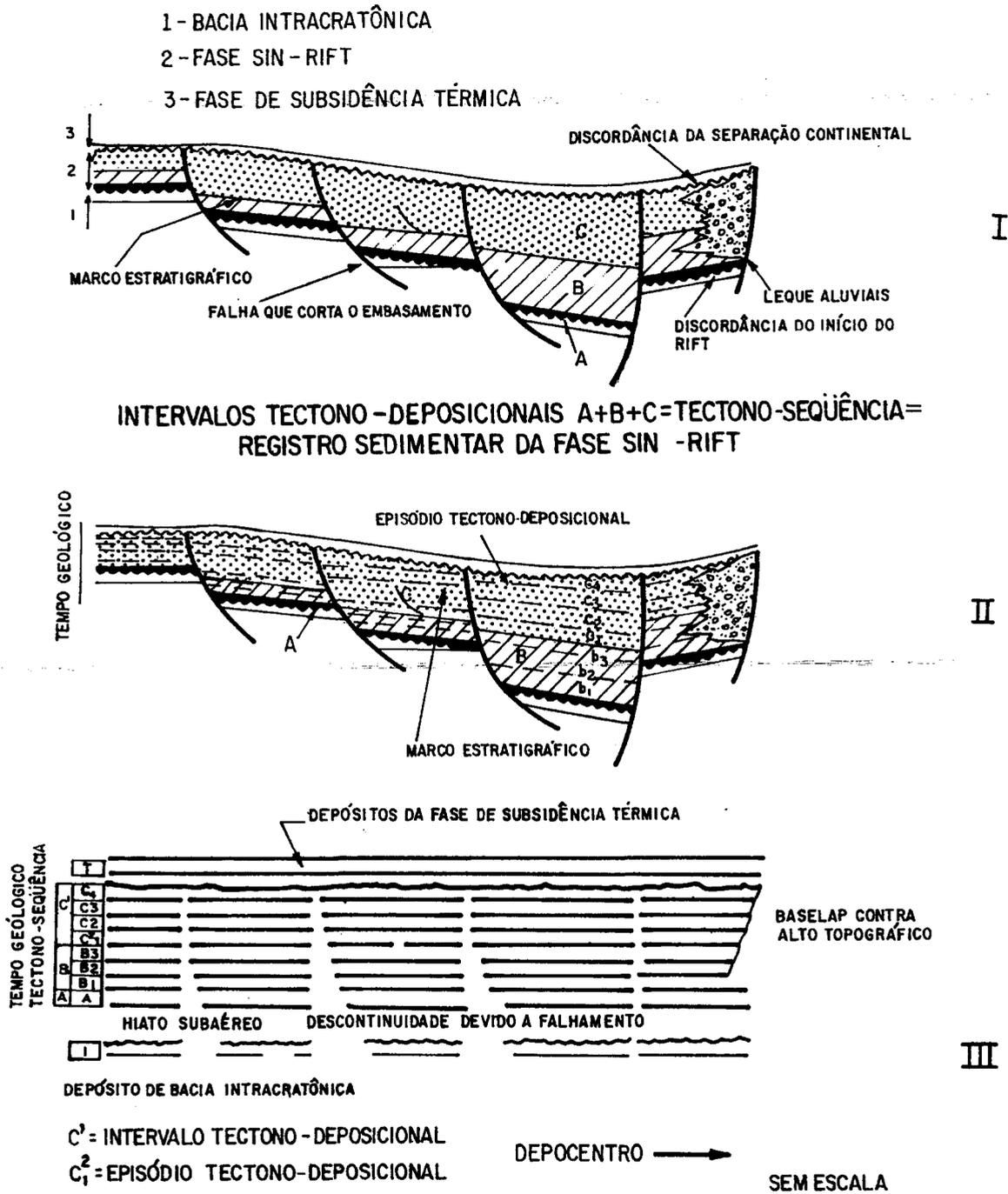


Fig. 5 - Seção geológica ao longo do mergulho deposicional de um *rift* intracontinental demonstrando uma tectono-sequência hipotética e sua relação com intervalos e episódios tectono-deposicionais (I e II). O diagrama cronoestratigráfico da seção geológica é mostrado em III. De acordo com Silva (1993).

Fig. 5 - Geological section along the depositional dip of a *rift*, showing a hypothetical tectono-sequence and its relation with intervals and tectono-depositional events (I and II). The chronostratigraphical diagram of the geological section is shown in III. According to Silva (1993).

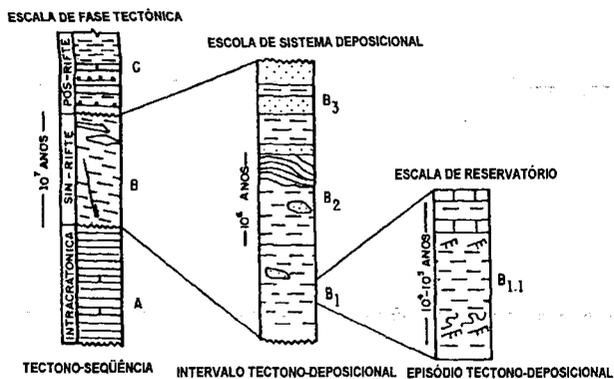


Fig. 6 - Diferentes escalas associadas aos elementos hierárquicos do modelo de Silva (1993).

Fig. 6 - Different scales associated with the hierarchical elements of the model proposed by Silva (1993).

Trata-se de um modelo elegantemente apresentado. A base de dados mostrados pela autora, entretanto, é essencialmente sísmica. Desse modo, a incorporação de dados de poços pode confirmar ou trazer modificações ao esquema proposto.

uma tectono-seqüência pode ser definida como "seqüências deposicionais que representam episódios tectono-sedimentares de terceira ordem na carta de ciclos da Exxon, ou seja, um evento deposicional com até 10 milhões de anos de duração. No entanto, as tectono-seqüências e os conjuntos de seqüências que as compõem possuem origem associada a flutuações do nível do lago, a qual apresentou forte influência climática, e do influxo sedimentar. Estas seqüências variam de sexta até quarta ordem de grandeza, ou seja, de alguns milhares a centenas de milhares de anos".

No trabalho de Bueno *et al.* (1994), o reconhecimento de sismofácies e sua correlação com fácies sedimentares demonstrou ser uma tentativa adequada e original para o tratamento do pacote estratigráfico analisado (sismofácies *versus* eletrofácies *versus* litologia).

Alguns pontos que podem gerar discussão, quando associados ao modelo proposto, são: 1) os autores utilizaram a mesma terminologia de Silva (1993) para designar o elemento de primeira ordem de seu esquema cronoestratigráfico, isto é, tectono-seqüência, mas com significado diferente, o que pode gerar confusão; 2) a definição da tectono-seqüência dos autores não é clara quanto aos seus limites e o que os mesmos representam. Parece tratar-se de uma seqüência deposicional, que, aplicada a um *rift*, é, então, denominada tectono-seqüência; 3) é confusa a associação de tectono-seqüências e de conjuntos de seqüências, conforme proposta pelos autores; 4) utilizam a mesma terminologia de Della Fávera *et al.* (1992) na análise dos ambientes deposicionais (trato de sistemas de fase de lago profundo, de lago raso e de lago assoreado).

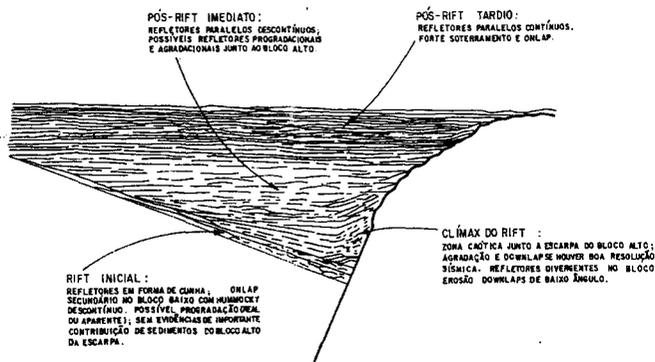


Fig. 7 - Seção transversal idealizada através de um *rift* intracontinental, onde cada trato de sistemas tectônicos pode ser identificado. As expressões sísmicas idealizadas de cada um dos tratos de sistemas está sumarizada no texto da figura. Modificado de Prosser (1993).

Fig. 7 - Idealized cross-section for a rift, where each tectonic system tract may be identified. The idealized seismic reflections for each system tract are summarized in the text of the figure. Modified after Prosser (1993).

2.5 - Modelo da Bacia do Tucano

Dentro da análise regional da Bacia do Tucano, Bueno *et al.* (1994) também propuseram um modelo de seqüências por meio do estudo de sismofácies. Os autores reconheceram quatro tectono-seqüências dentro da fase *sin-rift* da bacia. A definição desses autores para o termo tectono-seqüência é diferente daquela proposta por Silva (1993). De acordo com Bueno *et al.* (1994),

3 - ANÁLISE DE ALGUNS CONCEITOS E TERMINOLOGIA UTILIZADOS EM RIFTS INTRACONTINENTAIS

3.1 - Quanto à Natureza dos Limites de Seqüências

Ao longo de margens divergentes, discordâncias regionais separam rochas depositadas sob diferentes regimes tectônicos (Uchupi e Emery, 1991). As discordâncias do início do *rift* (*rift onset unconformity*; Falvey, 1974) e da separação continental (*breakup unconformity*; Falvey, 1974), reconhecidas em diferentes bacias *rift* do mundo, assinalam importantes mudanças de fases tectônicas, que resultam da evolução de placas litosféricas ao longo do tempo geológico. As seqüências balizadas por discordâncias, conforme definidas por Sloss para bacias intracratônicas (Sloss, 1963; 1988), representam outro exemplo de discordâncias regionais que limitam pacotes sedimentares.

Superfícies de inundação marinhas ou lacustres também constituem candidatos naturais ao papel de limites de seqüências. Frazier (1974) relatou que as superfícies de inundação marinhas são feições cronoestratigraficamente relevantes porque indicam mudança no estilo do preenchimento sedimentar. Xue e Galloway (1991) sugeriram que fases de máxima inundação marinha são caracterizadas por baixo aporte de sedimentos e que essas podem sugerir períodos de reorganização da paleogeografia de uma bacia. Silva (1993) sugere que os marcos estratigráficos que balizam os intervalos tectono-deposicionais da fase *sin-rift* da Bacia do Recôncavo constituem horizontes cronologicamente relevantes, que limitaram períodos distintos de atividade tectônica.

Cartwright *et al.* (1993) discutem a extensão lateral dos limites de seqüências. Quão regionais eles são? De acordo com os autores, *onlap*, *downlap* e *toplap* lateralmente significativos devem ser raros no registro geológico. Provavelmente, essas superfícies representam níveis de descontinuidades (uma série de superfícies intimamente relacionadas e restritas espacialmente), que se fundem em uma única zona de condensação estratal. Se os dados sísmicos forem de baixa qualidade, essas superfícies múltiplas podem ocorrer como superfície única, que, aparentemente, é correlacionada por grandes distâncias. Isto pode acarretar problemas na construção de um arcabouço cronoestratigráfico confiável para determinada bacia, pois superfícies de correlação aparentes podem cruzar linhas de tempo e invalidar o esquema cronoestratigráfico.

De acordo com Cartwright *et al.* (1993), a aparente continuidade regional de superfícies limitantes de seqüências, freqüentemente, decorre da necessidade de o intérprete subdividir e mapear intervalos estratigráficos menores dentro do pacote sedimentar. Desse modo, a aparente continuidade lateral de superfícies discordantes é questionável. Assim, segundo aqueles autores, deveria se optar pela utilização de superfícies estratais de máxima continuidade lateral (aquelas relacionadas a eventos de máxima inundação da bacia; Galloway, 1989) e não por superfícies estratais de continuidade limitada.

Um meio de avaliar a confiabilidade de determinada superfície cronoestratigráfica limitante de uma seqüência é a utilização integrada de seções sísmicas e de dados de poços (*dipmeter*, perfil sônico). Essas informações pontuais, acrescidas da análise litológica (litologia, granulometria, estruturas típicas, presença de paleossolo, marcas de raízes etc.) e paleontológica do intervalo que engloba tal superfície, podem conferir maior credibilidade ao horizonte escolhido como limite de seqüência.

Um perfil geológico transversal ao longo de uma bacia *rift* revela dois compartimentos tectônicos distintos: 1) a margem flexural, e 2) o depocentro. O primeiro é

caracterizado por baixas taxas de subsidência, falhamento de pequeno rejeito, baixo potencial de acomodação (Jervey, 1988), erosão e *bypass* sedimentar. O segundo compartimento, por sua vez, é caracterizado por altas taxas de subsidência, falhamentos com grandes rejeitos, alto potencial de acomodação, sendo o sítio deposicional com maior probabilidade de preservação de sedimentos (fig. 8).

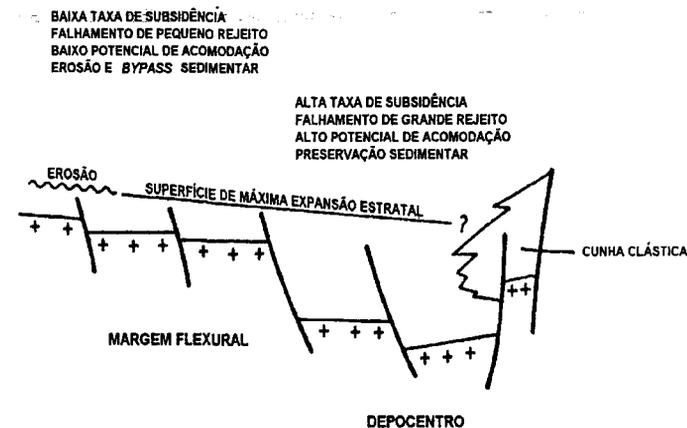


Fig. 8 - Perfil transversal através de um *rift* intracontinental. As características da margem flexural fazem com que esta seja uma região sujeita a *bypass* sedimentar e erosão. Observe-se que a concordância relativa pode ocupar a maior parte de superfície deposicional da bacia *rift*.

Fig. 8 - Dip cross section through an intracontinental rift basin. The flexural margin is characterized by sediment bypass and erosion. Observe that the relative conformity related to erosion on the flexural margin may cover most of the depositional area of the rift basin.

A análise sismoestratigráfica de bacias marginais marinhas parte do reconhecimento das superfícies erosionais de caráter regional e de suas concordâncias relativas, ou seja, a superfície erosional é reconhecida em áreas mais rasas e traçada em direção ao talude/planície abissal das bacias. Nessas áreas, sujeitas a maiores taxas de subsidência e com maior lâmina d'água, a discordância regional passa lateralmente a uma concordância relativa. Utilizando-se a mesma metodologia para a análise de bacias do tipo *rift*, tenta-se, inicialmente, buscar as discordâncias na margem flexural do *rift* e traçá-las em direção ao depocentro da bacia. Mas qual discordância será selecionada se a margem flexural está, de modo geral, sempre sujeita à erosão e *bypass* sedimentar? Qual superfície erosiva representa o limite entre padrões sísmicos diferentes, associados a importantes mudanças no binômio bacia de drenagem/bacia deposicional?

Muitas vezes o intérprete de *rifts* intracontinentais, para subdividir o pacote sedimentar em seqüências, tem que, primeiramente, identificar a concordância relativa e depois correlacioná-la à erosão associada, ou seja, o caminho é inverso àquele utilizado para bacias marginais marinhas. O intérprete deve ficar atento a essas peculiaridades, pois, neste caso, a concordância relativa

ao longo de uma seção sísmica *dip* pode ocupar de 70% a 80% da superfície da bacia (fig. 8). Desse modo, o que é mais importante como limite de seqüência, o evento discordante ou a concordância relativa?

Finalizando, é importante observar que, durante fases de inundação da superfície de uma bacia, o aporte sedimentar é mínimo, e, nas margens dessa bacia, erosões ou superfícies do tipo ravinamento são passíveis de ocorrer (Galloway, 1989, Swift *et al.* 1991). Isso mostra que feições erosivas também se desenvolvem durante fases de nível de base alto.

3.2 - Quanto à Utilização da Expressão *Flutuações Eustáticas do Nível do Lago*

Tem-se observado a utilização da expressão "flutuações eustáticas do nível do lago" na análise de *rifts* intracontinentais (por exemplo, Della Fávera *et al.* 1992). O Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa (Ferreira, 1986) define eustasia como *variação do nível dos mares, causada pelo aumento da quantidade de água (degelo nos pólos), ou por motivos tectônicos do fundo do mar, ou pelo acúmulo progressivo de sedimentos*. O Glossário de Geologia (Bates e Jackson, 1987) define eustasia como o *regime mundial do nível do mar e suas flutuações, causadas por mudanças absolutas na quantidade de água do mar, isto é, por flutuações da capa de gelo continental*. Ambas as definições demonstram que a expressão eustasia é aplicada a **bacias marinhas**. Durante épocas de formação de capa de gelo polar, há predomínio de fases climáticas áridas, que, por sua vez, influenciam no rebaixamento do nível dos lagos. O contrário também parece ser verdade. Ademais, nem sempre é clara a influência de bacias marinhas no desenvolvimento de corpos d'água lacustres (Shanley e McCabe, 1994). Assim, a utilização da expressão eustasia para lagos tectônicos, por ser incorreta e trazer confusão, é indesejável.

O que se propõe é que as expressões eustasia ou variações ou flutuações eustáticas fiquem restritas a corpos d'água marinhas. No caso de sistemas límnicos, sugere-se utilizar as expressões flutuações ou variações do nível do lago.

3.3 - Quanto aos Tratos de Sistemas

Cohen (1990) reconheceu três classes principais de drenagens para o Lago Tanganica: 1) margem da plataforma; 2) margem axial; 3) margem do escarpamento. O primeiro tipo está associado à região flexural da bacia. A drenagem da margem axial é aquela que ocorre ao longo dos depocentros (regiões de alta

subsidiência). Finalmente, a drenagem do escarpamento é aquela relacionada ao alto topográfico do sistema de falhas da borda da bacia. Associadas às duas primeiras classes de drenagens, desenvolvem-se cursos fluviais com bacias de drenagem de médio a grande porte. Por estar ligada a uma área com gradientes íngremes, as drenagens ligadas à margem do escarpamento possuem reduzidas bacias de drenagem.

Brown e Fisher (1977) definiram trato de sistemas como a ligação entre sistemas deposicionais contemporâneos. Van Wagoner *et al.* (1990) utilizaram o termo trato de sistemas para designar as três subdivisões dentro de cada seqüência do tipo I: de nível (de base) baixo (*lowstand*), de nível transgressivo (*transgressive*) e de nível alto (*highstand*). De acordo com Van Wagoner *et al.* (*op.cit.*), o trato de sistemas é definido objetivamente com base nos tipos de superfícies limitantes, sua posição dentro da seqüência, e com base no padrão de empilhamento vertical. Assim, o início da deposição de um trato de sistemas é função da interação entre eustasia, suprimento sedimentar e tectonismo. No caso de *rifts* intracontinentais, o desenvolvimento de um trato de sistemas seria função da atividade tectônica e de flutuações climáticas.

O termo "trato" na língua inglesa significa área, região, extensão, espaço (Pietzschke e Wimmer, 1986). Na língua portuguesa, entretanto, a expressão *trato de sistemas* não faz muito sentido. Entende-se que a expressão *systems tract*, conforme originalmente proposto, designa sistemas deposicionais contemporâneos que se desenvolvem em uma bacia sujeita a diferentes níveis de base. Parece claro que *nível de base* é uma expressão-base na definição de tratos de sistemas.

Scholz *et al.* (1990) utilizaram as expressões *lowstand* e *highstand systems tracts* na análise de fácies grossas dos lagos Tanganica e Malawi. Della Fávera *et al.* (1992), entretanto, ao tentarem utilizar essa mesma terminologia para a análise da Formação Pendência (Bacia Potiguar), acabaram traduzindo esses termos de modo diferente. Na realidade, cunharam novas expressões: *trato de sistemas de fase de lago profundo*, *trato de sistemas de lago raso* e *trato de sistemas de lago assoreado*. Bueno *et al.* (1994), em sua análise da Bacia do Tucano, também empregaram essa mesma terminologia.

Dois incorreções decorrem da utilização da terminologia proposta por Della Fávera *et al.* (1992): 1) a expressão *trato de sistema de fase de lago raso*, por exemplo, já não tem uma conotação integral de associação com nível de base. Apesar de ser um corpo d'água lacustre que se desenvolve em um *rift* intracontinental, outros sistemas deposicionais, além do lacustre, ocorrem, como *fan* delta, fluvial, deltaico etc. Ao se restringir a expressão *lago raso*, os autores acabam desprezando os

demais sistemas deposicionais presentes nas margens da bacia; 2) a expressão *trato* de sistema de fase de lago assoreado, em si, já nega a existência do lago. Neste caso, com o desaparecimento do sistema lacustre, fácies deltaicas e principalmente fluviais tendem a predominar.

Na realidade, há dificuldade de encontrar um termo que traduza adequadamente a expressão *systems tract*. Como sugestão fica a possibilidade de se utilizar a terminologia: sistemas de nível baixo (*lowstand*), sistemas de nível transgressivo (*transgressive*) e sistemas de nível alto (*highstand*), cujo desenvolvimento é controlado pela interação entre tectonismo e flutuações climáticas. Esses termos, inclusive, aparecem em Della Fávera *et al.* (1992), mas acabaram não sendo utilizados no sentido de *systems tract*. Essa terminologia

parece adequada por não mostrar a palavra *trato*, inócua na língua portuguesa, e por incorporar a noção de nível de base.

Uma vantagem da utilização desta terminologia é que ela pode-se repetir verticalmente no pacote *sin-rift*, podendo estar associada tanto ao rifteamento inicial quanto ao intermediário ou ao final. A noção de nível de base traz, também, intrinsecamente, a idéia de potencial de acomodação (associado a tectonismo e/ou flutuações climáticas). O emprego da expressão sistema de nível (de base) em *riffts* intracontinentais não traria confusão com sistema deposicional. Algumas características desses sistemas de nível (de base) em *riffts* continentais, bem como a associação de fácies arenosas com os mesmos, são apresentadas nas tabelas I e II.

TABELA I / TABLE I

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE NÍVEL ALTO, TRANSGRESSIVO E BAIXO PARA RIFTS INTRACONTINENTAIS
CHARACTERISTICS OF THE HIGHSTAND, TRANSGRESSIVE AND LOWSTAND SYSTEM TRACTS FOR RIFTS

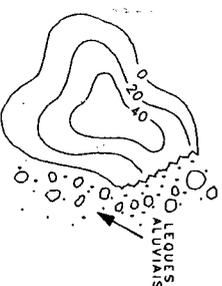
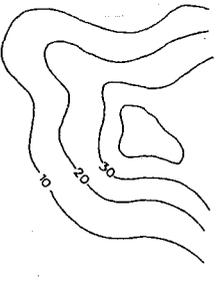
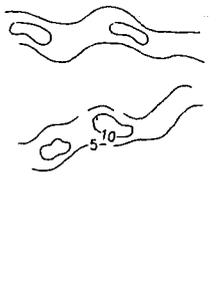
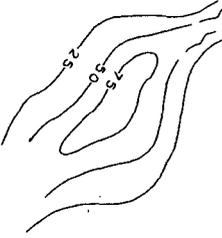
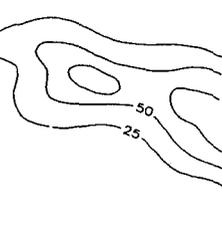
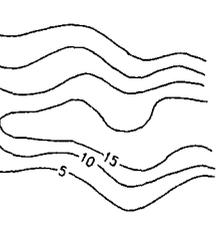
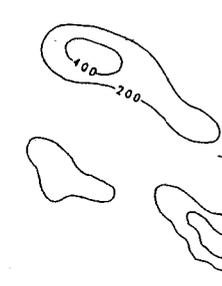
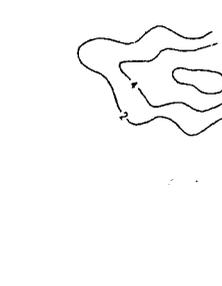
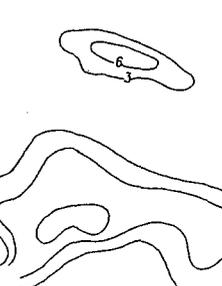
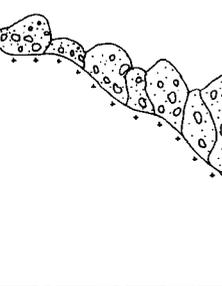
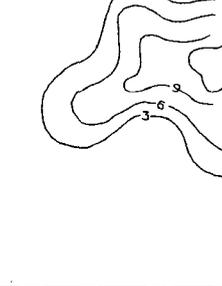
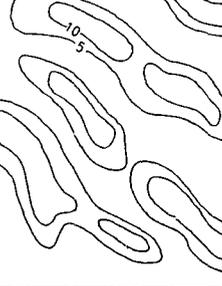
Sistema de nível	Padrão sísmico	Atividade tectônica	Características climáticas (<i>trend</i>)	Sistemas deposicionais (ver tabela II)	Empilhamento vertical	Granulometria da fácies arenosa	Potencial de preservação do reservatório	Possibilidade de intervalo gerador	Possibilidade de selo
Alto	divergente, sigmoidal, paralelo, caótico/ <i>hummocky</i>	pode ser alta	úmida, chuvosa	fluvial (f2, f3 e f4); deltaico (d1 e d2); bacinal (b1, b2 e b3); leque aluvial (b4)	granodecrescência ascendente; agradacional	fina a média	médio a baixo	regular a boa	boa
Transgressivo	paralelo, <i>onlap</i> ; convergência mergulho acima	pode ser alta	úmida, chuvosa	fluvial (f3) e deltaico (d4) em condições estuarinas; bacinal pouco desenvolvido	granodecrescência ascendente	fina	pode ser alto	alta; importantes níveis associados com eventos de máx. inundação	muito boa
Baixo	<i>onlap</i> e <i>offlap</i> ; descontínuos	pode ser alta	quente, árida	fluvial (f1 e f2) e retrab. eólico (f4); deltaico (d3); entrincheiramento; bacinal (b1 e b2)	granodecrescência ascendente; agradacional	pode ser muito grossa	pode ser alto	baixa; predomina oxidação	baixa

Obs.: As diferentes fases de desenvolvimento desses sistemas são controladas pela interação entre tectonismo e flutuações climáticas. O corpo d'água que se desenvolve neste tipo de bacia é lacustre e tem área de ocorrência variável. Leques aluviais tendem a ocorrer ao longo da margem do escarpamento da bacia *rift*.

Obs.: The different phases of development of these system tracts are controlled by tectonics and climatic fluctuations. The water body developed within this basin is lacustrine, and its area is variable. Alluvial fans are present along the scarpment of the rift basin.

TABELA III TABLE II

GEOMETRIA EXTERNA DAS PRINCIPAIS FÁCIAS ARENOSAS PRESENTES EM RIFTS INTRACONTINENTAIS
 EXTERNAL GEOMETRY OF THE MAIN SANDY FACIES PRESENT IN
 INTRACONTINENTAL RIFTS

BACINAL		DELTAICO		FLUVIAL	
	COMPLEXO LOBO/CANAL AXIAL (b1)		DELTA PROGRADANTE PLATAFORMA (d1)		ALTA CARGA DE FUNDO PLATAFORMA E AXIAL (f1)
	COMPLEXO LOBO/CANAL TRANSVERSAL (b2)		DELTA PROGRADANTE AXIAL (d2)		MÉDIA CARGA DE FUNDO PLATAFORMA E AXIAL (f2)
	COMPLEXO DE FLUXO DE DETRITOS/ ESCARPAMENTOS AXIAL (b3)		DELTA PROGRADANTE DE NÍVEL BAIXO PLATAFORMA E AXIAL (d3)		ALTA CARGA SUSPensa PLATAFORMA E AXIAL (f3)
	COMPLEXO DE LEQUES ALUVIAIS ESCARPAMENTO (b4)		DELTA PROGRADANTE PLATAFORMA (d4)		RETRABALHAMENTO EÓLICO PLATAFORMA E AXIAL (f4)

Obs.: Intervalo de contorno em metros. Escala horizontal em F1. Geometria externa de F4 e B1 de acordo com Rodovalho *et al.* (1992) e Bruhn *et al.* (1985), respectivamente. Delta progradante de nível baixo (D3) é equivalente ao *lowstand prograding delta* de Scholz e Rosendahl, 1990. Os termos plataforma, axial e escarpamento referem-se aos tipos de drenagens associados à margem flexural, longitudinal e falhada, respectivamente, de acordo com proposição de Cohen (1990).

Obs.: The contour interval illustrated in meters. Horizontal scale in F1. External geometry of F4 and B1 according to Rodovalho *et al.* (1992) and Bruhn *et al.* (1985), respectively. The lowstand prograding delta (D3) is an equivalent to the one from Scholz & Rosendahl, (1990). The terms "platform, axial and escarpment" refer to drainage types associated to flexural, longitudinal and faulted margins, respectively, according to Cohen (1990).

4 - CONCLUSÕES

As idéias apresentadas aqui devem ser entendidas como uma reflexão envolvendo conceitos e a nomenclatura presentemente utilizada na análise de *rifts* intracontinentais. Visam a fornecer subsídios para uma sistematização da nomenclatura existente na Estratigrafia de Seqüências/Sismoestratigrafia para trabalhos escritos em língua portuguesa.

O intérprete deve ter cuidado na seleção das seções sísmicas a serem utilizadas e na integração dessas com informações de poços. A ele cabe escolher, dentre os modelos cronoestratigráficos disponíveis, o que melhor se ajusta a sua área de trabalho. Espera-se que, ao fazer a integração regional de determinado pacote sedimentar, o intérprete esteja ciente de não criar situações forçadas ao aplicar um modelo não-adequado às peculiaridades de sua bacia.

O modelo de seqüências deve ser visto apenas como um guia, uma vez que, cada bacia sedimentar tem suas próprias características.

A interação entre tectonismo e flutuações climáticas produz oscilações no nível de base da bacia ao longo de toda a fase *sin-rift*. Condições variáveis dentro de cada um dos sistemas de nível (de base) controlam o desenvolvimento de rocha-reservatório, gerador, selo e estrutura, elementos essenciais para a ocorrência de jazidas de petróleo.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas Luciano P. Magnavita e Antônio Sérgio T. Netto pela leitura crítica do manuscrito. Aos revisores Júlio César Scarton e Mário Carminatti pelas observações relevantes, que aprimoraram a versão final do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATES, R.L. , JACKSON, J. A. *Glossary of Geology*. 3. ed. Alexandria, VA : American Geological Institute, 1987. 788 p.
- BEERBOWER, J. R. Cyclothems and cyclic depositional mechanisms in alluvial plain sedimentation. *Kansas Geological Survey Bulletin*, v. 169, p. 30-43 (Kansas Geological Survey Bulletin).
- BROWN JUNIOR, L. F. , FISHER, W. L. Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In : PAYTON, C. E. (ed.). *Seismic stratigraphic-implications to hydrocarbon exploration*. p. 213-248 (AAPG. Memoir, 26).
- BRUHN, C. H. L. , CAIXETA, J. M. , SCARTON, J. C. , Sublacustrine reservoir of Riacho da Barra Field, *Recôncavo rift-basin*. Salvador : PETROBRAS.DEXBA, 1985. 22p. (Relatório interno, N. 108-4417).
- BUENO, G. V. *et. al. Projeto Tucano - minuta de relatório*. Salvador : PETROBRAS. DEXBA. DIREX, 1994. 13p. (Relatório interno).
- CARTWRIGHT, J. A., HADDOCK, R. C., PINHEIRO, J. M. The lateral extent of sequence boundaries. In : WILLIAMS, G. D., DOBB, A. (ed.). *Tectonics and seismic sequence stratigraphy*. London : Geological Society, 1993. p. 15-34.; (Geological Society of London. Special Publication, n. 71).
- COHEN, A. S. Tectono-stratigraphic model for sedimentation in Lake Tanganyika, Africa. In : KATZ, B. J. *Lacustrine basin exploration-case studies and modern analogs*. Tulsa : AAPG, 1990. p. 137-150 (AAPG. Memoir, 50).
- DELLA FÁVERA, J. C., ROSSETI, E. L., GUZZO, J., MATSUDA, N., SOARES, V. M., HASHIMOTO, A. T., ALVES, D. B., CASTRO, J. C., AZAMBUJA, N. C., RODRIGUES, R. *Estratigrafia de seqüências da Formação Pendência, Bacia Potiguar*. Rio de Janeiro : PETROBRAS/CENPES/DEPEX, 1992. 2v. (Relatório interno, n. 673-14793).
- FALVEY, D. A. The development of continental margins in plate tectonic history. *Australian Petroleum Association Journal*, Sydney, v. 14, n. 1, p. 95-106, 1974.
- FERREIRA, A. B. de H. *et al. Novo dicionário da língua portuguesa*. 2. ed. rev. e aum. Rio de Janeiro : Nova Fronteira, 1986. 1838p.
- FRAZIER, D. E. *Depositional-episodes : their relationship to the quaternary stratigraphy framework in the northwestern portion of the Gulf Basin*. Austin : University of Texas, 1974. 28p. (*Economic Geology*. The University of Texas at Austin. Geological circular, 74-1).
- GALLOWAY, W. E. *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis 1: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units*. p. 125-142 (AAPG. Bulletin, v. 73).
- JERVEY, M. J. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. In: WILGUS, C. K., HASTINGS, C. B. S., KENDALL, C. G. St. C., POSAMENTIER, H., ROSS, C. A., VAN WAGONER, J. C. (ed.). *Sea level changes: an integrated approach*. Tulsa : Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 47-69 (SEPM. Special Publication, n. 42).
- MIALL, A. D. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation. *Journal of Sedimentary Petrology*. Tulsa : Society of Economic Paleontologists, v. 61, n. 4, p. 497-505, 1991.

- PIETZSCHKE, F., WIMMER, F. *The new Michaelis-illustrated dictionary*. São Paulo : Melhoramentos, 1986. 1151 p. v.1.
- POSAMENTIER, H. W., VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition. II - sequence and system tracts models. In : WILGUS, C. K., HASTINGS, C. B. S., KENDALL, C. G. St. C., POSAMENTIER, H., ROSS, C. A., VAN WAGONER, J. C. (ed.) . *Sea-level changes : an integrated approach*. p. 125-154 (SEPM. Special publication, n. 42).
- PROSSER, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. In : WILLIAMS, G. D., DOBB, A. *Tectonics and seismic sequence stratigraphy*. London. Geological Society, 1993. p.35-66 (Geological Society of London. Special Publication, n. 71).
- RIBEIRO, H. J. P. S. *Sismo-estratigrafia e arquitetura deposicional da Bacia do Recôncavo, Estado da Bahia, Brasil*. São Paulo : Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1991. 159 p. Tese (Doutorado).
- RODOVALHO, N., ARAGÃO, A. J. F., MATO, L. F. *Estudo geológico da área de Bonsucesso*. Salvador : PETROBRAS.DEXBA, 1992. 25p. (Relatório interno).
- 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: AAPG, 1990 P. 151168 (AAPG Memoir, 50).
- SHANLEY, K. W., McCABE, P. J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*. Tulsa: v. 78, p. 544-568, 1994.
- SILVA, H. T. F. da. *Flooding surfaces, depositional, elements and accumulation rates : characteristics of the lower Cretaceous tectonosequence in the Recôncavo Basin, Northeast Brazil*. Austin, Texas : Universidade do Texas, 1993. 313 p. Tese (Doutorado).
- SLOSS, L. L. *Sequences in the cratonic interior of North America*. Boulder : Geological Society of America, 1963. p. 93-114 (GSA Bulletin, v. 74).
- SLOSS, L. L. *Forty years of sequence stratigraphy*. Boulder, Colo. : Geological Society of America, 1988. p. 1661-1665 (GSA Buletin, v. 100).
- SWIFT, D. P. J., PHILIPS, S., THORNE, J. A. Sedimentation on continental margins, V. parasequences. In : SWIFT, D. P. J., OERTEL, G. F., TILLMAN, R. W., THORNE, J. A. (ed.). *Shelf sands and sandstone bodies-geometry, facies, and sequence stratigraphy*. p. 153-187 (International Association of Sedimentologists, n. 14).
- UCHUPI, E., EMERY, K. O. Pangean divergent margins : historical perspective. *Marine Geology*. [New York], v. 102, p. 1-28, 1991.
- VAIL, P. R., MITCHUM JR., R. M., THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In : PAYTON, C. E. (ed.). *Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa : American Association of Petroleum Geologists, 1977. p. 63-81 (AAPG. Memoir, 26).
- VAIL, P. R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1 - Seismic stratigraphy interpretation procedure. In: BALLY, A. W. (ed.). *Atlas of seismic stratigraphy*. Tulsa : American Association of Petroleum Geologists, 1987. v. 1, p. 1-10 (AAPG. Studies in Geology, n. 27).
- VAN WAGONER, J. C., MITCHUM, R. M., CAMPION, K. M., RAHMANIAN, V. D. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops*. Tulsa : American Association of Petroleum Geologists, 1990. 55 p. (AAPG. Methods in Exploration Series, n. 5).
- WALKER, R. G. Facies modeling and sequence stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 60, n. 5, p. 777-786, 1990.
- XUE, L., GALLOWAY, W. E. High-resolution, log-derived, genetic stratigraphic sequence profiles of the Paleogene section. In : RESEARCH CONFERENCE PROGRAM AND ABSTRACTS, 11., 1990, Texas. [Proceedings...] Texas : GCSSEPM Foundation, 1990. p. 399-408.

EXPANDED ABSTRACT

The advent of Seismostratigraphy during the seventies represented a breakthrough for the regional analysis of sedimentary basins. Seismostratigraphy concepts were first idealized to marine marginal basins. These ideas, however, were soon transferred to other classes of basins, including those that are tectonically-active. During the 1980's, the seismostratigraphic technique received a major boost with the incorporation of a more consistent sedimentologic basis, giving way to Sequence Stratigraphy.

These concepts have been applied to both academic and economic purposes. In rift basins, more intensive stratigraphic analysis of sequences began during the early nineties for the East African Rifts and for the North Sea area. In Brazil, the study of the application of sequence concepts for syn-rift sequences started out with the analysis of the Pendência Formation in the Potiguar Basin, in 1992. Later, a regional analysis of the Eocretaceous strata of the Recôncavo Basin, also showed the validity of this approach.

The nature of the sequence boundaries is of major importance for the chronostratigraphic analysis of sedimentary basins. Whether picking erosional surfaces or marker beds may imply in important consequences for the

establishment of a temporarily-relevant framework. Major erosional surfaces may develop in tectonically-active basins as a response to active tectonism. The development of transgression-related marker beds may be linked to a major climatic change, which leads to the rising base level.

Variable subsidence, sediment influx and climatic change rates will determine the nature of the sequence and its limits.

Another consideration shown in this work is that, by definition, the usage of the term eustasy should be restricted to sea-level fluctuations. Most of the times, it is difficult to correlate in-phase lake level fluctuations with sea-level variations.

Finally, it is proposed herein a terminology for system tracts in Portuguese. The author recognizes that very often literal translations of technical terms may cause confusion among their users. The interaction between tectonism and climatic fluctuations produce oscillations in the base level of rift basins along the entire of the syn-rift phase. Variable conditions within the system tracts will control the development of the reservoir, source rock and seal, the basic parameters required for petroleum accumulation.