Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Um Breve Histórico de Conceitos Fundamentais da Estratigrafia Moderna: Sequências Depositionais e seus Fatores Controladores

Michael Holz

Pesquisas em Geociências, 25 (1): 3-26, jan./abr., 1998.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21169>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - jan./abr., 1998.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Um Breve Histórico de Conceitos Fundamentais da Estratigrafia Moderna: Seqüências Depositionais e seus Fatores Controladores

MICHAEL HOLZ

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal.15001, CEP 90520-970
Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 06/97. Aceito para publicação em 03/98)

Abstract - Stratigraphy, fundamental to geological science, has been subjected to deep epistemological changes during the last two decades, changes that are generally seen as being a result of the North American school of stratigraphy, specially concerning research groups linked to petroleum geology. However, the fundamentals of modern stratigraphy, such as the concept of depositional sequence and the discussion on its tectonic and eustatic controls, were already discussed and applied in the beginning of the twentieth century and earlier, and insofar are not product of research of our times, but result of some ideas as old as the ideas of Lyell and Darwin. The present paper presents a brief historical review of stratigraphy's history during the last hundred and fifty years and discusses the historical roots of fundamental concepts of modern stratigraphy.

Key words: stratigraphy, history, isostasy, tectonics.

INTRODUÇÃO: O QUE ESTE TRABALHO PRETENDE

A idéia de uma estratigrafia baseada essencialmente no conceito de seqüências, dando um tratamento dinâmico-temporal aos pacotes sedimentares, apareceu com força paradigmática em meados a final da década de oitenta. Conceitos "sagrados" da utilizadíssima litoestratigrafia foram abandonados com força suficiente para caracterizar uma ruptura no padrão científico, configurando epistemologicamente uma revolução científica (cf. Kuhn, 1989).

Muitos atribuem o surgimento da "nova Estratigrafia" aos pesquisadores ligados a Exxon, que no final da década de setenta lançaram o manifesto da revolução (Payton, 1977) e desde então o desenvolvem, sendo apoiados por uns, violentamente criticados por outros. Se hoje em dia o estratígrafo trabalha com o conceito de seqüências e discute os parâmetros de controle - se tectônico ou eustático - isso ele deve, ao menos aparentemente, ao trabalho do supracitado grupo e de seus seguidores. Conceitos como controle eustático da deposição, as transgressões e regressões marinhas e seus depósitos, as discordâncias e sua importância na estratigrafia como delimitadoras de unidades, as cartas cronoestratigráficas das bacias, todos são aparentemente novos e fazem parte do que se chama corriqueiramente de "Estratigrafia moderna", designando com isso o enfoque essencialmente genético e dinâmico que está se dando ao estudo em Estratigrafia nos últimos anos.

Contudo, uma atenciosa análise dos registros literários - antigos livros, artigos em periódicos, trabalhos em congressos - mostra claramente que tais conceitos, tão "modernos", já existiam e permeavam o pensamento dos estratígrafos desde meados do século passado. Ainda que dispersas, ou as vezes mal explicadas e mal embasadas, as idéias que hoje movem a Estratigrafia são, em sua essência, as mesmas que ocupavam a Estratigrafia de século e meio atrás (e.g. Dott, 1991; Posamentier & Allen, 1994).

Com o advento de ferramentas modernas, em especial da sísmica de reflexão e do processamento dos dados, as idéias históricas da Estratigrafia foram reunidas, trabalhadas e aperfeiçoadas para constituírem a base do que hoje é paradigma na Geologia, tão importante quanto a consagração da tectônica global ou do neo-catastrofismo: a Estratigrafia Dinâmica, um termo genérico e informal, com o qual aqui englobamos os enfoques da Aloestratigrafia e da Estratigrafia de Seqüências, objetos desse artigo; e também da Estratigrafia cíclica e de eventos, ou seja, o dinâmico enfoque do "porque está assim?" antes do descritivo e estático "como está?", quando se refere às rochas em geral e às sedimentares em particular. Cabe lembrar que "estratigrafia dinâmica" é título de um livro, cujo autor define claramente a filosofia de trabalho do estratígrafo atual: "...we are beginning to think of lithologic sequences in terms of sedimentation rates, rates of eustatic sea level fluctuation, and rates of tectonic deformation" (Matthews, 1974).

Tão grande foi o impacto das idéias de 1977 (Payton, 1977) e dos anos posteriores (e.g. Vail *et al.*,

1984, Wilgus *et al.*, 1988), que se criou a falsa impressão, muito difundida entre estratígrafos no país, sejam acadêmicos ou de empresas, de que nada ou muito pouco existia antes da escola da Exxon, e que os modernos conceitos e parâmetros de controle estratigráfico são fruto das pesquisas dos últimos anos, quando isso não é verdade.

O ensino tradicional em Estratigrafia nas instituições mostra todo um passado “litoestratigráfico” para a Estratigrafia, aborda a *trindade santa* do Código Internacional, mostra quão estático e simplista a Estratigrafia encarava o preenchimento de uma bacia, e como a escola da Exxon veio com novas idéias e “revolucionou” a Estratigrafia.

O presente texto tem por objetivo central mostrar que essa idéia é errada e que a preocupação com a dinâmica da formação das rochas em uma bacia era, desde o século passado, muito mais forte do que nos ensinam na escola. Tem por objetivo mostrar ao estudioso da estratigrafia que já há 100 anos atrás se preocupava com a eustasia como controlador da sedimentação, que se tentava entender e quantificar os movimentos de transgressão e regressão. Tem por objetivo mostrar que já existiam autores com o conceito de “seqüência” na cabeça, que já existiam pesquisadores que defendiam o controle tectônico para a sedimentação, e que disputas científicas do tipo “eustasistas *versus* tectonistas” não foram inventadas por Vail, Hubbard e Watts, mas já existiam no século passado. Em resumo, é objetivo do capítulo convidar o leitor a percorrer o tempo e conhecer as raízes dos conceitos que hoje a Estratigrafia utiliza, saber das origens do paradigma que está, nos nossos dias, substituindo a chamada “Estratigrafia tradicional” e mostrar que, pelas suas raízes históricas, a maioria dos conceitos hoje utilizados de novidade têm muito pouco.

O CONCEITO DE SEQÜÊNCIA DEPOSICIONAL

A essência da nova estratigrafia, o tijolo no muro do preenchimento de uma bacia sedimentar, é a seqüência. Ela, unidade temporal-dinâmica, deve a sua existência às discordâncias e seu correto reconhecimento, em termos de extensão e significado temporal.

Hutton (*in* Playfair, 1802) foi o primeiro a reconhecer a existência e a importância das discordâncias, expressando todo seu assombro em relação ao *abismo do tempo* materializado em discordâncias como a famosa *Siccar Point* em

Figura 1 - Coluna estratigráfica do interior norte-americano, segundo Blackwelder (1909). Figura obtida por reprodução fotográfica a partir do microfilme. As áreas de sedimentação e as respectivas rochas e idades estão em preto, enquanto que o branco denota o tempo e a extensão das condições erosionais e discordâncias correspondentes.

Berwickshire, na Escócia.

Darwin, em 1859, chamou a atenção para o caráter incompleto e descontínuo do registro sedimentar, assim como Lyell (1830-33).

Blackwelder (1909) foi um dos primeiros a externar publicamente suas idéias sobre a importância das discordâncias na Estratigrafia, analisando a cobertura paleozóica da área cratônica dos Estados Unidos, reconhecendo que “... *the entire geologic record then is not to be conceived of as a pile of strata, but as a dovetailed column of wedges, the unconformities and rock systems being combined in varying proportion*”¹ (p.299). O autor apresenta uma figura para ilustrar sua afirmação, e pode-se notar que realmente a visão e acuidade estratigráfica de Blackwelder eram fenomenais, porque preconizavam uma abordagem na Estratigrafia que, inédita na época, hoje é inquestionavelmente aceita - a de que os estratos são descontínuos no tempo e em extensão, e, mais importante, que essa variabilidade tempo-espaco pode ser mapeada e representada graficamente. A figura de Blackwelder, reproduzida na figura 1, introduz na Estratigrafia uma abordagem hoje consagrada - a da representação do preenchimento sedimentar na forma de uma carta cronoestratigráfica.

¹ algo como ...portanto, o registro geológico inteiro não pode ser concebido como uma pilha de estratos, mas como uma coluna de cunhas em formato de cauda de pombo, onde as discordâncias e os sistemas rochosos se combinam em proporções variadas.

Esse trabalho faz de Blackwelder o precursor ou pioneiro do conceito de seqüências deposicionais, embora seu trabalho seja raramente ou nunca referido.

Pouco tempo depois, Crosby (1912) apresenta um trabalho relacionando e classificando geneticamente as discordâncias, denominando-as para- e clino-discordâncias, respectivamente conforme o envolvimento ou não de tectônica deformacional nos estratos mais antigos. Grabau (1905) já havia tratado da questão de classificar as discordâncias, reservando o termo *disconformity* para as discordâncias sem envolvimento da tectônica, ou seja, discordâncias produzidas unicamente pela variação temporal-espacial da deposição de camadas. Também pode ser citado o trabalho de Heim (1908), que apresenta estudo sobre a formação de *flysch* nos alpes suíços e aborda a questão da gênese das discordâncias.

Schuchert (1916) apresenta um trabalho de correlação inter-regional para o Paleozóico da América do Norte, onde reconhece muitas discordâncias nos pacotes sedimentares. Sobre as discordâncias, afirma (p. 497): "... it is probable that as much time is represented by the breaks as by the entire sedimentary record..." e arremata: "...this statement may appear to many as overdrawn"². Essa concepção é atualíssima, embasa o pensamento do neo-catastrofismo ou "sedimentação episódica" (e.g. Dott, 1983) e é a essência do preenchimento das bacias sedimentares,

como atestam as cartas cronoestratigráficas hoje existentes (e.g. Feijó, 1994).

Barrel (1917) foi o primeiro a tentar quantificar o tempo não representado por rochas e sim pelos planos discordantes, que ele julgou existirem devido as variações do nível de base. Cada queda no nível de base implica em erosão, de modo que o registro sedimentar fica repleto de lacunas (Fig. 2). Ele também suspeitou da existência de muitas discordâncias menores, "escondidas" entre planos de acamamentos, e chamou essas descontinuidades de *diastemas*. Portanto, a idéia do registro sedimentar altamente descontínuo e incompleto já foi abordado e formalmente discutido há mais de oitenta anos atrás.

Grabau, geólogo e professor, em um trabalho de 1906, apresenta pela primeira vez o conceito de *onlap* (embora não o chame assim) e o hiato temporal envolvido (Fig. 3A), isto é, já apresenta conceitos que a chamada *Escola da Exxon* só popularizaria setenta anos depois. Em seu livro de 1913, ele apresenta um detalhamento dos ciclos trans-regressivos (Figs. 3B e C), discutindo em antecipação ideias que se popularizariam décadas depois através de trabalhos como de Frazier (1974) ou Galloway (1989). Grabau exemplifica seu conceito teórico com base em uma seção Eo-Paleozóica de Oklahoma (USA), interpretando o *Arenito Saint Peter* como sendo um corpo trans-regressivo, marcando o hiato temporal

Figura 2 - Diagrama rocha versus tempo, de Barrel (1917). As curvas A, B e C denotam variação do nível de base em diferentes ordens de grandeza. Cada queda corresponde a um evento erosivo e uma conseqüente lacuna no registro sedimentar (barras pretas na coluna do registro sedimentar).

² é provável que tenha tanto tempo representado pelas discordâncias quanto pelo registro sedimentar inteiro; para muitos, essa afirmação pode parecer exagerada

Figura 3 - Esquemas de Amadeus Grabau para explicar seu conceito de unidades sedimentares delimitadas por discordâncias. Em A, desenhos do trabalho de 1906, com as unidades a a d sendo regressivas, e de e a i transgressivas. Em B e C são mostrados os esquemas de 1913, com enfoque na crescente falta de registro rochoso no sentido proximal do eixo deposicional, sendo a seção 1 do desenho a mais proximal; e em D sua interpretação do *Saint Peter Sandstone* como um exemplo do conceito de hiato: o referido arenito marca o hiato, separando duas unidades, Simpson e Arbuckle, delimitadas por discordâncias.

entre as unidades litoestratigráficas adjacentes (Fig.3D).

Em 1936, o mesmo Grabau lança *Oscillation or Pulsations*, baseado num trabalho apresentado três anos antes num congresso geológico em Washington, defendendo um controle geotectônico para os ciclos eustáticos globais. Nesse trabalho, Grabau apresenta uma carta cronoestratigráfica para o Paleozóico, com seqüências deposicionais vinculadas às fases de dobramentos nos geossinclíneos, conforme ilustração da figura 4.

Cada fatia desta coluna cronoestratigráfica é uma unidade delimitada por discordâncias, ou, como dizemos hoje, uma seqüência deposicional vinculado a um grande ciclo transgressivo-regressivo.

Figura 4 - Ilustração do trabalho de 1936 de Grabau (extraído de Hallam, 1991), embasando sua *Teoria da Pulsação*. Nessa concepção, cada período de atividade epirogênica seria responsável por um ciclo eustático, com as fases finais dos dobramentos coincidindo com os máximos regressivos.

Portanto, Blackwelder e Grabau são os verdadeiros pioneiros no estudo e mapeamento de seqüências deposicionais, trabalhando com a dinâmica sedimentar no tempo geológico, discutindo o papel de fatores controladores e adotando uma metodologia na qual até Sloss, o sempre citado pai das seqüências, se baseia.

Em 1943, é publicado o trabalho de Levorsen pelo *AAPG Bulletin*, realçando a importância das discordâncias como marcadores de unidades estratigráficas e, em 1948, durante um simpósio promovido pela *Geological Society of America*, surge o conceito de seqüência delimitada por discordâncias, através de um trabalho de Sloss *et al.* (1949). Nesse trabalho, que é um marco para a estratigrafia, os autores reconhecem e denominam quatro seqüências estratigráficas para o interior cratônico norte-americano, todas delimitadas por discordâncias significativas, formadas em resposta a ambientes tectônicos em escala regional e separadas por horizontes objetivos e reconhecíveis (*objective, recognizable horizons*), sem significado temporal específico (Sloss *et al.*, *op.cit.*, p. 110/1).

Essa definição de seqüências é um tanto vaga, o que leva Wheeler (1958) a definir uma seqüência como sendo uma assembléia preservada de estratos discordantemente separada das rochas soto e sobrepostas (p. 1051). O autor chama a atenção para o adjetivo “preservada”, realçando que as seqüências *sensu* Sloss *et al.* (*op.cit.*) compreendem apenas o registro preservado, mas, por outro lado, qualquer trabalho de integração estratigráfica temporal envolve necessariamente a distinção entre o registro efetivamente preservado e as sucessões restauradas subjetivamente. No ano seguinte, Wheeler discute o assunto em uma comissão estratigráfica preparadora do Código Norte-Americano de 1960, afirmando a premente necessidade de difundir o conceito de seqüências, mesmo que sob outro nome, já que alguns geólogos não o aceitavam por acharem que “seqüência” deve ter uso geral e indefinido. O autor sugere termos como *succession* e *constratation* para estratos geneticamente relacionados e termina com proféticas palavras, afirmando que a aceitação do termo seqüência como unidade estratigráfica autônoma e formal está crescendo e que o código estratigráfico por vir deve incluir referência específica a esse tipo de unidade (Wheeler, 1959, p. 1977).

Nesse período também ressurgem as discussões sobre o significado genético das discordâncias e sua classificação, iniciada pelos europeus no início do século. Contudo, trabalhos como os de Grabau parecem já perdidos no tempo. Dunbar & Rodgers (1957), em seu excelente livro-texto, sintetizam as tentativas de classificação das discordâncias até então ocorridas, apresentando quatro categorias - não conformidade, inconformidade, paraconformidade e discordância angular - mas nada discutem a respeito de seu uso como delimitadoras de unidades estratigráficas ou seqüências.

Figura 5 - Diagrama tempo/espaço de Shannon (1962) do Siluro-Devoniano de Oklahoma (USA), antecipando as modernas cartas cronoestratigráficas.

Embora teoricamente de domínio público, o conceito de sequência e a metodologia de trabalho nele implicada, não encontram muita ressonância entre a comunidade de estratígrafos, e muitos trabalhos desse período (entre 1949, data de publicação do trabalho de Sloss e colegas, e o início da década de sessenta), não abordam a questão e seguem uma linha de pesquisa mais baseada na “Estratigrafia tradicional”, aquela calcada essencialmente na divisão tripartite das unidades estratigráficas proposta inicialmente por Schenk e Muller (1941).

Trabalhos como de Bolyard (1959) servem de exemplo para mostrar como era difícil a aceitação de discordâncias como limitadoras de unidades estratigráficas. O referido autor apresenta um vasto, completo e bem ilustrado trabalho sobre a estratigrafia Permo-Carbonífera de uma região do Colorado/USA, não abordando o conceito em epígrafe, nem ao menos superficialmente. Outro exemplo é a obra famosa de Geologia Histórica de Brinckmann, especificamente a edição de 1977 (!), retrabalhada e supostamente atualizada a partir das edições de 1959 e 1966. Na parte onde é discutido o sistema estratigráfico e as convenções adotadas, a obra refere-se apenas a divisão tripartite de unidades estratigráficas, sem mencionar

seqüências, ou seja, ignora mais de setenta anos de geração de teoria estratigráfica.

Outros autores, ainda, utilizam o conceito de sequência em um sentido totalmente desvinculado daquele propagado por Sloss, Wheeler e outros, restringindo o termo aos limites dos períodos geológicos. Um exemplo dessa escola é o geólogo norte-americano Moore. Em 1964, ele define *seqüência* como a divisão maior de rochas formadas durante milhões de anos, correspondendo aproximadamente à divisão sistemática do Paleo-Meso-Cenozóico.

Um dos primeiros a incorporar o conceito de sequência como *unconformity bounded units* em uma análise estratigráfica local é Shannon (1962). Ele apresenta um estudo do Grupo Hunton (Siluriano-Devoniano) em Oklahoma/USA, e afirma que a sucessão de estratos desta unidade representa uma sequência, isto é, um grupo rochoso delimitado por discordâncias inter-regionais. Para representar a Estratigrafia da área estudada, o autor adota uma representação *tempo x espaço* (eixo horizontal: espaço; eixo vertical: tempo) porque ela oferece uma representação visual da história evolutiva do pacote rochoso.

Figura 6 - Diagrama tempo/espço de Churkin (1962) do Paleozóico de Idaho (USA), representação chamada de *time-stratigraphic cross section* pelo autor.

A figura 5 reproduz o diagrama de Shannon, para chamar a atenção para o fato de que as “modernas cartas crono-estratigráficas”, utilizadas atualmente, na verdade não são tão modernas assim. O trabalho de Shannon tem mais de 30 anos...

Também em 1962 é publicado o trabalho de Churkin, estudando a sedimentação no geossinclinal cordilheirano do Paleozóico de Idaho/USA. Esse autor também opta por uma seção estratigráfica temporal, como atesta a figura 6-uma “carta cronoestratigráfica”, como chamamos essa representação hoje em dia.

Sloss, em 1963, apresenta um artigo mais extenso e trabalhado acerca do assunto abordado em seu trabalho de 1949, acrescentando duas seqüências às quatro originalmente propostas.

Figura 7 - Carta cronoestratigráfica do interior cratônico norte-americano, do trabalho de Sloss (1963). Áreas de erosão/hiatos são representados em preto. Comparar sua representação do interior cratônico da América do Norte com a de Blackwelder, antes mostrada (Fig.1 do trabalho).

Cada seqüência representa uma grande transgressão e um recobrimento, que começa nas margens cratônicas e nas bacias de maior subsidência, gradualmente se espalhando sobre áreas mais estáveis do interior cratônico e por fim recobrindo as margens do escudo canadense (Sloss, 1963, p. 95). Deste modo, cada seqüência representa um ciclo maior de transgressão.

No final, o autor apresenta uma figura que mostra as relações temporais estratigráficas destas seqüências (Fig. 7), e é notável como essa representação se assemelha a *dovetailed column* (Fig.1), de Blackwelder (1909).

Em 1975, aparece o trabalho de Chang, propondo formalmente as unidades estratigráficas delimitadas por discordâncias, chamando-as de *síntemas* (*synthems*), quando de certa magnitude, e *intertemas* (*interthems*) quando delimitadas por descontinuidades menores, formando unidades comparáveis em espessura a uma formação ou, em tempo, a um andar. O autor chama a atenção para o fato de que a categoria formal de unidades, ora proposta, é diferente da categoria das unidades cronoestratigráficas proposta por Schenk & Muller (1941) e desde então incorporada à prática dos trabalhos estratigráficos. Quanto à diferença entre os *síntemas* de Chang e as seqüências de Sloss e colegas, trata-se justamente da formalidade: as unidades dos autores norte-americanos são informais, enquanto que o coreano faz uma proposta de unidades formais, tanto é que essa categoria de unidade estratigráfica aparece já no Código Estratigráfico do ano seguinte (Hedberg, 1976), embora o trabalho do coreano nunca tivesse maior aceitação, bem como sua terminologia, simplesmente “esquecida” e ignorada.

O ano de 1977 marca o nascimento oficial da sismoestratigrafia e com isso se formaliza uma revolução científica na área da Estratigrafia, latente desde o final do século passado.

Nesse ano sai uma série de trabalhos de pesquisadores ligados a *Exxon Production Research Company*, onde Vail, Mitchum, Sangree e Thompson lançam uma série de trabalhos sobre Estratigrafia de Seqüências e o controle eustático de sua deposição (Payton, 1977).

Ao retomar os trabalhos de Sloss e definir o termo seqüência como sendo uma unidade estratigráfica delimitada por discordâncias (e suas respectivas concordâncias), os autores discutem a validade do termo *síntema* de Chang, dizendo que, apesar de terem considerado a possibilidade de usar o termo *síntema* em vez de seqüência, não o fizeram, entre outras razões, em virtude da maior popularidade

do termo de Sloss e pelo fato de a seqüência ser mais do que uma unidade delimitada por discordâncias, uma vez que é reconhecida mesmo quando os limites são concordantes (Mitchum *et al.*, 1977, p. 55). Trata-se de uma visão algo equivocada, já que o trabalho de Chang foi o primeiro a fazer proposições formais e merecia consideração devido a primazia.

A partir do final da década de setenta o conceito de seqüência é definitivamente integrado ao trabalho estratigráfico, principalmente porque o método sísmico, através das seções sísmicas de alta resolução e excelente qualidade, processadas por computador, fornecia uma ferramenta poderosa para o mapeamento de seqüências (*e.g.* Galloway *et al.*, 1977; Hubbard *et al.*, 1985). O grande sucesso do “novo” paradigma era devido a aplicabilidade nas seções sísmicas e seu conseqüente uso numa indústria altamente lucrativa - a da prospecção e exploração de hidrocarbonetos.

Embora de uso muito difundido entre geólogos do petróleo, o conceito de seqüências demorou para ter sua utilidade ampliada a ponto de ser utilizada nos trabalhos fora do domínio das bacias costeiras de margem passiva, terreno de ação da grande maioria dos estratígrafos que lidavam com hidrocarbonetos naquela época.

Enquanto nos trabalhos dos geólogos de petróleo o paradigma da Estratigrafia de Seqüências é cada vez mais forte, a ponto de substituir o uso das unidades litoestratigráficas, no âmbito da Estratigrafia de bacias intracratônicas, por exemplo, o panorama se mantém muito mais ortodoxo, com trabalhos apresentando colunas litoestratigráficas ou propondo formações de acordo com o código estratigráfico. Isso ocorre, por um lado, pela falta de possibilidade devido à ausência de ferramentas como a sísmica de boa resolução na pesquisa de uma bacia como a do Paraná, por exemplo; e por outro, devido a uma certa impermeabilidade dos estratígrafos frente a uma “novidade” que surgiu no início do século.

Tanto é que até a última edição do Código Estratigráfico, no ano de 1983, as seqüências não são tratadas como deveriam. O código trata das seqüências como unidades informais (p. 851) e estabelece uma confusão ao colocar discordâncias como limites de unidades litoestratigráficas (p. 856). Por sua vez, a unidade aloestratigráfica, definida e delimitada com base nas suas discordâncias limítrofes, corresponderia ao conceito de seqüências, embora sejam unidades puramente descritivas. O código de 1983 afirma que a interpretação genética é base inapropriada para definir unidades aloestratigráficas. Já o conceito de seqüência é genético, de modo que a Aloestratigrafia não pode abranger a Estratigrafia de Seqüências, e um novo

tratamento formal faz-se necessário. O código estratigráfico de 1983, neste aspecto, cria confusão e é obsoleto.

Contudo, modernamente, a tendência é de uso cada vez mais irrestrito e oficial do conceito de seqüências (ainda que contrariando o código) porque ele provou ser de utilidade ímpar na análise de bacias, onde a necessidade, antes de propor nomes ou empilhar formações, é de se trabalhar com unidades genéticas, dinâmicas. Essa substituição paradigmática é tão forte que o próximo código a ser publicado certamente conterá profundas modificações quanto às categorias de unidades. A Estratigrafia de Seqüências será uma delas. A *International Subcommission on Stratigraphic Classification*, reunida em meados dos anos oitenta, manifesta essa preocupação, ao tentar dar um *status* oficial às seqüências, embora englobando nessa categoria não apenas seqüências deposicionais sedimentares, mas também corpos ígneos e metamórficos delimitados por discordâncias. Para as seqüências sedimentares, a comissão resgata o termo síntema de Chang (1975), reservando para o termo seqüência uma abrangência mais ampla, englobando todo tipo de corpo rochoso delimitado por discordâncias e realçando que seqüências não são unidades lito, bio ou cronoestratigráficas (Salvador, 1987).

Quanto aos elementos delimitadores das seqüências - as discordâncias - pode-se dizer que também este conceito passou por uma certa atualização em comparação com sua definição tradicional. Aqui se entende por tradicional a classificação quadripartida de Dunbar & Rodgers (1957), que ficou difundida e de amplo uso, mas teve que ser reformulada com o advento da Sismoestratigrafia porque aquela dá mais ênfase à angularidade ou paralelismo dos estratos acima e abaixo da superfície de discordância do que à relação dos estratos com a discordância (Mitchum *et al.*, 1977, p. 57). Esses autores definem uma discordância simplesmente como uma superfície de erosão ou não deposição que separa estratos mais jovens de mais antigos, representando um hiato significativo; e relacionam uma série de configurações geométricas para os limites superior e inferior de seqüências. A definição e o critério geométrico de demarcação têm ampla aceitação a partir de 1977, tendo utilização na Estratigrafia como um todo, paralelamente ao uso dos termos mais tradicionais de Dunbar & Rodgers (1957) (*e.g.* Schoch, 1989, p. 79 e 85).

Contudo, cabe mencionar que em 1988 ocorre uma pequena modificação no conceito de discordância emitido por Mitchum e colegas. A discordância, como

a moderna estratigrafia de seqüências a vê, é uma superfície que separa estratos mais jovens de mais antigos e ao longo da qual há evidências de truncamento erosivo subaéreo e exposição subaérea, com um significativo hiato (Van Wagoner *et al.*, 1988, p. 40/1). Essa definição é mais estreita em relação à de 1977, já que exclui erosão local e a não-deposição, restringindo o conceito a superfícies subaéreas significativas.

Em resumo, a importância das discordâncias como delimitadoras de unidades estratigráficas é uma prática universal e fundamental, embora exista uma certa controvérsia sobre o tipo de discordância que está envolvido. A discordância intracratônica de Sloss é tectônico-erosiva, vinculada a transgressões, da mesma forma que os síntemas de Chang ou as seqüências de Vail e colegas. Contudo, a prática da Aloestratigrafia (*sensu* Código Estratigráfico Norte-Americano de 1983) envolve outros tipos de discordâncias, como aponta, entre outros, os trabalhos de Plint *et al.* (1986) e de Walker (1990), mostrando que transgressões marinhas, com retrogradações erosionais de *shoreface*, também criam superfícies discordantes e geram seqüências, ainda que não correspondentes conceitualmente àquelas de Vail e colegas. Em outras palavras, a discordância delimitadora de seqüências *sensu* Exxon é sempre vinculada a quedas do nível do mar e migração do *onlap* costeiro em direção à bacia, enquanto as seqüências aloestratigráficas também se vinculam a subidas do nível do mar e retrogradação do *onlap*. É importante salientar essa diferença conceitual.

Mas sem dúvida é consensual que o uso das discordâncias na montagem, interpretação e entendimento da estratigrafia de uma bacia é de fundamental importância. A estratigrafia tripartite tradicional está praticamente condenada a ocupar um papel secundário, em especial a litoestratigrafia. Cabe

a esta talvez o papel de coadjuvante, já que a referência a grupos e formações de uma bacia sedimentar é consagrada pelo uso e facilita a comunicação entre os pesquisadores. Mas a análise estratigráfica moderna não tem mais, como até pouco tempo atrás, na identificação e denominação de unidades litoestratigráficas a sua finalidade mais nobre - o tempo da proposição de "colunas estratigráficas" com seus grupos e membros e suas incompatibilidades com colunas de outros autores, faz agora parte da história da estratigrafia enquanto ciência.

A EUSTASIA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A SEDIMENTAÇÃO

Tão antigo quanto o conceito de seqüência como unidade genética é a idéia do controle eustático da deposição. A variação dos níveis dos oceanos foi denominada de movimento eustático por Suess em 1888, em sua monumental obra *Das Antlitz der Erde*. Suess julga os movimentos eustáticos como sendo de natureza global, basicamente devido à subida ou descida do fundo oceânico.

Mas já muito antes de Suess os naturalistas geologicamente inclinados reconheciam variações no nível do mar e questionaram se tais variações não seriam globais.

Um precursor da questão pode ser encontrado na figura de Thomas Burnet, que em 1681 lança *Sacred theory of the earth*, um compêndio nascido dos novos tempos científicos da época, catalisados por pessoas como Bacon, Galilei, Kepler e Newton. Muitos autores de então procuravam explicar os escritos bíblicos à luz dessa nova mentalidade, dando aos relatos bíblicos uma roupagem científica. Burnet foi o mais bem sucedido. Em seu livro, lança a semente do conceito de tempo geológico (vide Gould, 1991) e, na tentativa de explicar cientificamente o dilúvio

Figura 8 - Curva de área inundada no Paleozóico, de Schubert (1916): altos e baixos eustáticos são representados pelo número de quilômetros quadrados inundados, a cada intervalo de tempo.

bíblico, diz que o Sol teria aquecido a Terra, a ponto dela expelir grandes quantidades de águas abissais de seu interior, que teriam inundado o mundo todo, numa espetacular “subida eustática”.

Só no século XIX, porém, os naturalistas, livres (ou quase) dos dogmas teológicos, fizeram observações mais coerentes e lançaram a idéia inicial da eustasia.

Já Hutton (*in* Playfair, 1802) aborda a questão, ao se referir à variação do nível do mar para explicar a posição elevada de terraços costeiros no sul da Inglaterra.

Ehrenberg (1834) deduz que plataformas emersas com recifes de corais expostos e mortos no Mar Vermelho são resultado de queda do nível do mar.

Lyell (1832, *in* Fairbridge, 1961), a partir da observação das marcas de bivalvos perfuradores expostas nas colunas do pátio do mercado de Serapis, em Pozzoli, na Itália, deduz e descreve queda do nível do mar.

Darwin (1842) postula que o assoalho do Oceano Pacífico está subsidindo, forçando os corais de recifes e atóis a crescer para cima.

Chamber (1848) diz, pela primeira vez, que as áreas continentais sofrem repetidas vezes inundações marinhas, não devido a movimentos verticais dos continentes, mas devido a subidas e descidas do nível do mar.

Em 1916, Schuchert trabalha com a variação do nível do mar, mas considera não a variação na vertical, mas com estimativas de superfície (em milhas quadradas) inundadas pelo mar em cada período geológico e apresenta a curva da figura 8, mostrando tempo e extensão das inundações marinhas sobre a América do Norte.

Conhecendo e estudando o fenômeno, os estratígrafos, na virada do século, estabeleceram um arcabouço teórico a respeito da eustasia, das transgressões e regressões marinhas e do preenchimento de bacias sedimentares, sendo sem dúvida Grabau (1924) quem abordou a questão de forma mais completa. O autor diz que as transgressões e regressões marinhas são fruto de variações locais do nível do mar, causadas por isostasia de blocos isolados; e globais, causadas pelos movimentos eustáticos preconizados por Suess. A sedimentação durante um ciclo deposicional é por ele chamada de *overlap* marinho progressivo, que pode ser transgressivo (*overlap* normal) ou regressivo (*overlap* retrativo). Sobre os fatores que controlam a sedimentação, o autor afirma que a deposição em uma área plataformal é controlada por dois fatores: a taxa de suprimento de material e a taxa e direção de

mudança de posição relativa do fundo oceânico e nível do mar. A sedimentação irá variar de acordo com a variação de um ou de ambos (Grabau, *op.cit.*, p. 723).

Mais adiante em seu brilhante texto, o autor questiona a influência da subsidência da bacia, dizendo que com taxas uniformes de subsidência e suprimento, três casos teóricos podem ser estabelecidos:

a) a taxa de depressão (= subsidência) é igual à taxa de suprimento de detritos, o que implica condições estacionárias ou transgressões muito lentas ou regulares;

b) a taxa de depressão excede a taxa de suprimento de clastos terrígenos, o que irá resultar em uma transgressão rápida;

c) a taxa de depressão é excedida pela taxa de suprimento, o que produzirá uma linha de costa estacionária ou progradante.

Além destes, o autor aborda também o caso de queda do nível do mar e a situação eustática estacionária (Grabau, 1924, p. 733). O que chama a atenção é que as idéias de autores modernos como Vail e colegas se aproximam com impressionante semelhança às concepções do início do século, o que demonstra que a raiz da moderna estratigrafia não está nas publicações de 1977 da Exxon nem nas de Sloss ou Wheeler, mas na escola européia e norte-americana de estratigrafia do início do século XX. Tanto é que em sua série de artigos de 1977, Vail e colegas citam o trabalho de Grabau, embora não deixem explícito o fato que essa discussão básica sobre o controle sedimentar não é deles, mas de um geólogo e professor de estratigrafia que trabalhou meio século antes deles.

Chamberlin (1909, *in* Dott, 1991), pai da hipótese de uma Terra em processo de encolhimento, embora não tenha usado o termo eustasia, apresentou a idéia de regressões e transgressões globais terem controle diastrófico - o movimento e modelamento do nível de base “implicaria em uma série homóloga de depósitos por todo o mundo”.

Outro pioneiro foi Stille, tectonista alemão, que em 1924 estabeleceu a teoria das orogenias globais. Stille, gerador de teoria sobre tectônica (vide sua obra fundamental *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*), defendia o ponto de vista que as fases orogênicas induzem regressões a nível global, apresentando uma curva da variação do nível do mar para o Fanerozóico, reproduzida na Fig. 9.

Seu colega e compatriota Haarmann (1930) também defendeu esse ponto de vista - que movimentos tectônicos causam como fenômeno secundário as subidas e descidas do nível do mar.

Figura 9 - A curva de variação do nível do mar de Stille (1924) e as épocas de desdobramentos (extraído de Hallam, 1991). As fases de desdobramentos são causadores de movimentação do nível do mar, como na concepção de Grabau (comparar com a figura 4).

Esses exemplos evidenciam que o estudo sobre a eustasia, a preocupação acerca de seu caráter global, sobre seu mecanismo gerador e o seu possível uso como instrumento de correlação data do início do século.

Na verdade, o controle da eustasia sobre a sedimentação foi uma idéia que sempre permeou o trabalho de estratigrafia, como sintetiza Gignoux em

Figura 10 - Relações de contato entre diferentes fácies marinhas, de Dunbar & Rodgers (1957); o *onlap* caracteriza regimes transgressivos, o *offlap* os regressivos.

³ a extensão dos antigos mares em cada período é obviamente um dos mais importantes dados para a paleogeografia, e a distribuição, comumente chamado de movimento dos mares, há muito tempo vem merecendo a atenção dos estratígrafos

1950: "The extent of the old seas in each period is obviously one of the important datas for paleogeography, and the distribution, commonly called the movement of the seas, has for a long time held the attention of stratigraphers"³ (p. 16).

A sedimentação eustaticamente controlada ganha destaque também no livro de Dunbar & Rodgers (1957), onde aparece pela primeira vez o termo *onlap* para designar um recobrimento sedimentar discordante, embora utilizado pelos autores somente para as fácies marinhas (Fig. 10). Esses autores devem ter se inspirado na idéia de Grabau de 1906, embora também não deixam isso claro no seu trabalho.

As superfícies transgressivas, elementos-chave na montagem do arcabouço cronoestratigráfico na concepção atual da estratigrafia de seqüências, e descritas como superfícies com resíduos sedimentares na forma de conchas, grânulos e seixos, intraclastos, etc. (cf. Van Wagoner, 1991), são citadas pela primeira vez no trabalho de Dunbar & Rodgers (1957), embora sem a conotação cronoestratigráfica que as superfícies transgressivas atualmente têm.

O controle eustático também é discutido quando os autores apresentam os princípios de deposição em áreas transicionais (deltas), mostrando uma ilustração reproduzida na figura 11. Essa figura, por sua vez, pode servir de ilustração para o texto de Grabau de 1924.

Os autores revelam, através de ilustrações e textos, a preocupação com a questão do controle eustático, uma vez que havia uma tendência, ainda que tímida e incipiente, de considerar a eustasia um fator muito importante, se não, o principal, para o estudo e o entendimento das seqüências estratigráficas.

Krumbein & Sloss (1956) comentam que os grandes *overlaps* e *offlaps* continentais seriam fruto essencialmente da variação eustática e ventilam a possibilidade de realizar, no futuro, correlações pelas variações eustáticas, preconizando, de modo indireto e velado, o uso das "curvas de Vail" vinte anos mais tarde, dizendo que "...there is no longer much general support among stratigraphers for the principle of correlation based on synchronous diastrophism. Many workers, however, feel that certain physical events have a simultaneous interregional and intercontinental effect on sedimentation"⁴ (Krumbein & Sloss, *op.cit.*, p. 308).

⁴ dentre os estratígrafos não há mais muito apoio ao princípio de correlação baseada em diastrofismo síncrono. Muitos pesquisadores, contudo, sentem que determinados eventos físicos tem um efeito simultâneo interregional e intercontinental sobre a sedimentação

Figura 11 - Construção deltaica sob regime eustático variado, segundo Dunbar & Rodgers (1957). Em a, o nível do mar é constante, em b está em subida constante e em c a subida do nível do mar é intermitente.

Contudo, apesar da discussão e disputa científica, parece que a grande comunidade científica geológica estava alheia à idéia da eustasia global e dos mecanismos de controle sobre a sedimentação, preferindo seguir as idéias de Davis (1896, *in* Fairbridges, 1961) sobre um “nível do mar médio”, que sofre apenas ligeiras oscilações; ou as de Johnson (1919, *in* Fairbridges, 1961), que o nível do mar se mantém essencialmente constante por milhões de anos. Até a década de cinquenta, a pesquisa geológica era condicionada por essa idéia do nível do mar relativamente constante, justificando o protesto de Wheeler (1954) a respeito do “Dogma do Nível do Mar Constante”: “*What is so sacrosanct about sea level?*” Apenas lentamente e aos poucos as bases da comunidade geológica absorvem as idéias novas, e no início dos anos 60 a eustasia e a sua influência sobre a sedimentação tem ampla aceitação, como relata Fairbridges (1961).

Fairbridges foi um grande “eustasista”, escrevendo o capítulo “Eustatic changes in sea level” do quarto livro da série *Physics and chemistry of the earth* (Ahrens *et al.*, 1961). Além de apresentar um excelente histórico, mostra muitos exemplos de sedimentação eustaticamente controlada e elabora curvas eustáticas detalhadas para o Holoceno.

Um conceito importante que liga os movimentos eustáticos à formação das seqüências sedimentares é

Figura 12 - Seção idealizada de um ciclotema (Weller, 1957). É um tipo de ciclo eustaticamente controlado, muito popular na época.

Figura 13 - Coluna estratigráfica mostrando diversos ciclotemas (Moore, 1964). Notar como as idéias de unidades delimitadas por discordâncias e do controle eustático estão presentes na interpretação dessa sucessão sedimentar.

o dos ciclotemas, como definidos no trabalho de Weller (1957). Esses ciclos são explicados em termos de transgressão e regressão dos oceanos, como mostra a figura 12.

Em trabalhos sobre os ciclotemas de Kansas/USA, Moore (1964) reconhece dois ciclos transgressivos completos, marca as discordâncias e estabelece assim, ainda que de modo involuntário e não expresso, seqüências deposicionais *sensu* Sloss. A coluna estratigráfica interpretada pelo autor (Fig.13) é para nós um exemplo contundente de como a idéia das *unconformity bounded units*, por um lado, e a eustasia como fator controlador, por outro, eram entremeadas nos trabalhos da estratigrafia, carecendo apenas de um firme e bem embasado trabalho de integração e, por assim dizer, “oficialização”.

A integração e oficialização, contudo, teve de esperar o advento de ferramentas modernas como sísmica e computação, chegando à estratigrafia moderna através do já citado e célebre *Memoir 26*, editado por Payton em 1977.

Esta publicação constitui um marco histórico para a estratigrafia moderna, porque tem o grande mérito de reunir os conceitos historicamente existentes mas dispersos e subutilizados pela estratigrafia, revesti-los de nova roupagem científica e comprovar sua aplicabilidade através de inúmeros exemplos práticos. Com isso inaugurou uma fase revolucionária na nossa ciência, firmando o que veio a ser o novo paradigma na estratigrafia.

Esse paradigma, em sua essência, estabelece que o padrão de sedimentação em uma bacia (a princípio, modelado para uma bacia em margem continental

passiva) é controlado basicamente pelas variações relativas do nível do mar, que por sua vez são função do influxo sedimentar, da taxa de subsidência e das variações eustáticas globais, resgatando e integrando as idéias que já existiam de forma dispersa e pouco utilizadas na estratigrafia desde o início do século.

Esses fatores formam os corpos sedimentares ou seqüências, no que Vail e colegas resgatam o conceito de Sloss e descartam o uso dos termos propostos por Chang. As superfícies discordantes que delimitam as seqüências são bem marcadas e reconhecíveis em seções sísmicas, razão da grande aceitação e do triunfo quase que completo da idéia de que a partir das seqüências, demarcadas em seções sísmicas, poderiam ser construídas cartas cronoestratigráficas.

Por sua vez, o padrão das seqüências sedimentares e sua variação ao longo do tempo, em especial a cunha sedimentar clástica costeira denominada *coastal onlap*, permite o estabelecimento de curvas globais de variação do nível do mar.

Essa é a tônica das idéias de Vail e colegas, publicadas em uma série de trabalhos no referido *Memoir*.

Os principais conceitos, alguns realmente novos, outros resgatados da história da Estratigrafia desde Blackwelder e Grabau, são os seguintes:

- as seqüências deposicionais são reconhecíveis e delimitadas por limites superiores e inferiores que encerram discordâncias e concordâncias relativas. Com isso, os autores resgatam o conceito emitido por Sloss e colegas em 1949 e ampliam sensivelmente a utilidade e aplicabilidade deste, estendendo a análise de seqüências virtualmente a qualquer terreno sedimentar e não só a grandes áreas cratônicas como nos trabalhos antigos;

- o deslocamento repentino do *onlap* em direção à bacia evidencia queda eustática rápida, com exposição da plataforma e retrabalhamento subaéreo (fluvial), criando *canyons* (os *vales incisos*, como hoje são chamados);

- a cunha sedimentar costeira ou *coastal onlap* é um espelho do nível relativo do mar e, portanto, sua variação permite estudar e quantificar as variações eustáticas ocorridas.

O modelo basicamente trabalha com a variação do nível eustático de um lado e da variação do suprimento de sedimentos do outro, entretanto, sem quantificar a influência de taxas variadas de subsidência, o que ocorreria anos mais tarde (através de trabalhos como o de Jerve, 1988).

Deste modo, em um regime de subida relativa do nível do mar, pode ocorrer uma transgressão (se o

Figura 14 - Transgressão, regressão e *onlap* costeiro durante subida do nível do mar (de Vail *et al*, 1977) determinam o padrão sedimentar. Notar que esse desenho e a discussão dos autores pouco acrescenta à de Dunbar & Rodgers (1957), e pode servir para ilustrar a discussão do texto de 1924 de Grabau. Isso mostra que as idéias básicas da estratigrafia são antigas e apenas periodicamente recicladas.

suprimento sedimentar for baixo), uma regressão (se for alto) ou uma linha de costa estacionária (se o aporte sedimentar for balanceado) conforme mostra a figura 14. Como vimos antes, essa é a idéia central de um texto de 1924 de Grabau.

O mesmo raciocínio é empregado para as quedas eustáticas, e com o comportamento do *onlap* foi possível a Vail e colegas o estabelecimento de ciclos de variação que, para esses autores, são de abrangência global. O padrão básico é o ciclo assimétrico: um longo período de levantamento eustático (alguns milhões de anos) é seguido por um período de queda rápida (poucos milhares de anos) como, aliás, já sugerido pelos trabalhos com os ciclotemas, como o de Moore (1964).

As curvas de variação eustática, com seu acentuado caráter assimétrico, foram duramente criticadas devido a aparente impossibilidade de existirem quedas “instantâneas” no nível do mar como preconizadas pelas “Curvas de Vail”. Nos primeiros anos após a publicação dos artigos, a escola da Exxon defendia ardorosamente as curvas assimétricas, catalisando disputa científica acirrada. Só no final da década de oitenta é que o erro metodológico das curvas de 1977 é reconhecido e corrigido: as curvas assimétricas representam a variação do *onlap* costeiro

e não do nível eustático, como comentaremos mais adiante.

Os autores, ao estabelecerem as curvas de variação, concluíram que existem, na verdade, ciclos dentro de ciclos, isto é, o mesmo padrão assimétrico repetido em diversas escalas, o que levou ao estabelecimento de ciclos de diversas ordens.

Para explicar a natureza global destas variações, Vail e colegas postulam que o mecanismo primário é a variação do nível eustático, isto é, do volume de água oceânica, em última análise. Duas causas são levantadas:

1 - variação do volume de água devido a glaciações ou introdução de água juvenil devido a magmatismo intenso;

2 - variação na forma da bacia oceânica devido à tectônica de placas (variação na taxa do *sea-floor spreading*, ajustamento isostático devido à variação de densidade da crosta).

Sumariamente, a explicação dos ciclos de primeira ordem está, segundo Vail e colegas, nos mecanismos tectônicos e a dos ciclos de segunda ordem (e alguns de terceira) está nas glaciações. Ambos controlam a formação das seqüências deposicionais e seus limites discordantes e concordantes nas bacias sedimentares.

Estas explicações foram alvo de muitas críticas, algumas bem fundamentadas.

Vail e colegas acreditam que o padrão das curvas tem aplicação global e que a variação está nas alterações do regime tectônico e nas glaciações.

No artigo de Brown & Fisher, no mesmo *Memoir*, há críticas quanto ao modelo proposto por Vail e colegas e interpretações diferentes, que vale a pena serem brevemente comentadas.

Os autores, como consultores da Petrobrás, apresentam uma análise, via sismoestratigrafia, das bacias costeiras brasileiras, reconhecendo três sistemas deposicionais (delta, plataforma e talude) e cinco tipos fundamentais de bacias *rift and pull-apart*. Do ponto de vista metodológico e conceitual, os seguintes aspectos merecem ser destacados:

- eles usam a definição de Fisher & McGowen, de 1967, para sistema deposicional;

- já falam em trato de sistema como agrupamento de diversos sistemas vinculados no tempo, conceito-chave no entendimento do controle eustático da deposição (e.g. Posamentier & Vail, 1988);

- reconhecem o caráter isócrono das reflexões regionais;

- dizem que uma bacia é preenchida por acreção em direção à bacia, mais lateralmente do que verticalmente;

Figura 15 - Concepção de (A) Vail *et al* (1977) e de (B) Brown & Fisher sobre o padrão de sedimentação e a geração de depósitos leques submarinos. Enquanto que os pesquisadores da Exxon vinculam erosão durante a fase de mar baixo à geração de leques, Brown & Fisher apresentam o oposto.

- afirmam que o grau de superposição das cunhas clásticas é controlado primariamente pela taxa de subsidência, compactação e fluxos de sal ou argila;
- reconhecem os limites de seqüências *sensu* Vail e colegas.

Algumas das concepções de Brown & Fisher são ainda hoje utilizadas, outras não; e já na época da publicação havia diferenças na interpretação das seqüências entre esses autores e a equipe de Vail.

A figura 15A mostra os padrões deposicionais durante níveis de mar alto (a) e baixo (b), segundo a idéia de Vail e colegas.

Em regime de mar alto, cria-se o *offlap* marinho na bacia e o *coastal onlap* materializa a planície costeira. Já em regime de mar baixo, a plataforma fica exposta e há a formação de um leque marinho. Neste aspecto reside uma diferença de interpretação fundamental em relação ao trabalho de Brown & Fisher.

Esses autores fazem uma distinção básica entre dois padrões de sedimentação, o *onlap* e o *offlap* (Fig. 15B).

O *offlap* ocorre durante regimes de suprimento constante de sedimento via deltas, fan-deltas, etc. O *onlap* ocorre durante fase de mar alto, quando o suprimento de clásticos diminui e processos erosionais retributam a plataforma.

Em outras palavras, Brown & Fisher achavam que os *canyons* gerados são vinculados a correntes de turbidez e outros fluxos gravitacionais submarinos durante as fases de mar alto, enquanto que Vail e colegas associavam “leques marinhos” à desembocadura de vales fluviais escavados na plataforma durante períodos de baixo nível eustático.

Com o passar do tempo a concepção de Vail e colegas ganha força e crescente aceitação, embora houvesse sérios problemas em relação à interpretação dos *incised valleys* como vales fluviais. Estas áreas erodidas alcançam em alguns casos milhares de metros de profundidade e dezenas de quilômetros de largura, mantendo, desta forma, muito pouca semelhança com um vale fluvial como se conhece. A ausência de fácies tipicamente fluviais e estuarinas nos *canyons* também precisaria ser melhor explicada por Vail e colegas, assim como a falta de conexão entre os *canyons* e os vales fluviais emersos (por outro lado havia registros de vales profundos e extensos, preenchidos por faciologia fluvial, como é o caso do Mississipi, como Van Wagoner e equipe demonstrariam anos mais tarde, dando aval à idéia de Vail e colegas).

A mesma diferença interpretativa ocorre em relação aos leques submarinos, que Brown & Fisher julgavam produto de erosão submarina, enquanto Vail e colegas interpretavam os leques como sendo

derivados de sistemas fluviais atuantes durante as fases de mar baixo.

Outras vozes discordantes se levantaram após a publicação dos trabalhos de Vail e colegas, em especial no que diz respeito à elevada assimetria das curvas que representariam o comportamento eustático global: o postulado nada parcimonioso das quedas extremamente rápidas após períodos de lenta subida preconizadas pela equipe da Exxon.

Montadert (1982), em um simpósio sobre as tendências da moderna estratigrafia, diz que um dos maiores problemas da “Curva de Vail” é que não existe um mecanismo que explique satisfatoriamente as variações eustáticas de grande amplitude mas pequena duração, tal qual propostas por Vail e colegas. Isso se refere em especial aos ciclos menores, de 3ª ordem (1 a 10 Ma), cuja frequência no registro estratigráfico não é compatível com ocorrências de glaciações, que poderiam explicar tais variações.

Watts (1982) vai mais longe e sugere que a maior parte da “Curva de Vail” é controlada pela tectônica e não pela eustasia, apontando que o padrão do *onlap* modelado através do estudo de resfriamento e crescente rigidez flexural com a idade é “impressionantemente similar” (p. 469) ao padrão do *onlap* mostrado pelas curvas da Exxon.

Igualmente a variação do *sea-floor spreading*, supostamente responsável pelas variações eustáticas, em especial da grande queda nos últimos cem milhões de anos, não seria de magnitude tão significativa. Cálculos feitos a partir do teor de lítio (de origem vulcânica proveniente das cadeias meso-oceânicas) em testas de foraminíferos indicam que efetivamente a crosta oceânica não se expandiu, nos últimos 100 milhões de anos, com velocidades muito diferentes das atuais.

Vail e colegas calibraram a sua curva com dados de Pitman (1978), que hoje se sabe forneceram valores muito exagerados, tanto é que a variação no nível do mar na curva de 1977 de Vail e colegas é da ordem de 350 metros desde o final do Cretáceo (vide Payton, 1977, p. 91), enquanto que nas curvas de 1988 (cf. Haq *et al.*, 1988) essa variação não ultrapassa 250 metros. Kominz (*in* Kerr, 1984) retrabalhou os dados de Pitman (*op.cit.*) e achou um valor em torno de 230 metros para essa queda, embora a autora afirme que as dúvidas e incertezas quanto aos dados permitem uma faixa de variação de 45 até 365 metros.

Portanto, enquanto havia a “escola eustasista” norteadora por Vail e colegas, existia também uma “escola tectonista”, que refutava a idéia do controle eustático sobre gênese deposicional e sobre as discordâncias geradas.

Um dos primeiros trabalhos a apresentar a idéia de que a tectônica controla a sedimentação e a geração de discordâncias numa escala global é o de Schwan (1980), que vincula a variação na taxa do *sea-floor spreading* de 112, 77, 40 e 10 Ma com geração de montanhas e queda do nível do mar. Os eventos tectônicos seriam responsáveis pela gênese das discordâncias inter-regionais e das variações na "Curva de Vail". O autor conclui (p. 362) que a análise de Vail e colegas confirma as características dos eventos orogênicos, sua episodicidade e sua contemporaneidade. A idéia central do texto de Schwan remete às idéias de Stille no início do século.

Outros trabalhos que criticam a questão do excessivo peso da eustasia no controle sedimentar são os de Hubbard *et al.* (1985a, b), que abordam uma linha crítica calcada na idéia de que o controle tectônico é essencial e que as variações eustáticas continuam insatisfatoriamente explicadas pelos mecanismos propostos por Vail e colegas, isto é, destacam a falta de explicação convincente para as variações eustáticas e condenam o desprezo da tectônica como fator controlador da deposição e da geração de discordâncias. Para os autores, o padrão de ocorrência de seqüências e as discordâncias implícitas são produto de rearranjos de placas e suas respectivas orogenias, e afirmam categoricamente: ... "We find little support for Vail's proposal (...) to match observed unconformities to empirically derived sea-level curves which are considered to reflect global eustasy"⁵ (Hubbard *et al.*, 1985a, p. 112).

Da mesma forma, Shanmugan (1988) coloca em dúvida que as discordâncias da estratigrafia de seqüências, causadas por quedas do nível do mar, são de natureza global, acreditando que pelo menos algumas discordâncias globais tenham sido geradas por tectonismo.

Outro a trabalhar nesta linha de raciocínio é Miall (1986), que igualmente não aceita as idéias da "escola da Exxon", responsabilizando migrações de fácies e subsidência flexural pelo padrão de *onlap* mostrado pelas bacias sedimentares. A mesma linha crítica o autor mantém em um trabalho posterior (Miall, 1991), que comentaremos mais adiante.

May & Warme (1987) também levantam questionamentos, discutindo a possibilidade de que a tectônica, e não a isostasia, seja responsável pelos eventos deposicionais das bacias da margem oeste dos Estados Unidos, concluindo (p. 46) que em muitos

locais estudados a influência eustática é suplantada por fatores tectônicos locais.

Portanto, o que ocorre na década de oitenta é uma reedição da disputa *tectonistas versus eustasistas* do início do século, quando eustasistas como Grabau tinham seu contraponto em tectonistas como Stille e Haarmann.

Uma idéia diferente sobre a origem de discordâncias é apresentada por Tucholke & Embry (1984). Os autores, ao estudarem a erosão na zona *offshore* da África do Sul, afirmam que correntes de fundo erodem o assoalho oceânico e podem, em épocas de baixo suprimento sedimentar, ser responsáveis por discordâncias.

A divisão em ciclos de diferentes ordens de grandeza, advogada por Vail e colegas, também encontra seus críticos justamente porque algumas variações de menor ordem são de difícil explicação.

Cloetingh (1986, 1988) oferece alternativa concreta para a explicação das variações eustáticas globais, especificamente as de 3ª ordem: o chamado *stress* intraplacas (*intraplate stress*). As placas tectônicas apresentariam províncias de *stress* compressional e tensional, com ordem de grandeza de centenas de quilômetros de extensão. A interação dos campos de *stress* com a carga sedimentar pode resultar em variações do nível do mar da ordem de cem metros, o que faz o mecanismo ser potencialmente responsável pelas variações de 3ª ordem.

Harland *et al.* (1989) reconhecem o caráter global e praticamente instantâneo das mudanças eustáticas mas acham que o registro é inevitavelmente perturbado pelo controle crustal local e regional, e por isso as curvas eustáticas globais, para serem utilizadas em escalas de tempo e trabalhos de correlação, são "promissoras mas ainda problemáticas" (p. 5).

Em resumo, a teoria, ou paradigma da Estratigrafia de Seqüências era neófito em 1977 e as diferentes idéias sobre o mesmo objeto fazem parte do progresso científico. Mais tarde, na década seguinte, a teoria seria aperfeiçoada e muitas idéias bem aproveitadas, enquanto outras cairiam no esquecimento.

Com a continuidade da pesquisa, os conceitos estabelecidos foram ampliados, aperfeiçoados e tornados públicos em trabalhos como de Vail *et al.* (1984), Vail (1987), Wilgus *et al.* (1988) e Van Wagoner *et al.* (1990).

Não será aqui abordado o pormenor de todos os trabalhos por uma questão de espaço (só a publicação de Wilgus *et al.*, que constitui-se de *Special Publication* com uma dúzia de trabalhos profundos, complexos e polêmicos, demandaria um livro para ser analisada e criticada).

⁵ Achamos pouco apoio à proposta de Vail... para relacionar as discordâncias observadas à curva do nível do mar empiricamente derivada e considerada como refletindo eustasia global

Contudo, os principais conceitos novos devem ser sumariamente apresentados e comentados. No nosso ponto de vista, os conceitos e “novidades” mais importantes são:

1 - a definição e detalhamento dos tratos de sistema, vinculados com a curva eustática e as discordâncias do tipo 1 e 2 (trabalho de Posamentier *et al.*, in Wilgus *et al.*, *op.cit.*);

2 - o estabelecimento de cartas cronoestratigráficas e de variação do nível do mar mais detalhadas devido à descrição e datação de rochas marinhas em diversas partes do mundo e não só baseada no *onlap* costeiro como a “Curva de Vail” de 1977, criando um documento mais abrangente e confiável (trabalho de Haq *et al.*, in Wilgus *et al.*, *op.cit.*);

3 - a conceituação de *accomodation* (acomodação de sedimento em função do espaço criado pela interação eustasia/subsidências) para explicar por que ocorre deposição em algumas áreas, erosão ou *bypass* em outras (trabalho de Jervey, in Wilgus *et al.*, *op.cit.*);

4 - a modificação do conceito de discordância (em relação àquele de 1977), envolvendo necessariamente truncamentos erosivos ou exposições subaéreas, e, deste modo, hiatos significativos, além da classificação em tipos (1 e 2) que facilitam a interpretação (trabalho de Vail, 1987). Em razão disso, o conceito de seqüência também foi modificado, e existe controvérsia sobre isso (uma vez que há autores que dividem seqüências estratigráficas de modo muito diferente, *e.g.* Galloway, 1989);

5 - a modificação da curva eustática, que deixa de ter a forte assimetria da sua precessora de 1977 e apresenta subidas e descidas mais suaves; com isso ocorre a introdução da idéia de que a curva de variação eustática é uma curva matematicamente tratável, com dois pontos de inflexão - R e F, de subida (*raise*) e descida (*fall*), como pode ser demonstrado pela derivação destas curvas (Posamentier *et al.*, in Wilgus *et al.*, *op.cit.*);

6 - o conceito de parasseqüência como unidade menor e operacional (do trabalho de Van Wagoner, 1985); na verdade uma expansão do conceito dos *punctuated aggradational cycles*, de Goodwin & Anderson (1985);

7 - a idéia do controle eustático influenciando também na sedimentação continental, com a deposição aluvial controlada pelo padrão de migração do *onlap* costeiro, situando-se no trato transgressivo, entre o máximo eustático e o ponto F da curva eustática (trabalho de Posamentier & Vail, in Wilgus *et al.*, 1988).

Essa última assertiva julgamos particularmente importante, porque se constitui em um avanço significativo para quem trabalha com seqüências continentais aluviais. Enquanto Vail *et al.* (1977) ainda afirmam (p.65) que os depósitos continentais, por eles chamados de *hinterland sequences*, se depositam independente das seqüências marinhas, e por isso não eram incluídos na discussão sobre o nível do mar, o trabalho de Posamentier & Vail (1988) mostra um arcabouço teórico muito bem fundamentado, explicando a deposição fluvial em função da variação eustática e do nível de base, integrando desta forma o estudo da deposição em ambiente terrestre com o costeiro-marinho. Isso é particularmente importante para aplicação dos conceitos em depósitos não marinhos, como, por exemplo, os sistemas triássicos em boa parte do Gondwana (*e.g.* Grupo Rosário do Sul, na Bacia do Paraná do RS). Na citada unidade litoestratigráfica, existem pacotes aflorantes de pelitos essencialmente lacustres, com uma geometria de estratos que permite nitidamente a distinção de sua relação estratal (*onlap*) e inferências quanto às variações no nível d'água deste sistema (*e.g.* Scherer *et al.*, 1991).

O estudo de seqüências continentais ainda é muito incipiente nesse aspecto, mas os primeiros sinais e contatos mostram que o arcabouço teórico básico da Aloestratigrafia e da Estratigrafia de Seqüências tem aplicabilidade (*e.g.* Scherer & Holz, 1993; Ribeiro & Lavina, 1994). Neste particular, adotamos as palavras de Sloss (1984, p. 1): “*These and related questions demand increased communication between land-based and seagoing stratigraphic and tectonic specialists*”⁶.

Isso fica patente se analisarmos, por exemplo, trabalhos como o de Posamentier & Allen (1994), na parte onde esses autores abordam estratigrafia de seqüências de sistemas fluviais, através do padrão de empilhamento dos depósitos de canal (p. 31/32). Outro exemplo da busca em torno da aplicabilidade universal do novo modo de fazer estratigrafia é a publicação de Kocurek & Havholm (1993), propondo um arcabouço conceitual para aplicação da estratigrafia de seqüências em sistemas eólicos.

Assim como em 1977, os trabalhos da escola eustasista que elaboraram o *memoir* 42, de autores como Henry Posamentier & John Wagoner, além de Peter Vail e alguns remanescentes da nominata de autores do *Memoir* de 1977, sofrem críticas de diversos autores.

⁶ algo como estas e outras questões relacionadas demandam comunicação crescente entre especialistas em estratigrafia e tectônica, tanto do domínio continental quanto marinho

Dentre estes críticos se destaca Miall (1991), que apresenta uma crítica contundente em cima de dois aspectos fundamentais da teoria de Posamentier e colegas: a relação entre sedimentação aluvial e queda do nível do mar e o papel da linha de baía (que Miall diz não existir), e a maneira inconsistente de explicar o reajuste do perfil de equilíbrio e a variação de espaço subaéreo, já que o modelo de Posamentier e colegas está em desacordo com dados de campo relacionados por Miall. Da mesma forma, o autor não concorda com a validade em escala global da curva eustática de Haq *et al.* (1988), apresentando uma série de inconsistências internas quanto à datação de eventos e limites de seqüências e condenando o desprezo pelo fator tectônico.

Trabalhos mais recentes da escola eustasista (*e.g.* Vail *et al.*, 1991) já introduzem modificações nos conceitos e nas definições previamente estabelecidas, como por exemplo o *offlap break* (em substituição ao *depositional shelf break*) ou a especificação das *trans-*

gressive surfaces, em relação aos tratos de sistemas que as contém (*top lowstand surface* para a separação entre os tratos de mar baixo e transgressivo, e *top shelf-margin surface* para designar o contato entre os tratos de mar alto e o trato de *shelf margin*). De mesmo modo, ao papel da tectônica como controlador de eustasia e sedimentação já é dada mais importância do que em trabalhos anteriores (*e.g.* Vail *et al.*, *op.cit.*).

Cabe citar aqui a edição de Kleinspehn & Paola (1988), abordando perspectivas da moderna análise de bacias. Das 21 contribuições, nada menos que 9 abordam o papel da tectônica como controle da sedimentação.

A tendência moderna é de integrar todos os conceitos, mecanismos e produtos em uma abordagem unificada e integrada, sem peso maior para o lado da tectônica ou da eustasia. Essa visão fica muito bem traduzida pela edição de MacDonald (1991), através da *International Association of Sedimentologists*. Seu título: Tectônica, Sedimentação e Eustasia.

Figura 16 - Concepção de Galloway (1989) sobre as seqüências estratigráficas genéticas e sua relação com as seqüências deposicionais *sensu* Exxon do tipo 1 (em A) e tipo 2 (em B). Para Galloway, as superfícies de inundação são melhores horizontes estratigráficos porque delimitam sistemas deposicionais contemporâneos e são fáceis de serem reconhecidos e correlacionados, ao contrário dos limites de seqüências *sensu* Exxon.

O próprio caráter global da eustasia está colocado sob suspeita, já que há crescente reconhecimento de um outro fator historicamente negligenciado: a altura do geóide, como já pregado por Mörner (1976) como fator influente na altura do nível global dos mares e simplesmente descartado pela influente escola da Exxon. Tooley (1993) afirma categoricamente que a eustasia como fenômeno global e simultâneo é obsoleto e de interesse apenas histórico, devido ao comportamento diferenciado das várias bacias oceanicas: o geóide e suas deformações devido a variação na densidade da astenosfera são responsáveis por variações que não são globalmente correlatos, invalidando totalmente tentativas como a "Curva de Vail" ou a "Curva de Haq". É o conjunto de fatores que determina o padrão sedimentar de uma bacia.

Atualmente, portanto, há uma nítida tendência à unificação das escolas. Ambas cederam na sua rigidez inicial e estão mais preocupadas em entender a dinâmica da gênese e preenchimento de uma bacia do que discutir se eustasia ou tectônica é o fator fundamental. Isso fica claramente demonstrado pelas afirmações de Posamentier & Allen (1994), ao comentarem a evolução da Estratigrafia de Seqüências: ela é uma metodologia ou ferramenta, não um modelo rígido (*rather a tool than a template*). Mais adiante dizem tudo: ... "*the sediments do not know the difference between eustasy and tectonics...*". Deste modo, os autores querem deixar claro que os modelos da estratigrafia de seqüências, tão ardorosamente defendidos pelos seus proponentes nos anos oitenta, não devem ser superestimados. A moderna estratigrafia de seqüências se pretende uma ferramenta, não um esquema rígido, um modelo obrigatório no qual todo e qualquer dado deve ser encaixado devidamente.

É neste espírito que todas as concepções, desde que elaboradas sob o ponto de vista da dinâmica do processo sedimentar e estratigráfico, são bem-vindas e existem propostas diferentes das da escola da Exxon, mas igualmente úteis e válidas.

Este é o caso das Seqüências Estratigráficas Genéticas. Este enfoque algo diferente sobre seqüências eustaticamente controladas foi apresentado por William Galloway em 1989, desenvolvendo uma idéia inspirado pelos conceitos de Frazier (1974). O autor propõe o conceito das *genetic stratigraphic sequences*, que difere da seqüência *sensu* Exxon por ter como limites não superfícies discordantes e sim superfícies de inundação, que marcariam os episódios de não-sedimentação durante as inundações marinhas. O próprio Galloway faz uma integração entre a

seqüência dele e a da Exxon, mostrando as diferenças de concepção (Fig. 16, reprodução da Fig. 6 desse autor). Segundo o autor, a seqüência estratigráfica genética reflete um evento deposicional, gerado em um período de estabilidade paleogeográfica regional e tem a vantagem de prescindir do reconhecimento de amplas superfícies de erosão subaérea.

Outro a se posicionar contra a Estratigrafia de Seqüências *sensu* Exxon é Walker (1990, 1992). Embora seja da "escola eustasista", admitindo este mecanismo como fator fundamental de controle deposicional, o autor posiciona-se contra a escola da Exxon porque considera a Estratigrafia de Seqüências muito teórica e interpretativa. Walker defende a Aloestratigrafia, diz que ela não substitui a Litoestratigrafia, mas realça a questão das discordâncias que limitam as unidades. Para ele, o paradigma é a interpretação da Formação Cardium do Turoniano de Alberta/Canadá, sendo a principal característica o reconhecimento de discordâncias geradas por subidas do nível do mar, resgatando o modelo de retração erosiva do *shoreface* preconizado por Nummedal & Swift (1987).

Portanto, atualmente existem vários modelos e conceitos de seqüências. As unidades tectono-eustáticas popularizadas por Sloss e as unidades cujas discordâncias foram geradas por subida do nível do mar, idéia de Walker, são, portanto, unidades aloestratigráficas e como tais contempladas pelo código de nomenclatura estratigráfica de 1983, ainda que de forma extremamente sucinta (não mais de meia página!). O modelo de seqüências que nasceu dentro da Exxon, por sua vez, não existe formalmente contemplado no código. Assim, a diferença conceitual deve ficar bem clara, para que se evite a utilização do termo "estratigrafia de seqüências" de maneira inadequada.

Em resumo, pode-se dizer o seguinte: do ponto de vista conceitual, existe, ao lado das unidades estratigráficas tradicionais (lito, bio, crono, pedo, alo, etc.), uma conceituação diferente, que, antes de ser um modelo, é uma ferramenta de trabalho - a estratigrafia de seqüências da Exxon.

A aloestratigrafia trabalha com seqüências deposicionais, que são corpos sedimentares delimitados por discordância. Como se formam essas discordâncias - se por queda, se por subida eustática, se por influência tectônica - é irrelevante para a classificação estratigráfica. Em todo caso trata-se de uma unidade alo-estratigráfica.

A seqüência *sensu* Exxon, por sua vez, tem conceitualmente uma forte condicionante: a discordância tem que ter sido gerada por queda do

nível do mar e reconhecida como tal. Essa diferença conceitual tem que estar muito clara antes de se falar em estratigrafia de seqüências.

CONCLUSÕES: O PANORAMA ATUAL

Atualmente se aplica a Estratigrafia de Seqüências em praticamente todos os tipos de dados, seja seção sísmica, seja perfil de poço, testemunhado ou não. O conhecimento dos tratos de sistemas e das seqüências que os encerram já está de tal modo avançado que permite sua demarcação a partir de logs de poços (cf. Vail & Wornhardt, 1990; Sangree *et al.*, 1990) e em seqüências faciológicas e afloramentos (Boyd *et al.*, 1989; Van Wagoner *et al.*, 1990; 1991).

Conforme mencionamos antes, a rigidez na aplicação dos modelos dos primeiros anos cedeu lugar a uma visão mais flexibilizada e integradora, onde a Estratigrafia de Seqüências é vista como uma ferramenta e não um esquema rígido ou um código (e.g. Posamentier & James, 1993; Posamentier & Allen, 1994), e tem aplicabilidade praticamente universal porque é independente de escala ou tempo (e.g. Posamentier *et al.*, 1992; Koss *et al.*, 1994). Desde os depósitos em escala centimétrica até as megaseqüências regionais, a sedimentação é controlada pelos mesmos princípios e pode ser estudada e compreendida pela mesma teoria. Esse é o seu grande mérito.

A "Estratigrafia tradicional" (Litoestratigrafia *sensu* Código Estratigráfico Norte-Americano de 1983) está perdendo terreno em larga escala.

O florescer e difusão da moderna escola alemã de estratigrafia de ciclos e eventos (e.g. Einsele & Seilacher, 1982; Einsele *et al.*, 1991) é outro passo decisivo na direção de tornar a Estratigrafia uma ciência com abordagem essencialmente genética e dinâmica, através do surgimento de estudos específicos cada vez em maior número (e.g. Hailwood & Kidd, 1993; Boer & Smith, 1994). Questões como a influência de processos cósmicos (e.g. influência do ano galático no clima da Terra), do sol (e.g. ciclo de manchas solares) e orbitais (e.g. ciclos de variação da excentricidade, precessão e obliquidade da Terra) nos processos sedimentares terrestres fazem da moderna estratigrafia uma ciência sem fronteiras nem limites, ao mesmo tempo que abre as portas para uma interdisciplinaridade sem precedentes.

Assim, a estratigrafia dinâmica - com suas seqüências, ciclos e eventos - tem larga aplicação na tafonomia, ramo fundamental da paleontologia (e.g. Brett & Seilacher, 1991; Holland, 1995; Simões & Holz, 1997), no estudo de fácies orgânicas e

palinofácies (e.g. Tyson, 1995), e na paleopalinologia (e.g. Gregory & Hart, 1992; Blondel *et al.*, 1993; Holz & Dias, 1997).

Fazendo-se uma analogia com a estruturação das revoluções científicas, discutidas por Kuhn (1989), pode-se dizer que a crise da Estratigrafia, gerada pela não-aplicabilidade dos conceitos litoestratigráficos na maioria das situações e a falta de soluções perante os problemas genéticos relacionados à análise de bacias, desencadeou um processo revolucionário, representado pelo surgimento da Sismoestratigrafia, da Estratigrafia de Seqüências e da estratigrafia de ciclos e eventos, processo que incorporou, integrou e atualizou uma série de conceitos e idéias já existentes e discutidas há muito tempo.

As disputas científicas que permeiam as publicações em Sedimentologia e Estratigrafia nos últimos anos são basicamente de duas categorias: uma abrange as diferenças entre as escolas de pensamento, tipo Exxon *vs.* Austin, e a outra abarca as discussões entre "eustasistas" (e.g. Vail e colegas) e "tectonistas" (e.g. Miall, Hubbard). Tais disputas, ao nosso ver, fazem parte da fase de arrumação pós-período revolucionário, conforme concepção de Kuhn, e é a prova mais clara de que realmente a Estratigrafia passou por um processo revolucionário. Porém, essa revolução é apenas aparente se for considerado o fator histórico.

Embora se diga o contrário, nós achamos que o processo foi lento e gradual desde o início do século passado, conforme tentamos demonstrar através da pequena análise histórica apresentada. O grande mérito dos pesquisadores das décadas de setenta e oitenta foi de integrar e principalmente aplicar com sucesso os conceitos dispersos na ciência estratigráfica desde os tempos de Blackwelder. O advento da moderna técnica sísmica, com seu fantástico poder de processamento das linhas sísmicas e o conseqüente incremento na resolução destas, sem dúvida foi a chave para o sucesso. A disputa em relação à primazia do fator controlador de todo o processo deposicional - se tectônica ou eustasia - tende a abrandar, como mostram as publicações mais recentes. Do mesmo modo, a tendência de aplicar os conceitos a sistemas continentais é igualmente forte. E, quanto ao código estratigráfico, não há dúvidas de que a necessidade de reformulação é grande. A tendência é de valorizar as unidades aloestratigráficas como ferramentas básicas de análise de bacias, e de criação de nova categoria formal de unidade estratigráfica, caracterizada por seqüências *sensu* Exxon.

Agradecimentos - O autor deseja registrar seus agradecimentos a comissão editorial da revista e aos revisores do manuscrito pelas críticas e sugestões. Ao CNPq pela concessão de auxílio (Proc. 352887/96-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, L.H.; Press, F.; Rankama, K.; Runcorn, S.K. (Eds). 1961. **Physics and Chemistry of the Earth**, V.4, 317p. Barrell, J. 1917. Rhythms and measurement of geologic time. **Geological Society of America Bulletin** 28: 745-904.
- Blatt, H.; Berry, W.B.N. & Brande, S. 1991. **Principles of stratigraphic analysis**. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 512p.
- Blackwelder, E. 1909. The valuation of unconformities. **Journal of Geology**, 17:289-299.
- Blondel, T.J.A.; Gorin, G.E.; Jan Du Chene, R. 1993. Sequence stratigraphy in coastal environments: sedimentology and palynofacies of the Miocene in central Tunisia. **Special Publications of the International Association of Sedimentologists**, 18:161-179.
- Boer, P.L. & Smith, D.G. 1994. Orbital forcing and cyclic sequences. **IAS Special Publication 19**, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 559p.
- Bolyard, D.W. 1959. Pennsylvanian and Permian stratigraphy in Sangre de Cristo Mountains between La Veta Pass and Westcliffe, Colorado. **Bulletin of American Association of Petroleum Geologists**, 43 (8):1896-1939.
- Boyd, R.; Suter, J. & Penland, S. 1989. Relation of sequence stratigraphy to modern sedimentary environments. **Geology**, 17:926-29.
- Brett, C.E. & Seilacher, A. 1991. Fossil-Lagerstätten: a taphonomic consequence of event sedimentation. In: EINSELE, G.; RICKEN, W. & SEILACHER, A. (Eds.) 1991. **Cycles and events in stratigraphy**. Springer Verlag, Berlin, p. 283-297.
- Brinckmann, R. 1977. **Abriss der Geologie**. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. Zweiter Band. Historische Geologie. 400p.
- Brown, L.F. & Fisher, W.L. 1977. Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In: PAYTON, C.E. (Ed.) 1977. **Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration**. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26:213-248.
- Burnet, T. 1681. **Telluris theoria sacra**. London.
- Chambers, R. 1848. **Ancient sea-margins, as memorials of changes in the relative level of sea and land**. Chambers, Orr and Co., Edinburgh and London, 388p.
- Chamberlin, T.C. 1909. Diastrophism as the ultimate basis of correlation. **Journal of Geology**, 17:685-693.
- Chang, K.H. 1975. Unconformity-bounded stratigraphic units. **Bulletin of Geological Society of America**, 86:1544-1552.
- Churkin, M. Jr. 1962. Facies across paleozoic miogeosynclinal margin of central Idaho. **Bulletin of American Association of Petroleum Geologists**, 46(5):569-91.
- Cloetingh, S. 1986. Intraplate stress: a new tectonic mechanism for relative fluctuations of sea level. **Geology**, 14:617-26.
- Cloetingh, S. 1988. Intraplate stress: a tectonic cause for third-order cycles in apparent sea level? In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G. ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A.; VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 88. **Sea-level changes: an integrated approach**. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 42: 19-29.
- Crosby, W.O. 1912. Dynamic relation and terminology of stratigraphic conformity and unconformity. **Journal of Geology** 20 (4):289-99.
- Darwin, C.R. 1842. **The structure and distribution of coral reefs**. Smith, Elder and Co., London. 178P.
- Darwin, C.R. 1859. **On the origin of species by means of natural selection, on the preservation of favoured races in the struggle for life**. John Murray, London. 366p.
- Dott, R.H., Jr. 1983. 1982 SEPM Presidential Address: Episodic Sedimentation - How normal is average? How rare is rare? Does it matter? **Journal of Sedimentary Petrology**, 53 (1): 5-23.
- Dott, R.H. 1992. Eustasy: the historical ups and downs of a major geological concept. **Geological Society of America Memoir** 180, 111p.
- Dunbar, C.O. & Rodgers, J. 1957. **Principles of Stratigraphy**. John Wiley and Sons, New York, 356p.
- Einsele, G. & Seilacher, A. 1982. **Cyclic and event stratification**. Springer Verlag, Berlin, 536 p.
- Einsele, G.; Ricken, W. & Seilacher, A. (Eds.). 1991. **Cycles and events in stratigraphy**. Springer Verlag, Berlin, 955 p.
- Ehrenberg, C.G. 1834. Ueber die Natur und Bildung der Corallenbaenke des Roten Meeres. **Physische Abhandlungen der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaft**, Berlin, 1832: 381-438.
- Fairbridge, R.W. 1961. Eustatic changes in sea level. In: Ahrens, L.H.; Press, F.; Rankama, K. & Runcorn, S.K. (Eds). 1961. **Physics and chemistry of the Earth**, v.4, p. 99-185.
- Feijó, F.J. (Ed.). Cartas estratigráficas das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro, **Boletim Geociências da Petrobrás**, 8(1):1-249.
- Fischer, A.G. 1961. Stratigraphic record of transgressing seas in light of sedimentation on Atlantic coast of New Jersey. **Bulletin of American Association of Petroleum Geologists**, 45:1656-1666.
- Fisher, W.L. & McGowen, J.H. 1967. Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. **Gulf Coast Association Geologists Transactions**, 17:105-125.
- Frazier, D.E. 1974. Depositional episodes: their relationship to the Quaternary stratigraphic framework in the northwestern portion of the Gulf Basin. **Bureau of Economic Geology, University of Texas, Geological Circular**, 74-1, 26p.
- Galloway, W.E.; Yancey, M.S. & Whipple, A.P. 1977. Seismic stratigraphic model of depositional platform margin, eastern Anadarko Basin, Oklahoma. In: PAYTON, C.E. (Ed.). 1977. **Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration**. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26:439-449.
- Galloway, W.E. 1989. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. **Bulletin of American Association of Petroleum Geologists**, 73 (2):125-142.
- Gignoux, M. 1950. **Stratigraphic geology**. Freeman & Company, California, 1955, 682p.
- Goodwin, P.W. & Anderson, E.J. 1985. Punctuated aggradational cycles. **Journal of Geology**, 93:515-533.
- Gould, S.J. 1991. **Seta do Tempo, Ciclo do Tempo**. Cia. das Letras, São Paulo, 221 p.
- Grabau, A.W. 1905. Physical characters and history of some New York Formations. **Science**, N.S. 22:528-35.
- Grabau, A.W. 1906. Types of sedimentary overlap. **Bulletin of Geological Society of America**, 17:567-636.
- Grabau, A.W. 1924. **Principles of Stratigraphy**. A.G. Seiler, New York. 1185 p.
- Grabau, A.W. 1936. Oscillation or pulsation. **International Geological Congress, Report on the 16th session, USA, 1933**, v.1, p. 539-553.
- Gregory, W.A. & Hart, G.F. 1992. Towards a predictive model for the palynologic response to sea-level changes. **Palaios**, 7:3-33.

- Haarmann, E. 1930. *Die Oszillationstheorie, eine Erklärung der Krustenbewegung von Erde und Mond*. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, 260p.
- Hailwood, E.A. & Kidd, R.B. 1993. High resolution stratigraphy. **Geological Society Special Publication 70**, London, 1993. 357p.
- Hallam, A. 1981. A revised sea-level curve for the early Jurassic. **Journal of the Geological Society**, 138 (6):643-756.
- Hallam, A. 1992. Eduard Suess and European thought on Phanerozoic eustasy. In: Dott, R.H. 1992. Eustasy: the historical ups and downs of a major geological concept. **Geological Society of America Memoir 180**, p. 25-29.
- Harland, W.B.; Armstrong, R.L.; Cox, A.V.; Craig, L.E.; Smith, A.G. & Smith, D.G. 1989. *A geologic time scale*. Cambridge University Press, Cambridge. 263p.
- Haq, B.U.; Hardenbol, J. & Vail, P.R. 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphic and eustatic cycles. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G. ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level changes: an integrated approach. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication**, 42:71-108.
- Holland, S.M. 1995. The stratigraphic distribution of fossils. **Paleobiology**, 21(1):92-109.
- Holz, M. & Dias, M.E. 1997. Taphonomy of palynological records in a sequence stratigraphy framework: an example from the Eo-Permian from the Paraná Basin in southern Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 105 (1997).
- Hedberg, H.D. (Ed.). 1976. *International stratigraphic guide*, by the International Subcommission on Stratigraphic Classification. Wiley, New York. 200p.
- Heim, A. 1908. Die Nummuliten und Flysch-Bildungen der Schweizer Alpen. **Abhandlungen der Schweizerischen Palaeontologischen Gesellschaft**, 35:173.
- Hsü, K.J. 1983. Actualistic Catastrophism. Address of the retiring President of the International Association of Sedimentologists. **Sedimentology**, 30:3-9.
- Hubbard, R.J.; Pape, J. & Roberts, D.G. 1985a. Depositional sequence mapping as a technique to establish tectonic and stratigraphic framework and evaluate hydrocarbon potential on a passive continental margin. In: BERG, O.R. & WOOLVERTON, D.G. 1985. Seismic stratigraphy II: an integrated approach to hydrocarbon exploration. **American Association of Petroleum Geologists Memoir 39**:79-91.
- Hubbard, R.J. ; Pape, J. & Roberts, D.G. 1985b. Depositional sequence mapping to illustrate the evolution of a passive continental margin. In: BERG, O.R. & WOOLVERTON, D.G. (Eds.). 1985. Seismic stratigraphy II: an integrated approach to hydrocarbon exploration. **American Association of Petroleum Geologists Memoir 39**:93-115.
- Jervey, M.T. 1988. Quantitative geological modelling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G. ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level changes: an integrated approach. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication**, 42:47-69.
- Kerr, R.A. 1984. Vail's sea-level curves aren't going away. **Science**, 226:677-678.
- Kleinspehn, K.L. & Paola, C. (Eds.) 1988. *New perspectives in basin analysis*. Springer, New York, 453p.
- Kocurek, G. & Havholm, K.G. 1993. Eolian sequence stratigraphy - a conceptual framework. In: WEIMER, R. P. & POSAMENTIER, H.W. 1993. Siliciclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications. **American Association of Petroleum Geologists Memoir 58**:393-409.
- Koss, J.E., Ethridge, F.G. & Schumm, S.A. 1994. An experimental study of the effects of base-level change on fluvial, coastal plain and shelf systems. **Journal of Sedimentary Research**, 4 (2): 90-98.
- Krumbein, W.C. & Sloss, 1956. *Stratigraphy and sedimentation*. Freeman and Company, California, 497p.
- Kuhn, T.S. 1989. *A estrutura das revoluções científicas*. Editora Perspectiva. 257p.
- Levorsen, A.I. 1943. Discovery thinking. **Bulletin of American Association of Petroleum Geologists**, 27:887-928.
- Lyell, C. 1830-33. *Principles of Geology*. London, 3v.
- MacDonald, D.I.M. 1991. *Sedimentation, tectonics and eustasy*. Blackwell Scientific Publications, 518p.
- Matthews, R.K. 1974. *Dynamic stratigraphy*. Prentice Hall, New Jersey, 370p.
- May, J.A. & Warme, J.E. 1987. Synchronous depositional phases in west coast basins: eustasy or regional tectonics? In: INGERSOLL, R.V. & ERNST, W.G. (Eds.) 1987. *Cenozoic Basin development of Coastal California*. Rubey, v. VI, Prentice-Hall, Englewood Cliffs. p. 299-320.
- Miall, A.D. 1986. Eustatic sea level changes interpreted from seismic stratigraphy: a critique of the methodology with particular reference to the north sea Jurassic record. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 70 (2):131-137.
- Miall, A.D. 1991. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation. **Journal of Sedimentary Petrology**, 61:497-505.
- Mitchum, R.M.; Vail, P.R. & Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: PAYTON, C.E. (Ed.). 1977. Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. **American Association of Petroleum Geologists Memoir**, 26:53-62.
- Mitchum, R.M. Jr.; Sangree, J.B.; Vail, P.R. & Wornardt, W.W. 1990. Sequence stratigraphy in late cenozoic expanded sections, Gulf of Mexico. GCSSEPM FOUNDATION ELEVENTH ANNUAL RESEARCH CONFERENCE. Abstracts. p. 237-256.
- Moerner, N.A. 1976. Eustasy and geoid changes. **Journal of Geology**, 84(2):123-151.
- Montadert, L. 1982. Problems in seismic stratigraphy. In: Seibold, E. & Meulenkamp, J.D. (Eds.) 1982. stratigraphy quo vadis? **American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology N° 16**. IUGS Special Publication, 14:3-7.
- Moore, R.C. 1964. Paleogeological aspects of Kansas Pennsylvanian and Permian cyclothems. In: MERRIAM, D.F. (Ed.) 1964. Symposium on cyclic sedimentation. **Kansas Geological Survey Bulletin 169**:287-380.
- Nummedal, D. & Swift, D.J.P. 1987. Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In: NUMMEDAL, D.; PILKEY, O.H. & HOWARD, J.D. (Eds.). Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications**, 41.
- Payton, C.P. (Ed.). 1977. Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. **American Association of Petroleum Geologists Memoir 26**. 516p.
- Pitman, W.C. 1978. Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins. **Geological Society of America Bulletin**, 89:1389-1403.
- Playfair, J. 1802. *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. Edinburgh (Facsimile reprint, Univ. Illinois Press, 1956).
- Plint, A.G.; Walker, R.G. & Bergman, K.M. 1986. Cardium Formation 6. Stratigraphic framework of the Cardium in subsurface. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, 34:213-225.

- Popper, K. 1972. *A lógica da pesquisa científica*. Ed. Cultrix, São Paulo, 566 p.
- Posamentier, H.W. & Vail, P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition II - sequence and systems tract models. In: WILGUS, B.S.; KENDALL, C.G. ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level changes: an integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 42:125-154.
- Posamentier, H.W.; Allen, G.P. & James, D.P. 1992. High resolution sequence stratigraphy - The coast Coulee delta, Alberta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62:310-317.
- Posamentier, H.W. & James, D.P. 1993. An overview of sequence stratigraphy concepts: uses and abuses. In: POSAMENTIER, H.W.; SOMMENHAYEN, C.P.; HAQ, B.U. & ALLEN, G.P. (Eds.) 1993. Sequence stratigraphy and facies associations. *International Association Sedimentologists Special Publications*, 18:3-18.
- Posamentier, H.W. & Allen, G.P. 1994. *Siliciclastic sequence stratigraphy - concepts and applications*. 89p. (in press)
- Prothero, D.R. 1990. *Interpreting the stratigraphic record*. Freeman, New York. 410p.
- Ribeiro, H. J. P. S. & Lavina, E.L. 1994. Indicadores estratigráficos de variações do nível de base na Formação Santa Maria (Triássico), Bacia do Paraná, Município de Candelária/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriu, SC. *Boletim de Resumos*, p. 595-596.
- Salvador, A. 1987. Unconformity-bounded stratigraphic units. *Geological Society of America Bulletin*, 98 :232-237.
- Sangree, J.B.; Vail, P.R. & Mitchum, R.M. Jr. 1990. A summary of exploration applications of sequence stratigraphy. GCSSEPM FOUNDATION ELEVENTH ANNUAL RESEARCH CONFERENCE. *Abstract*. p.321-327.
- Schcnck, H.G. & Muller, S.W. 1941. Stratigraphic terminology. *Bulletin of Geological Society of America* 52:1419-26.
- Scherer, C.M.; Holz, M; Schultz, C.L. 1991. A aplicabilidade da estratigrafia de seqüências para os depósitos lacustres do Triássico do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, 36:159-60
- Scherer, C.L.S. & Holz, M. 1993. Elaboração do arcabouço cronoestratigráfico em seqüências continentais: uma proposta metodológica. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, Rio Claro, SP, 1993. *Boletim de Resumos*, p. 98-99
- Schoch, R.M. 1989. *Stratigraphy, principles and methods*. Van Nostrand Reinhold, New York. 375p.
- Schuchert, C. 1916. Correlation and chronology in geology on the basis of paleogeography. *Bulletin of Geological Society of American*, 27:491-514.
- Schwan, W. 1980. Geodynamics in alpinotype orogenies. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologist*, 64(3):359-373.
- Shanmugan, G. 1988. Origin, recognition and importance of erosional unconformities in sedimentary basins. In: KLEINSPEHN, L. & PAOLA, C. (Eds.) 1988. *New perspectives in basin analysis*. p. 83-108.
- Shannon, J.P.Jr. 1962. Hunton Group (Silurian-Devonian) and related strata in Oklahoma. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 46 (1):1-29.
- Simões, M.G. & Holz, M. 1997. Tafonomia: ambientes e processos de fossilização. In: CARVALHO, I.S. (Ed.). 1997. *Elementos de Paleontologia*. Editora UFRJ, Rio de Janeiro (no prelo)
- Sloss, L.L.; Krumbein, W.C. & Dapples, E.C. 1949. Integrated facies analysis. In: LONGWELL, C.R. (Ed.). 1949. Sedimentary facies in geologic history. *Geological Society of America Memoir*, 39:91-124.
- Sloss, L.L. 1863. Sequences in the cratonic interior of North America. *Bulletin of Geological Society of America*, 74:93-113.
- Sloss, L.L. 1984. The greening of stratigraphy 1933-1983. *Earth Planet Science*, 12 :1-10.
- Soares, P.C.; Landim, P.M.B. & Fúlfaro, V.J. 1978. Tectonic cycles and sedimentary sequences. *Bulletin of Geological Society of America*, 89:181-191.
- Stille, H. 1924. *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*. Berlin, Bornstraeger, 526p.
- Suess, E. 1888. *Das Antlitz der Erde*. 2v. 778p.
- Teichert, C. 1958. Concepts of facies. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists* 42:2718-44.
- Tooley, M.G. 1993. Long-term changes in eustatic sea-level. In: WARRICK, R.A.; BARROW, E.M.; WIGLEY, T.M.L. (Eds.) 1993. *Climate and sea level change: observation, projections and implications*. Cambridge University Press. p. 81-104.
- Tucholke, B.E. & Embry, R.W. 1984. Cenozoic regional erosion of the abyssal sea floor off South Africa. In: SCHLEE, J.S. (Ed.) 1984. Interregional unconformities and hydrocarbon accumulation. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 36:145-164.
- Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary organic matter*. Chapman & Hall, London. 615p.
- Vail, P.R.; Mitchum, R.M. & Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C.E. (Ed.) 1977. Seismic stratigraphy - application to hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 26:63-81.
- Vail, P.R.; Hardenbol, J. & Todd, R.G. 1984. Jurassic unconformities, chronostratigraphy and seal-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy. In: SCHLEE, J.S. (Ed.) 1984. Interregional unconformities and hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 36:129-144.
- Vail, P.R. 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. In: BALLY, A.W. (Ed.) 1987. Atlas of seismic stratigraphy, V.1. *American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology*, 27:1-10.
- Vail, P.R. & Wornardt, W.W. 1990. Well log - seismic sequence stratigraphy: an integrated tool for the 90's. GCSSEPM FOUNDATION ELEVENTH ANNUAL RESEARCH CONFERENCE, *Abstracts*. p.379-388.
- Vail, P.R.; Audemard, F.; Bowman, S.A.; Eisner, P.N. & Perez, Cruz, C. 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. In: EINSELE, G.; RICKEN, W. & SEILACHER, A. (Eds.) 1991. *Cycles and events in stratigraphy*. Springer Verlag, Berlin, p 617-659.
- Van Wagoner, J.C. 1985. Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change. SOCIETY OF ECONOMIC PALEONTOLOGISTS AND MINERALOGISTS MID-YEAR MEETING, Golden, Colorado. 1985. *Abstracts*. p.91-92.
- Van Wagoner, J.C.; Posamentier, H.W.; Mitchum, R.M.; Vail, P.R.; Sarg, J.F.; Loutit, T.S. & Hardenbol, J. 1988. An overview of sequence stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.; ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level changes: an integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 42:39-45.
- Van Wagoner, J.C.; Mitchum, R.M.; Campion, K.M. & Rahmanian, V.D. 1991. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series*, 7, 55p.
- Walker, R.G. 1990. Facies modelling and sequence stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60:777-786.
- Walker, R.G. & James, N.P. 1992. *Facies Models - response to*

- sea level change. Geological Association of Canada, 409p.
- Watts, A.B. 1982. Tectonic subsidence, flexure and global changes of sea level. *Nature*, **297**:469-74.
- Weller, J.M. 1956. Arguments for diastrophic control of late paleozoic cyclothems. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, **40**:17-50.
- Weller, J.M. 1957. Paleocology of the Pennsylvanian Period in Illinois and adjacent states. *Geological Society of America Memoir*, **67** (2):325-64.
- Weller, J.C. 1960. *Stratigraphic principles and practice*. Harper and Brothers, New York, 725p.
- Wheeler, H.R. 1954. Sanctity of sea level. *Bulletin of Geological Society of America* **65**:1325.
- Wheeler, H.E. 1958. Time-Stratigraphy. *Bulletin of Geological Society of America*, **42**(5):1047-1063.
- Wheeler, H.E. 1959. Unconformity-bounded units in stratigraphy. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, **43** (1):1975-77.
- Wilgus, C.K.; Hastings, B.S.; Kendall, C.G.; St. C.; Posamentier, H.W.; Ross, C.A. & Van Wagoner, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level changes: an integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, **42**, 407 p.