

Diacronismo de eventos no rifte Sul-Atlântico

Event diachronism in the South Atlantic rift

Gilmar Vital Bueno

resumo

O diacronismo entre gerações de *seaward dipping reflectors* - SDR, de enxames de diques e de lineações magnéticas observadas nas margens sul-americana e africana, suporta a interpretação de um rifte propagante para o Atlântico Sul.

O estágio pré-rifte se caracterizou por uma subsidência gradual no segmento norte e de ascensão astenosférica no sul, vinculada à Pluma Tristão da Cunha. Esta produziu o magmatismo da Província Paraná - Etendeka (PPE), cuja atividade entre 138 e 127 Ma coincide com o aquecimento climático registrado nos riftes brasileiros e com o período do primeiro efeito estufa no Cretáceo.

O primeiro *break-up* se estendeu até as proximidades dos atuais afloramentos da PPE ao redor de 132 Ma (M11), quando o magmatismo continental é drasticamente reduzido e surge o conjunto simétrico de SDR São Jorge - Pelotas sobre a discordância de *break-up*. A norte, o aumento da taxa de estiramento crustal gerou a Charneira Atlântica e uma discordância intrarifte nas bacias africanas. No lado americano, ocorreu a rotação da Microplaca Sergipe, que substituiu o Rifte Recôncavo - Tucano pela zona transformante Sergipe-

Alagoas no trajeto da separação continental, e a formação da discordância de propagação pré-Aratu (132 ± 2 Ma), cronoequivalente à africana e marco do limite Valanginiano - Hauteriviano.

A mudança na direção dos enxames de diques, de ortogonais ao Rifte Sul - Atlântico no período de 137 - 130 Ma a paralelos a ele entre 133 - 125 Ma, a rotação dos SDR ao norte da Bacia de Pelotas e a geração de uma discordância regional na Bacia de Santos, foram todos produtos do tectonismo que precedeu ao segundo *break-up*. Este alcançou a região do atual Arco de Ponta Grossa e tem no lineamento magnético M3 (126 Ma) a idade da segunda geração de SDR, o que sugere a possibilidade de influência marinha na sedimentação ao sul da Bacia de Santos, já no Andar Buracica.

Após se deslocar ao longo do lineamento Capricórnio e contornar o Platô de São Paulo, o terceiro *break-up* seguiu no sentido norte e ficou registrado nos SDR aptianos à frente das bacias de Jacuípe e Sergipe.

(originais recebidos em 11.03.2004)

Palavras-chave: rifte Sul-Atlântico | estratigrafia isotópica | magmatismo eocretácico | efeito estufa | rifte propagante

abstract

The diachronous relationship observed between generations of seaward dipping reflectors (SDR), dike swarms, and magnetic lineations along of the facing Atlantic margins of South America and Africa permitted the interpretation of the initial opening of the South Atlantic in terms of a propagating rift.

The pre-rift stage was characterized by gradual subsidence of the northern segment together with the rise of the asthenosphere in the south, caused by the Tristan da Cunha mantle plume that produced the Paraná-Etendeka Province (PEP). Igneous activity in the PEP from 138 to 127 Ma coincided with climatic warming in the Brazilian rifts, the first greenhouse in the Cretaceous.

The first break-up extended to outcrops of the PEP at 132 Ma (M11), at a time when continental igneous activity was sharply reduced and the symmetric San Jorge - Pelotas SDR sequence formed over the break-up unconformity. In the north, the rising rates of crustal stretching created the Atlantic hingeline together with an intra-rift unconformity in the African basins. On the South American side the Sergipe Microplate formed and rotated while the Sergipe-Alagoas transform zone replaced the Recôncavo-Tucano rift as the path of continental break-up. The pre-Aratu propagation unconformity at 132±2 Ma formed simultaneously with the unconformity on the African side, marking the Valanginian-Hauterivian boundary.

The change in the direction of the dike swarms oriented first (137-130 Ma) orthogonally and then (133-125 Ma) parallel to the South Atlantic rift, the rotation of SDR in the north of the Pelotas Basin, and the appearance of a regional unconformity in the Santos Basin were all produced by the tectonic activity that preceded the second break-up. This reached the Ponta Grossa Arch and produced the second generation of SDR (magnetic lineation M3; 126 Ma), suggesting a marine environment to the south of the Santos basin already in the Buracica stage.

After dislocating along the Capricorn Lineament and coasting the São Paulo Plateau, the third break-up propagated to the north, and was recorded in the Aptian SDR in front of the Jacuípe and Sergipe basins.

(expanded abstract available at the end of the paper)

Keywords: South Atlantic rift | isotopic stratigraphy | Eocretaceous magmatism | greenhouse effect | propagating rift

introdução

As bacias marginais brasileiras resultaram do processo de ruptura do Megacontinente Gondwana Oeste, que culminou no desenvolvimento do Rifte Sul - Atlântico. Este processo vem sendo estudado de forma mais sistemática desde a década de 70, quando se iniciou a classificação das bacias sedimentares brasileiras sob os preceitos da Tectônica de Placas (Asmus e Porto, 1972; Estrella, 1972). Mais tarde, foi elaborada uma síntese tectono-sedimentar (Asmus e Ponte, 1973; Ponte e Asmus, 1978; Asmus e Porto, 1980), onde ficou estabelecida a sucessão evolutiva das seqüências deposicionais: continental; lacustre; do golfo e marinha, diretamente relacionadas às distintas e contínuas fases tectônicas: pré-rifte; rifte; proto-oceano e drifte.

À semelhança do que fora executado para a margem brasileira, Light *et al.* (1992) propuseram cinco megasseqüências para a porção meridional da margem africana, entre a Namíbia e África do Sul. Cada uma das megasseqüências deposicionais foi relacionada às principais fases tectônicas que compõem a evolução da margem africana: pré-rifte; sin-rifte I e II; transição e subsidência térmica.

A análise do desenvolvimento dos riftes brasileiros divide-se em duas correntes: Dias (1991), Magnavita (1992) e Cupertino (2000) seguem a classificação tectono-sedimentar proposta em Asmus e Porto (1980) para as bacias da margem leste brasileira. A classificação se baseia no reconhecimento de sincronismo entre fases tectônicas e deposicionais específicas, cujo início da fase rifte coincide com a seqüência deposicional lacustre. Por outro lado, Figueiredo (1981), Chang *et al.* (1988), Matos (1992; 1999) e Destro (1994) consideram seu início já durante a época de acumulação da Seqüência Continental.

Aqui se adota a premissa de Magnavita (1992), que considera terem os estratos da fase rifte sido depositados durante a extensão crustal, sob a ação de subsidência mecânica. Este intervalo de rochas é separado dos depósitos pré e pós-rifte pelas discordâncias inicial do rifte (*rift onset unconformity*) e da separação continental (*break-up uncon-*

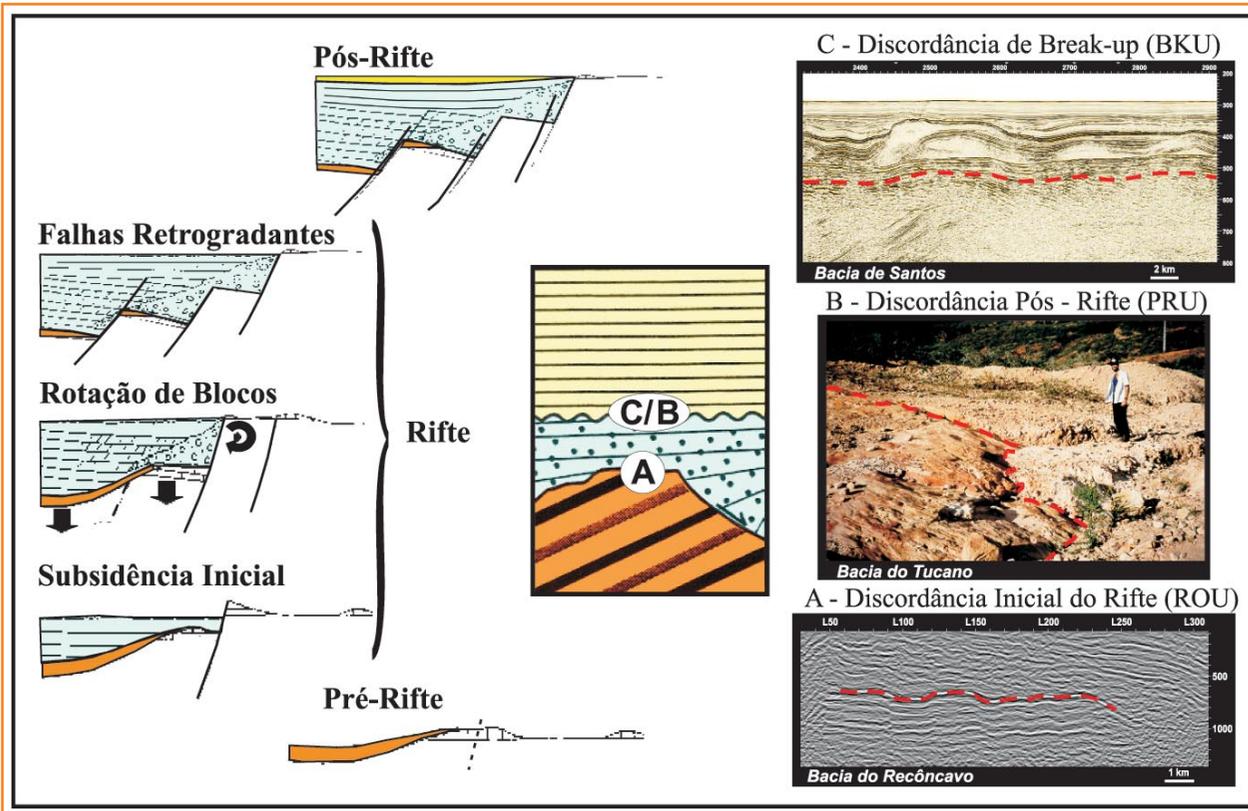


Figura 1
Estágios evolutivos do processo de rifteamento e superfícies discordantes que limitam a fase sin-rifte (modificado de Magnavita, 1992; Bosence, 1998), associados a exemplos de bacias brasileiras.

Figure 1
Evolutionary stages of the rifting process and unconformity surfaces that limit the rift phase (modified from Magnavita, 1992; Bosence, 1998).

(BKU) - Break-up Unconformity
(PRU) - Post-Rift Unconformity
(ROU) - Rift Unconformity

formity; Falwey, 1974) ou discordância pós-rifte, no caso de riftes que tenham tido sua evolução cessada antes do início do espalhamento oceânico (Bosence, 1998). Magnavita (1992) ressalta que os termos pré e pós-rifte, apesar de poderem representar qualquer unidade mais velha ou mais nova em relação à fase rifte, são aplicados àqueles estratos relacionados ao processo de rifteamento: aqueles depositados em amplas depressões criadas antes da fase principal de falhamentos normais e os acumulados posteriormente em bacias formadas durante a subsidência termal (fig. 1).

Sengör e Burke (1978) classificaram as bacias rifte quanto ao comportamento de ascensão da astenosfera, isto é: quando a extensão estivesse relacionada a plumas vulcânicas e fusão do manto por descompressão, tratar-se-ia de um rifte ativo. Entretanto, em bacias geradas sob tensões horizontais por movimentos de placas, ocorreria um adelgaçamento litosférico e uma ascensão do material astenosférico, sendo consideradas como modelos de rifte passivo.

Milani (1987), ao descrever o modelo evolutivo dos riftes do Recôncavo e Tucano Sul, Nordeste do

Brasil, constata que não existem evidências da ocorrência de um arqueamento crustal precedente à fase rifte destas bacias. A geometria da sedimentação pré-rifte caracteriza um lento e progressivo processo de afundamento da região, característico de rifteamento passivo. Entretanto, no segmento sul-sudeste da margem continental brasileira, a presença do volumoso vulcanismo basáltico da Província do Paraná, os arcos de Rio Grande, Ponta Grossa e o Platô de São Paulo, refletem a forte influência da pluma mantélica Tristão da Cunha na elevação das geotermas na área de desenvolvimento do Rifte Sul - Atlântico, sendo excelente exemplo do modelo de rifte ativo (fig. 2).

Esta ação magmática pontual entre as placas sul-americana e africana gerou uma alternância entre comportamento crustal dúctil no rifte ativo e rúptil no passivo, provavelmente sendo a responsável pela variação da largura do rifte ao longo do seu trajeto: as máximas nas bacias de Santos - Campos (~500 km); as mínimas no Sistema de Riftes Recôncavo - Tucano - Jatobá (~70 km) e uma largura média de 200 km nas regiões Sul e Nordeste.

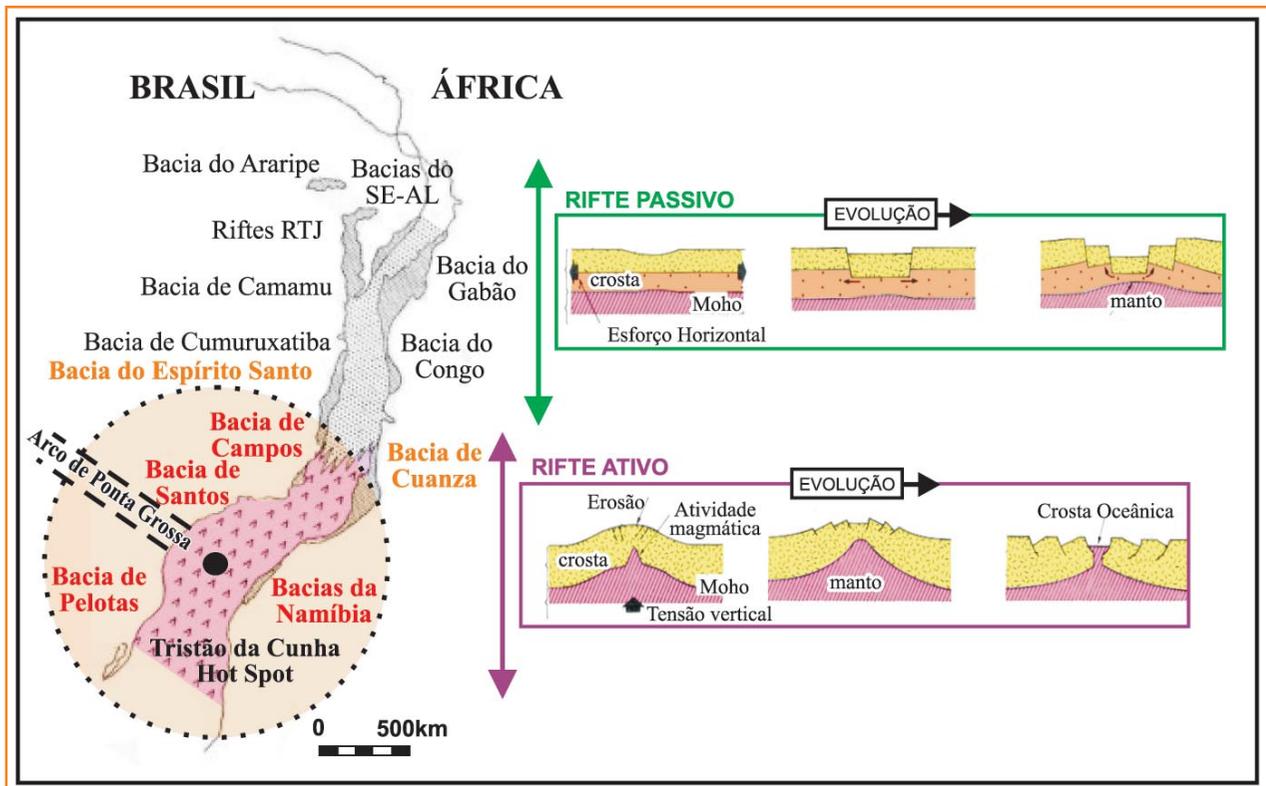


Figura 2 - Caracterização dos segmentos sudeste e nordeste do Rifte Sul - Atlântico quanto à ascensão da astenosfera: rifites passivo e ativo (modificado de Milani, 1987; Dias, 1991).

Figure 2 - Characterization of the southeastern and northeastern parts of the South Atlantic rift as well as the rise of the asthenosphere: passive and active rifts (modified from Milani, 1987; Dias, 1991).

cronoestratigrafia e geocronologia

“Os limites isócronos de unidades cronoestratigráficas são independentes de todos os tipos de limites estratigráficos, exceto aqueles que podem servir como guias locais para a posição cronoestratigráfica”, devendo-se utilizar todas as evidências possíveis para uma cronocorrelação, desde a distribuição de vários tipos de fósseis, traços e seqüências de camadas, litologias, marcos elétricos de perfis de poços, transgressões e regressões, paleoclimatologia, atividade vulcânica, assinatura paleomagnética, datações isotópicas e até discordâncias (Aubry *et al.* 1999).

Todos estes elementos de correlação estão relacionados a processos de natureza magmática, climática e tectônica, constituem a história evolutiva dos rifites e são fundamentais na ordenação cronológica de eventos (Bosence, 1998).

Diante da impossibilidade da correlação direta das rochas continentais eocretáceas que preen-

chem o Rifte Sul - Atlântico com a estratigrafia marinha internacional, Schaller (1969) e Viana *et al.* (1971), após estabelecerem um arcabouço biocronoestratigráfico com base no registro microfossilífero de associações de ostracodes e pólenes, propuseram andares locais e sua possível cronoequivalência à coluna padrão internacional. Regali e Viana (1989) e Arai *et al.* (1989) refinaram o ajuste entre os limites dos andares locais e seus equivalentes na escala cronoestratigráfica padrão; entretanto, o posicionamento dos limites ainda é dúbio. Bueno (2000 e 2001), fazendo uso da estratigrafia isotópica de carbono integrada à bioestratigrafia, ampliou o nível de resolução nas correlações entre os rifites lacustres brasileiros no intervalo dos andares Rio da Serra - Aratu e, posteriormente, via estudo do comportamento isotópico de carbono, associou o intervalo aos andares internacionais Valanginiano - Hauteriviano (fig. 3).

Assumiu-se, aqui, a coluna estratigráfica de Arai *et al.* (1989) para os andares locais e a de

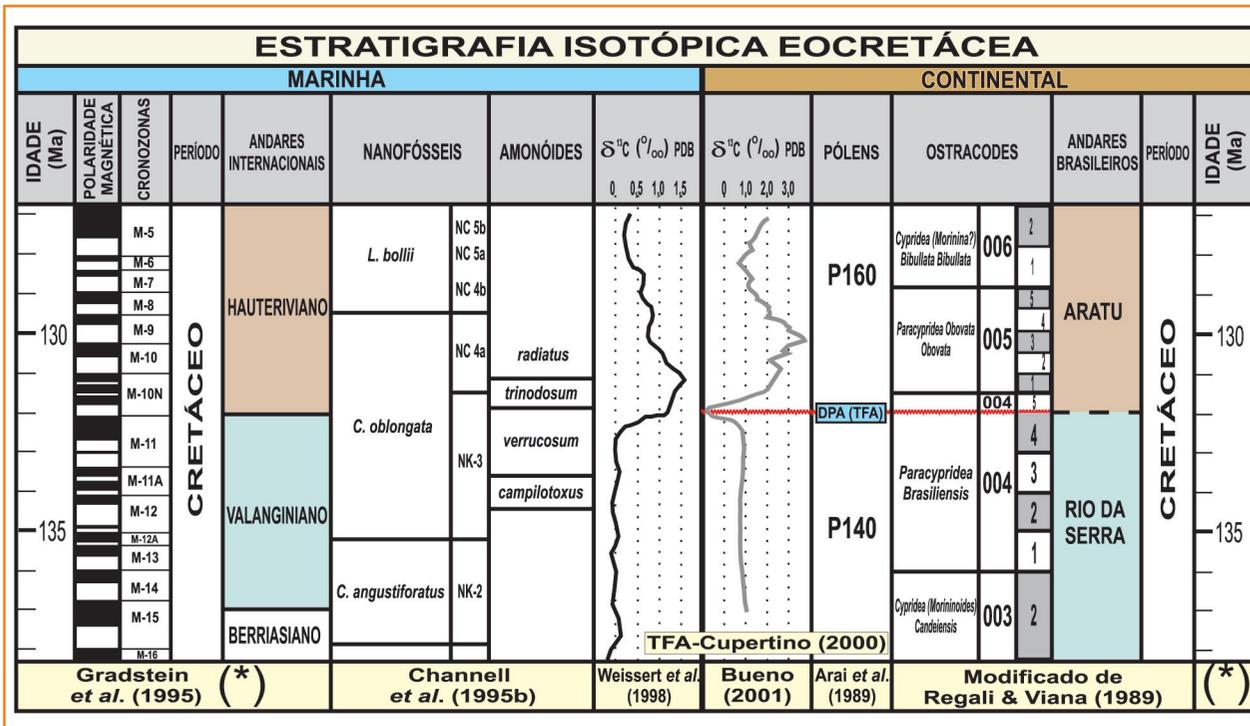


Figura 3

Cronocorrelação entre as estratigrafias isotópicas de carbono continental brasileira e marinha padrão (modificado de Bueno, 2001).

Figure 3

Chronocorrelation between the carbon isotope curve of Brazilian continental rifts and the marine standard curve during Early Cretaceous (modified from Bueno, 2001).

Gradstein *et al.* (1995) para a coluna internacional de onde foram extraídas as idades absolutas utilizadas nas correlações de eventos (fig. 4).

As correlações entre o Leste brasileiro e o Oeste africano ganharam forte impulso com a contribuição de Grosdidier *et al.* (1996), que integraram os dados micropaleontológicos e palinológicos das bacias do Gabão e Congo e produziram uma sucessão cronobioestratigráfica para a seção pré-salífera. Devido à grande semelhança com suas homólogas das bacias do Recôncavo e Tucano, obtém-se uma visão “transatlântica” com ótimas possibilidades de cronocorrelação.

Nas bacias brasileiras que apresentam a sucessão de ostracodes lacustres, isto é, de Cumuruxatiba até Alagoas, incluído aí o sistema Recôncavo - Tucano - Jatobá, o estabelecimento de correlações cronoe-stratigráficas entre eventos é possível devido ao bem conhecido arcabouço bioestratigráfico dos andares Rio da Serra; Aratu; Buracica e Jiquiá. Entretanto, para as bacias de Pelotas, Santos, Campos e Espírito Santo, onde o arcabouço bioestratigráfico é incompleto ou ainda desconhecido, outros métodos de correlação são necessários. A abundância de rochas vulcânicas presentes nestas bacias proporcionou a formação de um banco de idades radiométricas, tornando possível correlacioná-las. Porém, estas inferências não se estendem às bacias do Nordeste

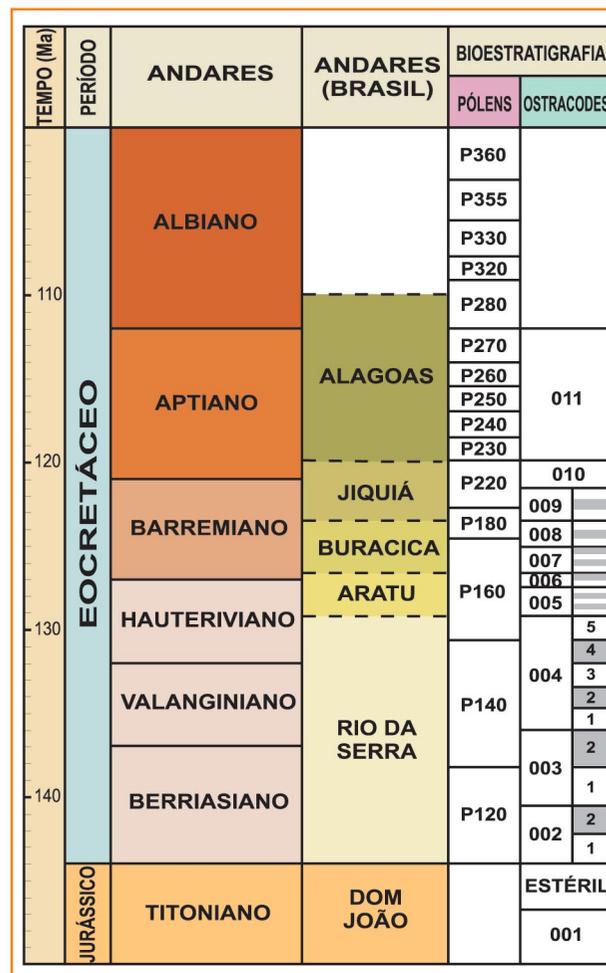


Figura 4

Carta cronoeestratigráfica segundo Arai *et al.* (1989) para os andares locais e Gradstein *et al.* (1995) para os da coluna padrão.

Figure 4

Chronostratigraphic map after Arai *et al.* (1989) for the local stages, and Gradstein *et al.* (1995) for the standard column.

brasileiro em face da reduzida presença de rochas vulcânicas, à exceção do magmatismo Eocretáceo Rio Ceará Mirim na Bacia Potiguar. O elo cronológico entre os eventos ocorridos nas regiões nordeste, onde prevalece a bioestratigrafia, e sul-sudeste, onde predominam dados geocronológicos, foi obtido pelo trabalho pioneiro de Cupertino (2000) que, por meio da análise de traços de fissão de apatitas (TFA), datou um conjunto de eventos observados nas bacias do Recôncavo e Camamu.

provincia magmática Paraná - Etendeka

O processo que precedeu o rifteamento do Atlântico Sul extravasou, na sua porção meridio-

nal, mais de 800 000 km³ de lavas básicas a intermediárias, sendo um dos maiores volumes de rochas magmáticas que se tem no registro geológico do planeta. Sobre a Bacia do Paraná, no continente sul-americano, afloram os espessos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que apresentam equivalência em termos composicional e cronológico aos da Formação Etendeka na Namíbia.

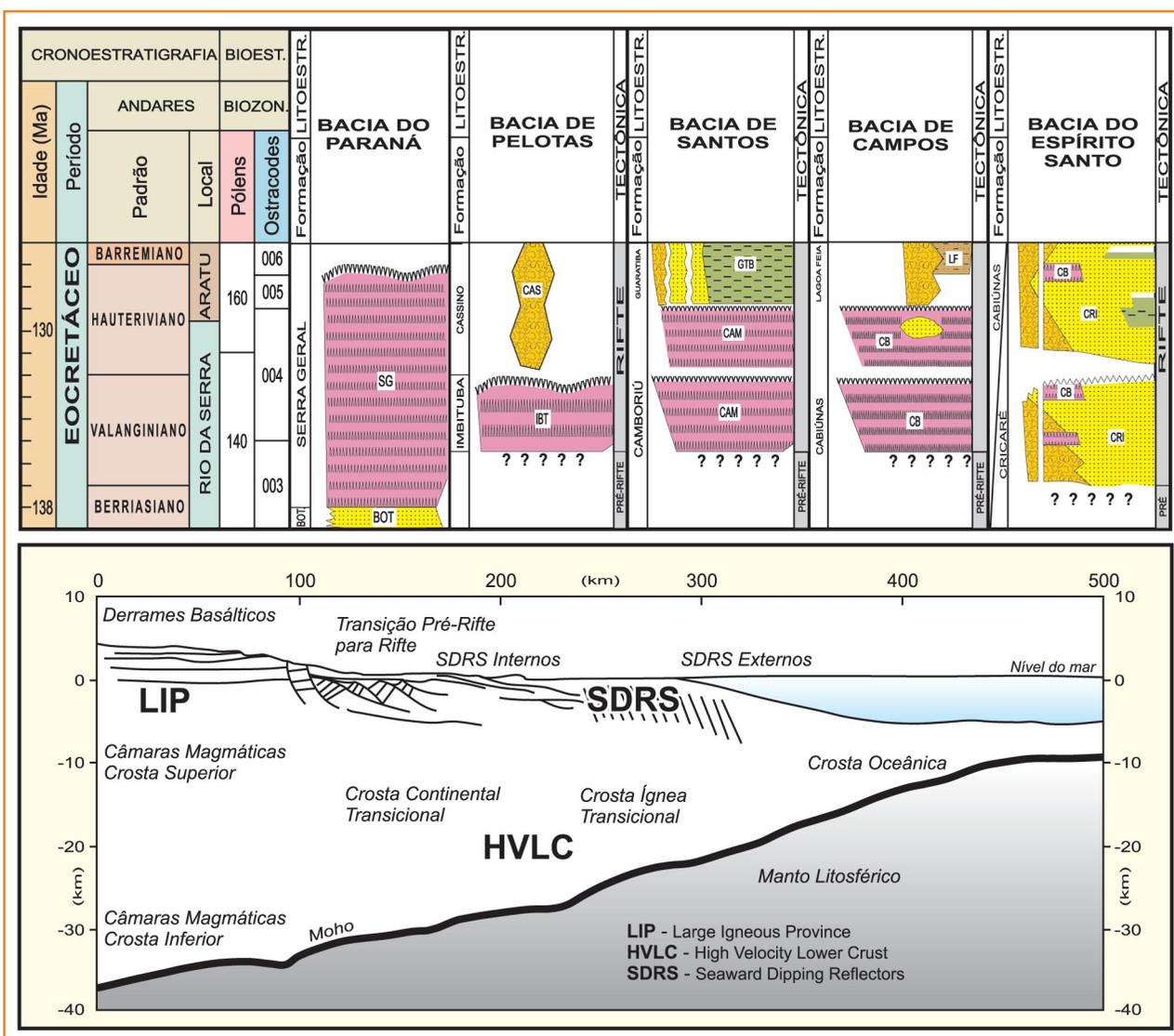
Como a idade absoluta do magmatismo é de extrema importância para o estudo evolutivo do rifte, pois o mesmo pode se tornar um *marker* do evento distensivo (Chazot *et al.* 1998), rever o banco de idades radiométricas da Província Paraná - Etendeka é fundamental. Cordani (1999) efetuou tal trabalho e comenta que foram realizadas mais de 200 datações pelo método K/Ar convencional para se obter a idade dos derrames da Formação Serra Geral. Foi produzido um envelope de idades que varia

Figura 5

Correlação estratigráfica entre as rochas vulcânicas das margens sul e leste brasileira e a associação destas aos estágios evolutivos do processo de rifteamento, situando as rochas mais antigas do vulcanismo Paraná no estágio pós-rifte e as mais novas na transição para a fase rifte (modificado de Bueno, 2001; Menzies *et al.* 2002).

Figure 5

Stratigraphic correlation of the volcanic rocks of the Brazilian southern and eastern margins, and its location in terms of rift margin evolution (modified from Bueno, 2001; Menzies *et al.* 2002).



de 160 a 100 Ma, com as idades mais freqüentes situando-se ao redor de 130 - 135 Ma. Como consequência desta variação, gerada pela perda ou excesso de argônio, interpretou-se a princípio que o evento magmático poderia se estender desde o Mesojurássico até o Eocretáceo.

Poços exploratórios realizados pela Petrobras nas bacias marginais brasileiras perfuraram rochas basálticas sob espessa coluna sedimentar. Estas rochas foram denominadas de Formação Imbituba na Bacia de Pelotas, Camboriú na Bacia de Santos e Cabiúnas nas bacias de Campos e Espírito Santo.

As idades radiométricas (K/Ar) obtidas para os basaltos toleíticos da Formação Cabiúnas na Bacia do Espírito Santo, tanto na porção terrestre quanto na plataforma continental, situaram-se entre 118 e 136 Ma (Conceição *et al.* 1994), convergindo para a idade eocretácea determinada por análise palinológica em estratos da Formação Cricaré intercalados aos mesmos basaltos (Regali, 1992).

A extensão do método K/Ar para a Bacia de Campos indicou idades entre 122 ± 5 Ma e $134 \pm$

4 Ma (Mizusaki *et al.* 1989) e, para a Bacia de Santos, 121 ± 11 Ma (Mizusaki, 1987, informação escrita). As amostras extremamente intemperizadas, oriundas da Bacia de Pelotas, inviabilizaram uma datação (Fontana, informação verbal).

Os basaltos mais velhos, citados por Cordani (1999), estão compatíveis com o intervalo das idades mais freqüentes, entretanto, os mais jovens devem ser considerados como idades mínimas, pois o material analisado, geralmente intemperizado, produz a perda de argônio.

Em função da semelhante natureza composicional, idades radiométricas e posição estratigráfica, estas formações podem ser correlacionadas entre si e provavelmente também à Formação Serra Geral (Vieira *et al.* 1994; Rangel *et al.* 1994; Pereira e Feijó, 1994; Dias *et al.* 1994; fig. 5).

Avanços tecnológicos e a utilização do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ a partir da década de 90 propiciaram datações mais precisas para os derrames basálticos da Bacia do Paraná. Hawkesworth *et al.* (1992)

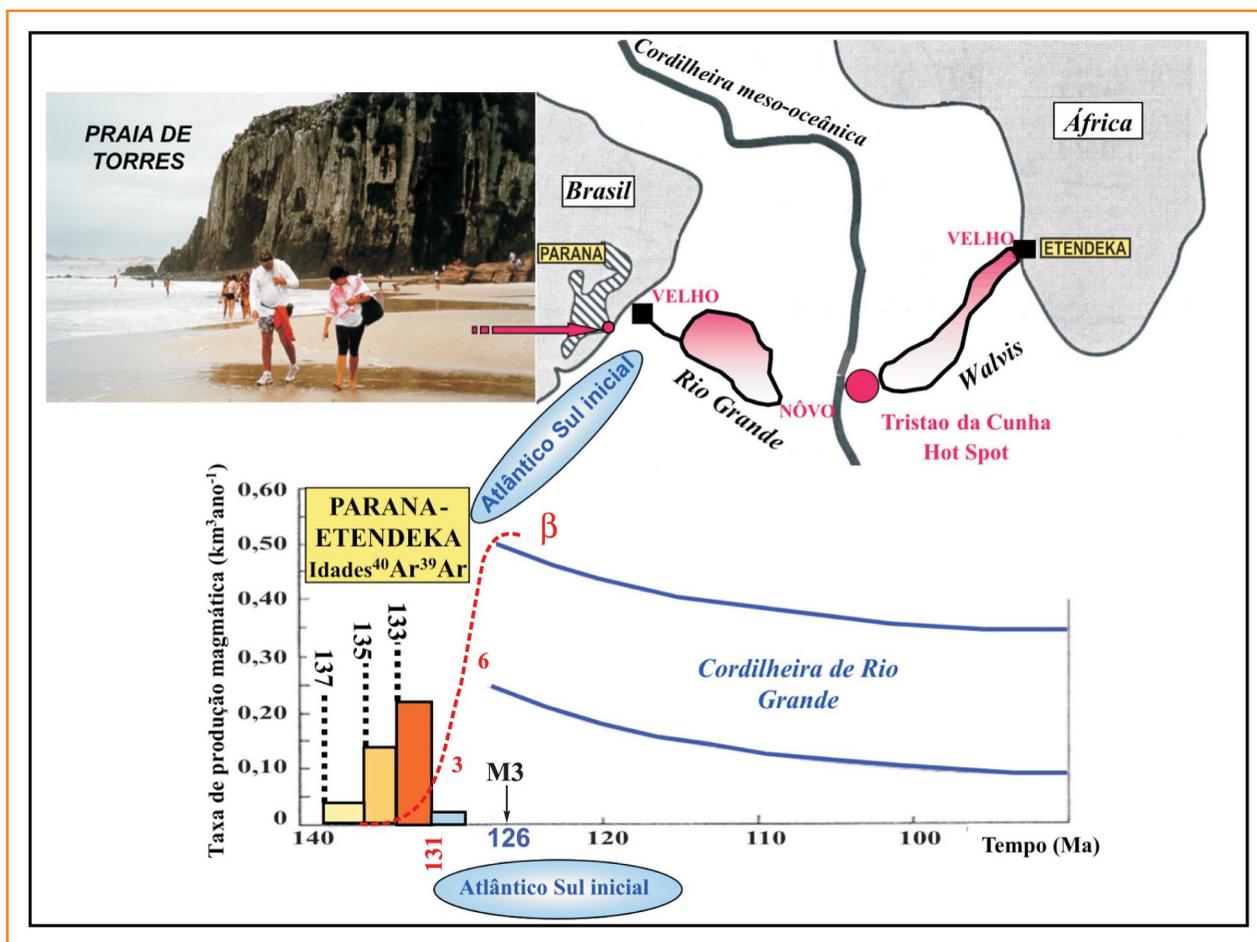


Figura 6

Evolução do magmatismo continental Paraná - Etendeka e os caminhos da atividade vulcânica ligada à Pluma Tristão da Cunha durante o desenvolvimento do Atlântico Sul (modificado de Connor e Duncan, 1990; Stewart *et al.* 1996).

Figure 6

The evolution of Paraná-Etendeka continental magmatism and the path of volcanic activity associated with the Tristão da Cunha plume during the development of the South Atlantic (modified from Connor and Duncan, 1990; Stewart *et al.* 1996).

obteve, para o basalto toleítico Gramado, isócronas de $132,4 \pm 1,4$ Ma e $132,9 \pm 2,8$ Ma, indicando um curto período de erupção. Turner *et al.* (1994) obtiveram idades entre 138 e 128 Ma para toda a extensão da província vulcânica, calcularam taxas de erupção e demonstraram quimicamente que os vários tipos de magma dentro da Província do Paraná são diácronos.

Stewart *et al.* (1996), após análise de amostras de superfície e de poços dos derrames basálticos continentais Paraná - Etendeka, obtiveram uma visão tridimensional no espaço e tempo do sucessivo empilhamento, e calcularam uma idade entre 138 a 127 Ma para todo o magmatismo. Este teve seu início entre 500 e 1 000 km no interior do continente e depois migrou para sudeste em direção ao incipiente Oceano Atlântico Sul. Esta direção está de acordo com as zonas de falhas NW implantadas desde o Pré-Cambriano na região da Bacia do Paraná e reativadas posteriormente durante a separação das placas sul-americana e africana, servindo como os principais dutos do magmatismo da Bacia do Paraná (Zalán *et al.* 1986). As taxas de erupção ao longo do tempo aumentaram conforme o grau de extensão, até atingirem o pico em torno de 132 ± 2 Ma, quando essas taxas caem substancialmente em função do *break-up*, que permitiu a descompressão da capacidade de fusão da pluma mantélica, que passa a atuar na formação da Cordilheira de Rio Grande (fig. 6).

De acordo com Connor e Duncan (1990), a Província do Paraná - Etendeka possui uma ligação comum à pluma mantélica Tristão da Cunha e à abertura do Oceano Atlântico Sul no Eocretáceo. Durante o afastamento das placas sul-americana e africana, este magmatismo teria percorrido caminhos para lados opostos e produzido as cordilheiras oceânicas de Rio Grande e Walvis, respectivamente, em direção aos continentes americano e africano.

efeito estufa

No Neovalanginiano, o clima se tornou progressivamente menos úmido. Após permanecer constante por um período, retornou a condições mais úmidas no Eohauteriviano. O início da variação de umidade foi também acompanhado de

uma excursão positiva de $\delta^{13}\text{C}$, que foi contemporânea a uma elevação do nível do mar que, por sua vez, estabeleceu o limite entre um período frio no Eovalanginiano e um quente no Neovalanginiano (Price *et al.* 1998), constituindo-se no segundo período *greenhouse* (estufa) identificado no Fanerozóico.

Períodos de aquecimento global estão frequentemente associados à movimentação de placas litosféricas e seus produtos, tais como soerguimentos e vulcanismos durante períodos de rifteamento. Estes usualmente produzem barreiras que afetam a circulação dos ventos e introduzem gases na composição atmosférica. Entre eles, o CO_2 é o mais importante para efeito de mudanças climáticas globais por ser um gás do tipo estufa (Hay, 1996).

Fischer (1982) descreve que os efeitos *greenhouse* do Fanerozóico derivaram de reorganizações de placas tectônicas que produziram uma sucessão de eventos iniciada pelo surgimento de riftes, intensificação de vulcanismo, desenvolvimento de cordilheiras marinhas, inundação de continentes e conseqüente aumento da pressão atmosférica de CO_2 .

A passagem Valanginiano - Hauteriviano foi um importante período de reorganização de placas litosféricas, responsável pela elevação do conteúdo de CO_2 atmosférico, indicando o início do primeiro episódio *greenhouse* no Cretáceo (Lini, 1994; Föllmi *et al.* 1994). Weissert *et al.* (1998), ao analisarem a curva de $\delta^{13}\text{C}$ para a região do Tethys, sugerem que a excursão positiva observada no limite Valanginiano - Hauteriviano registra o início do período de aquecimento. Este teria origem na rápida emissão de CO_2 vulcanogênico na atmosfera, a partir da intensa fase de erupção dos derrames basálticos continentais Etendeka - Paraná, 132 Ma (Stewart *et al.* 1996). Tal período coincide com a ocorrência de folhelhos negros ricos em carbono nos Alpes meridionais e no oceano Pacífico, o que levou Erba *et al.* (2004) a interpretá-lo como o evento oceânico anóxico Weissert do Valanginiano.

Mudanças climáticas ocorridas no intervalo Rio da Serra - Buracica foram também registradas nas

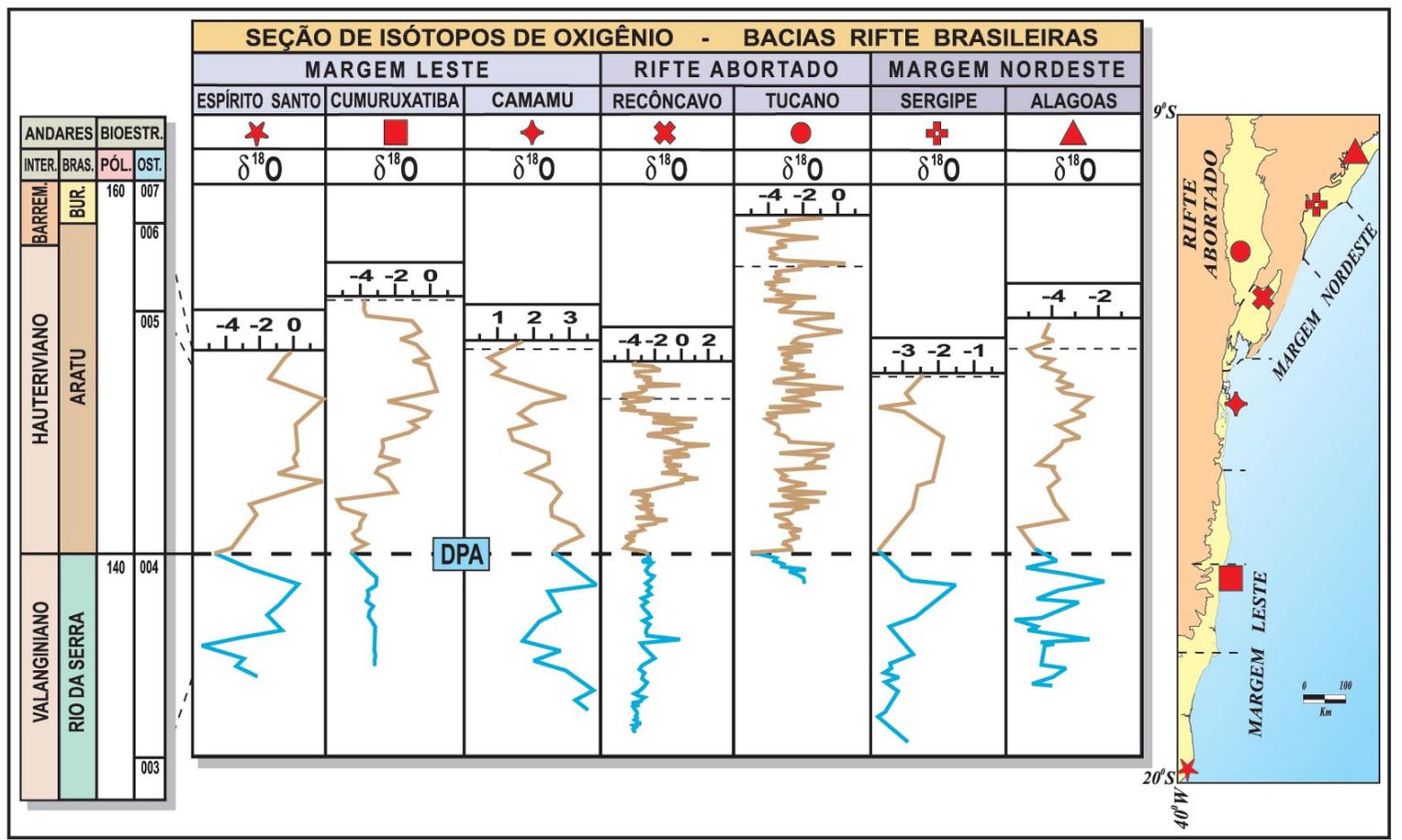


Figura 7 - Estratigrafia isotópica de oxigênio dos riftes lacustres que exibe a tendência de aquecimento climático do Andar Rio da Serra para o Aratu (modificado de Bueno, 2001).

Figure 7 - Oxygen isotope stratigraphy of the lacustrine rifts shows a tendency of the climatic warming from Rio da Serra stage towards the Aratu stage (modified from Bueno, 2001).

bacias rifte brasileiras por vários trabalhos. Entre eles cita-se Rodrigues *et al.* (1993), que após análise conjunta de isótopos, biomarcadores e palinologia aplicada ao Andar Rio da Serra da Bacia Potiguar, concluíram que condições mais secas prevaleceram para o topo do andar. Valendo-se da mesma metodologia, porém aplicada à Bacia de Camamu, Gonçalves (1997) caracterizou condições de aridez e evaporação crescentes durante a deposição dos andares Rio da Serra e Aratu, que se inverteu para condições de umidade e influxo de água crescente a partir do Andar Buracica.

Para Chiossi (1997), as variações nas razões de $\delta^{18}\text{O}$ das bacias de Sergipe e Alagoas demonstram que um decréscimo de umidade ocorreu a partir do Meso-Rio da Serra, alcançando períodos de clima mais seco ao atingir o Neo-Rio da Serra. O Andar Aratu é caracterizado por uma estabilidade cli-

mática, passando gradativamente a períodos mais úmidos durante os andares posteriores.

Picarelli *et al.* (1993), com base em dados palinológicos quantitativos de amostras de poços das bacias do Tucano Central e Norte, interpretaram o Andar Neo-Rio da Serra como um período mais seco que o verificado na parte média do andar e atribuíram condições climáticas tropicais/subtropicais ao Andar Aratu. Com base nas variações isotópicas de oxigênio de várias bacias rifte brasileiras, Bueno (2001) confirma a interpretação de uma transição climática para condições mais secas no Neo-Rio da Serra (fig. 7).

O padrão isotópico permite interpretar um aumento da aridez e salinidade que se mantém estável durante a idade Aratu, quando retorna a condições de maior umidade em direção ao Andar Buracica.

Figura 8

Modelo de formação de *seaward dipping reflectors* e sua ocorrência simétrica nas margens sul-americana e africana (modificado de Jackson *et al.* 2000; Talwani e Abreu, 2000).

Figure 8

Model of the formation of *seaward dipping reflectors* and their symmetrical occurrence on the South American and African margins (modified from Jackson *et al.* 2000; Talwani and Abreu, 2000).

O comportamento climático no ambiente lacustre entre os andares Rio da Serra - Aratu é bastante semelhante ao constatado no ambiente marinho durante o Valanginiano - Hauteriviano, evidência da extensão do efeito *greenhouse* sobre regiões continentais.

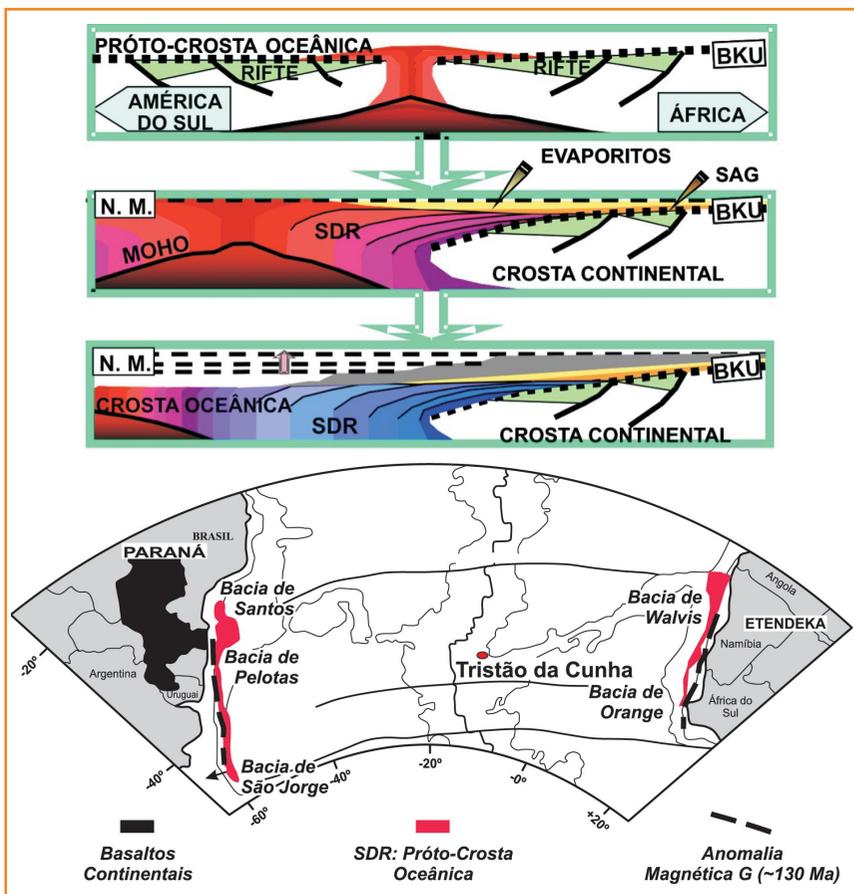
break-up inicial

A idade do começo do rifte no segmento meridional do Atlântico Sul é neojurássica tanto ao norte das ilhas Falkland (Lawrence *et al.* 1999) quanto na Namíbia (Light *et al.* 1992), sendo neste segmento onde se tem o registro da mais antiga fase de espalhamento oceânico. Lawrence *et al.* (1999) identificaram três fases rifte na região e correlacionaram a discordância que encerra a segunda como sendo cronoequivalente à discordância de *break-*

up entre a África do Sul e a porção meridional da América do Sul. Quanto à idade, os autores se reportam à anomalia magnética M10N de Rabinowitz e LaBrecque (1979). Esta feição é representativa do limite Valanginiano - Hauteriviano e, de acordo também com Cande *et al.* (1989) e Nürnberg e Müller (1991), relaciona-se à crosta oceânica mais antiga do Atlântico Sul (131 Ma).

Na interface final de rifte - início do drifte é comum a ocorrência das feições sísmicas com conotação genética, conhecidas como *seaward dipping reflectors* – SDR (Hinz, 1981; Jackson *et al.* 2000). Para Talwani e Abreu (2000), os SDR representam a crosta oceânica inicial durante o *break-up* continental, cuja implantação se daria num intervalo aproximado de 2 Ma e com uma geometria de cordilheira meso-oceânica. As simétricas províncias de SDR Pelotas - Walvis nas margens sul-americana e africana, formadas após os basaltos continentais Paraná - Etendeka, seriam pouco mais jovens do que a idade atribuída ao clímax extrusivo, que segundo Renne *et al.* (1992) e (Stewart *et al.* 1996) ocorreu em 132 Ma, o que posiciona a idade dos SDR no Hauteriviano (~Andar Aratu). A variação na largura dos SDR em ambas as margens teria origem na atividade do *hot spot* Tristão da Cunha (fig. 8), possivelmente indicando um aumento na velocidade do espalhamento oceânico.

Considerando-se as diferenças entre os dois segmentos de SDR, pode-se supor uma interpretação alternativa que proponha uma geração em duas etapas. A primeira fase, mais antiga, corresponderia aos SDR com cerca de 50 km de largura, que se estendem de São Jorge - Orange até os afloramentos da província magmática Paraná - Etendeka (ver fig. 6) e coincidem com a anomalia magnética G (Talwani e Abreu, 2000). A segunda associaria a área onde os SDR apresentam as maiores larguras com a área de ocorrência do lineamento magnético M3 (Stewart *et al.* 1996), isto é, Santos Sul e Walvis Norte, possibilitando interpretar para a região um ambiente marinho associado a vulcânicas a partir do Barremiano (Andar Buracica).



microplaca Sergipe

Szatmari e Milani (1999) descrevem que o desenvolvimento do Atlântico Sul na região do Rifte Recôncavo - Tucano - Jatobá teve sua propagação para norte impedida ao se deparar com uma feição perpendicular à sua direção, a zona de cisalhamento Pernambuco - Ibimirim. Este anteparo reológico, durante a passagem dos andares Rio da Serra / Aratu, teria provocado a transferência da distensão continental para a zona transformante Sergipe - Alagoas e conseqüentemente abortado o desenvolvimento do Rifte Recôncavo - Tucano - Jatobá (fig. 9).

O reflexo no preenchimento das bacias afetadas pela rotação da microplaca pode ser observado na Bacia do Recôncavo, que durante o Andar Rio da Serra foi palco de uma sedimentação com acentuada variação faciológica lateral e vertical, acumulando espessuras que variam entre algumas centenas até cerca de 5 000 m (Medeiros e Ponte, 1981). Depósitos turbidíticos, argilocinose, cunhas conglomeráticas e falhas de crescimento representam um ciclo deposicional predominantemente sintectônico estabelecido em áreas hipersubsidentes (Ghignone, 1972).

A transição para o Andar Aratu é acompanhada de um abrandamento gradativo do tectonismo (Mayer e Simões, 1972), o que permitiu a instalação de um extenso ambiente deltaico, caracterizado pela deposição intercalada de arenitos muito finos, siltitos, folhelhos e níveis carbonáticos, que favorecidos pela quiescência tectônica ocorrem com ampla distribuição horizontal e se tornaram marcos estratigráficos.

A mudança no comportamento sedimentar evidencia que no Andar Aratu ocorreu acentuado decréscimo da razão subsidência / deposição, elevada durante o Andar Rio da Serra, refletindo a passagem de um intenso diastrofismo para um período de estabilidade tectônica.

No outro lado da microplaca a Bacia de Sergipe foi palco de forte tectonismo a partir do Andar Aratu (Hauteriviano), que provocou falhas normais com rejeito variável de poucas centenas até 4 000 m, que se configuraram como grábens escalonados de orientação norte-sul, e onde a presença de leques conglomeráticos torna-se significativa a partir de

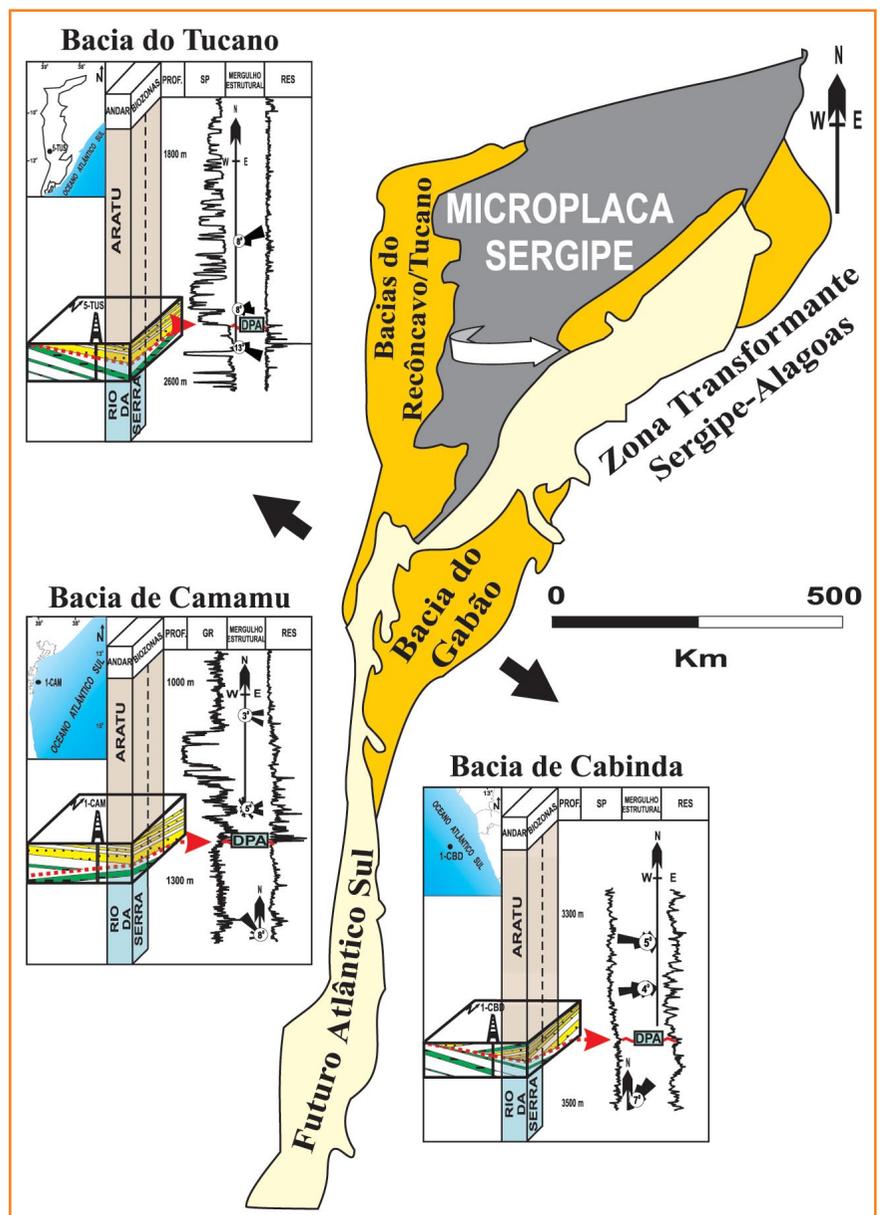


Figura 9 - Área deformada sob a influência da rotação da Microplaca Sergipe (modificado de Szatmari e Milani, 1999; Bueno, 2001). As bacias de Camamu e Cabinda exibem uma divergência nos mergulhos estruturais em época anterior à discordância pré-Aratu e uma convergência após o pulso de propagação do rifte que levaria à formação do Atlântico Sul. Na Bacia do Tucano o segundo pulso acentua os mergulhos estruturais da fase rifte inicial.

Figure 9 - Area deformed under the influence of rotation of the Sergipe microplate (modified from Szatmari and Milani, 1999; Bueno, 2001).

132 Ma (Feijó, 1994), evidência de um diacronismo em relação à fase rifte da Bacia do Recôncavo.

Já a Bacia de Jacuípe, durante quase todo o Andar Rio da Serra, se comportou como uma área emergente, estando o paleo Alto de Jacuípe como fonte de clásticos para as bacias do Recôncavo e Gabão (Filho e Graddi, 1993). O preenchimento

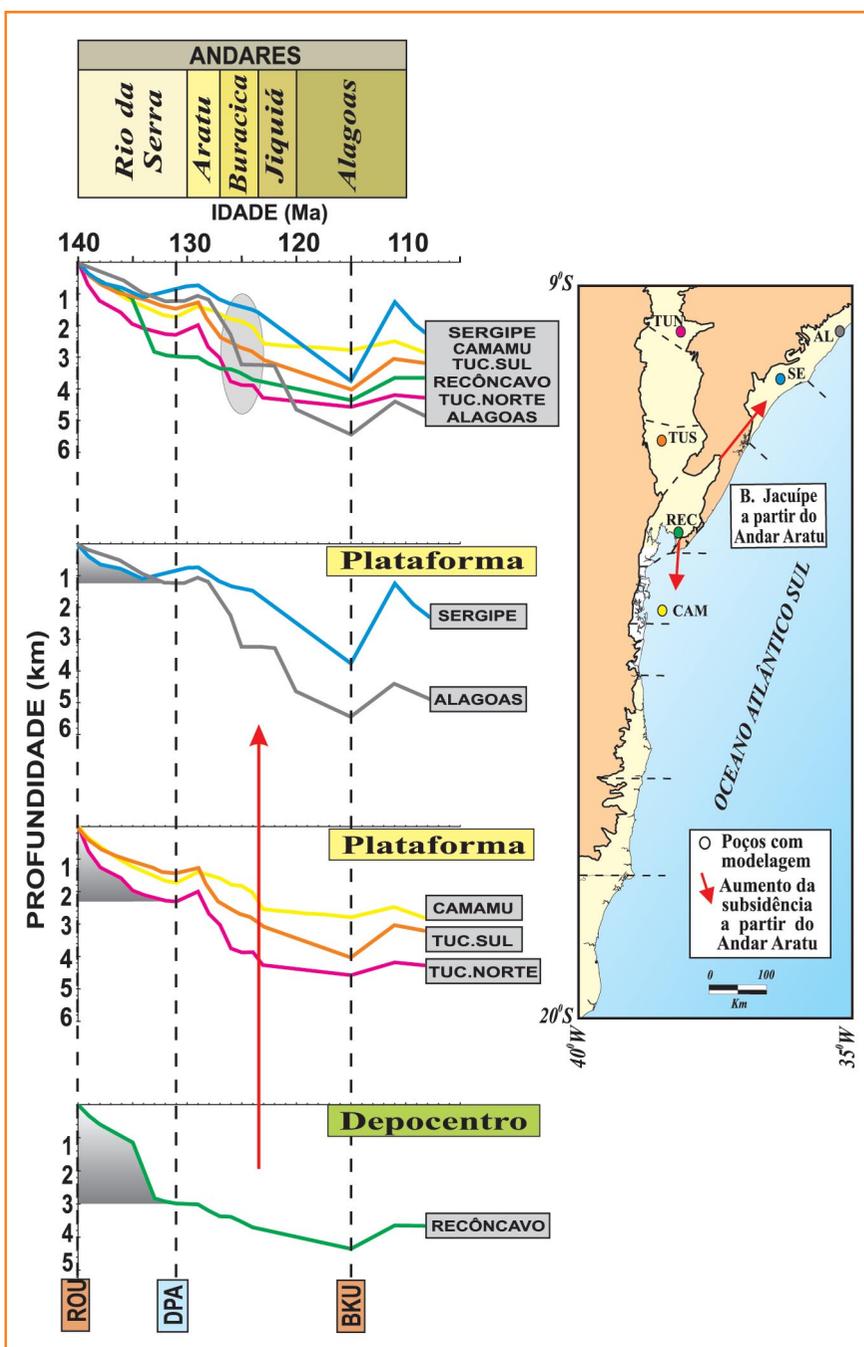


Figura 10 - As curvas de subsidência durante o Andar Rio da Serra (ROU-DPA) exibem uma tendência crescente das bacias de Sergipe e Alagoas em direção à do Recôncavo. Após a discordância pré-Aratu percebe-se uma inversão no comportamento das mesmas, passando Sergipe e Alagoas a terem as maiores taxas de subsidência, o que retrata a transferência dos esforços distensionais para leste (modificado de Bueno, 2001).

Figure 10 - The subsidence curves during the Rio da Serra stage (ROU-DPA) show a growing tendency from Sergipe and Alagoas basins towards Recôncavo Basin. After the pre-Aratu unconformity occurs an inversion in its behavior, with Sergipe and Alagoas undergoing the greatest rates of subsidence, that expressed the transfer of extension towards the east (modified from Bueno, 2001).

inicial da bacia é composto por clásticos grossos a finos, cuja idade dos seus estratos mais antigos é igual à subzona 005.2, Eoaratu. Conseqüentemente, o evento tectônico que gerou a bacia ocorreu próximo ao final do Andar Rio da Serra, sucedendo-se a geração de espaço de acomodação e o início das condições lacustres, para então se estabelecer a sucessão da fauna de ostracodes iniciada pela zona *Paracypridea elegans elegans* (005.2).

Ainda na passagem da biozona 004 para a 005, limite dos andares Rio da Serra / Aratu, desenvolveu-se na Bacia de Camamu uma linha de charneira de direção nordeste (Picarelli e Grillo, 1996), cuja origem está vinculada a uma movimentação cisalhante leste-oeste, a zona de transferência da Barra.

A fim de avaliar a história de subsidência das bacias rifte nas vizinhanças da Microplaca Sergipe foram selecionados seis poços. Nas curvas de subsidência são observados dois episódios principais de soerguimento e erosão e um secundário: 1) em 131 Ma a discordância pré-Aratu; 2) em 115 Ma a discordância final do rifte; e 3) salienta-se entre 127 e 123 Ma a indicação de um hiato. As menores taxas de subsidência das bacias de Sergipe e Alagoas em relação à Bacia de Camamu e ao Rifte Recôncavo - Tucano, que são bem evidentes em época anterior à discordância pré-Aratu, invertem-se após esta discordância, refletindo a migração dos esforços extensionais para leste durante a transição entre os andares Rio da Serra - Aratu (fig. 10).

Não só a estratigrafia foi afetada pelo diastrofismo no Neo-Rio da Serra, mas também o comportamento hidrológico dos paleolagos. As crescentes condições de aridez e evaporação associadas à subsidência tectônica promoveram a evolução dos lagos Recôncavo, Tucano, Sergipe e Alagoas à condição de lagos hidrológicamente fechados por quase todo o Andar Aratu, situação que durante as idades Meso a Neo-Rio da Serra só estava presente nos lagos da margem leste, Espírito Santo, Cumuruxatiba e Camamu. A covariância positiva entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ reflete o balanço hidrológico negativo entre precipitação e evaporação e o desaparecimento de efluentes entre as bacias (Bueno, 2001; fig. 11).

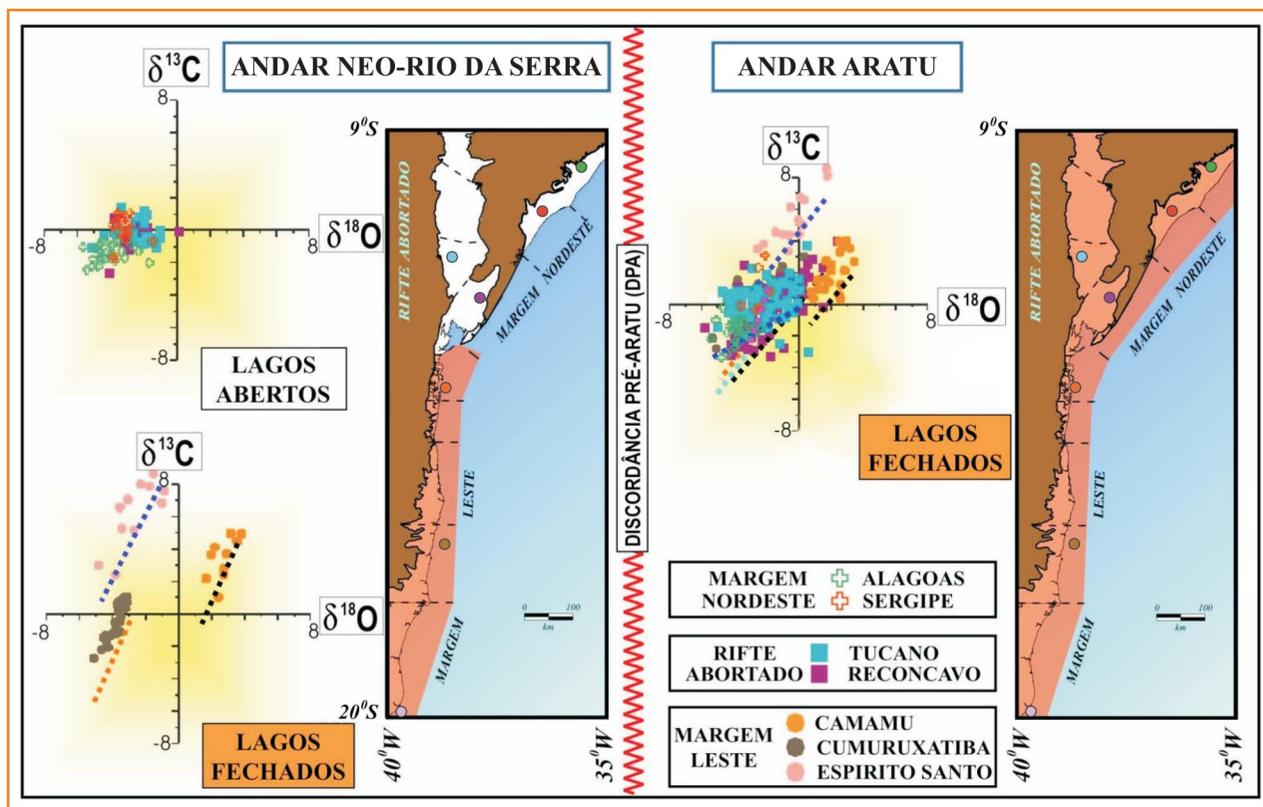


Figura 11
A evolução para lagos hidrologicamente fechados durante o intervalo Neo-Rio da Serra – Aratu acompanhou a propagação do rifte durante a separação continental América do Sul – África (modificado de Bueno, 2001).

Figure 11
The evolution of hydrological closed lakes during the Neo-Rio da Serra-Aratu interval accompanied the propagation of the rift during the South America-Africa continental separation (modified from Bueno, 2001).

discordância de propagação do rifte

Ao se observar a estratigrafia sin-rifte das bacias brasileiras percebe-se a constante presença de um evento erosivo registrado ao longo de um mesmo nível estratigráfico, a seção do Andar Neo-Rio da Serra. A partir das colunas estratigráficas apresentadas em Figueiredo (1994), nota-se a sua ocorrência em pelo menos seis bacias do Leste brasileiro: Alagoas, Sergipe, Recôncavo, Camamu, Almada e Espírito Santo. No decorrer do mesmo ano, Bueno *et al.* (1994) identificaram uma discordância equivalente ao longo de toda a Bacia do Tucano. Na Bacia Potiguar o evento foi usado em estudo estratigráfico regional por Della Fávera *et al.* (1992), sendo posteriormente confirmada a sua cronoequivalência com as bacias da margem leste (Picarelli *et al.* 1993). Por fim, Bueno (2000), ao realizar uma correlação integrada de isótopos de carbono e bioestratigrafia, constatou a presença da discordância entre os depósitos da Formação Cricaré na Bacia de Cumuruxatiba (fig. 12).

Apesar de Schaller (1969) sugerir o truncamento da Formação Barra de Itiúba por uma discordância eocretácea, tendo a intenção de explicar a variação de espessura de 500 m (Bacia de Sergipe) para 2 000 m (Bacia de Alagoas), só três décadas mais tarde Galm e Santos (1994) caracterizaram a discordância regional de idade pré-Aratu nas duas bacias. O hiato foi estimado em 5 Ma e abrange a Zona *Paracypridea brasiliensis*; subzonas *Cypridea ventronodata*; *Paracypridea maacki* e *Paracypridea bicallosa* que, respectivamente, correspondem às subzonas de ostracodes não-marinhos 004.5; 004.4 e 004.3 de Viana *et al.* (1971).

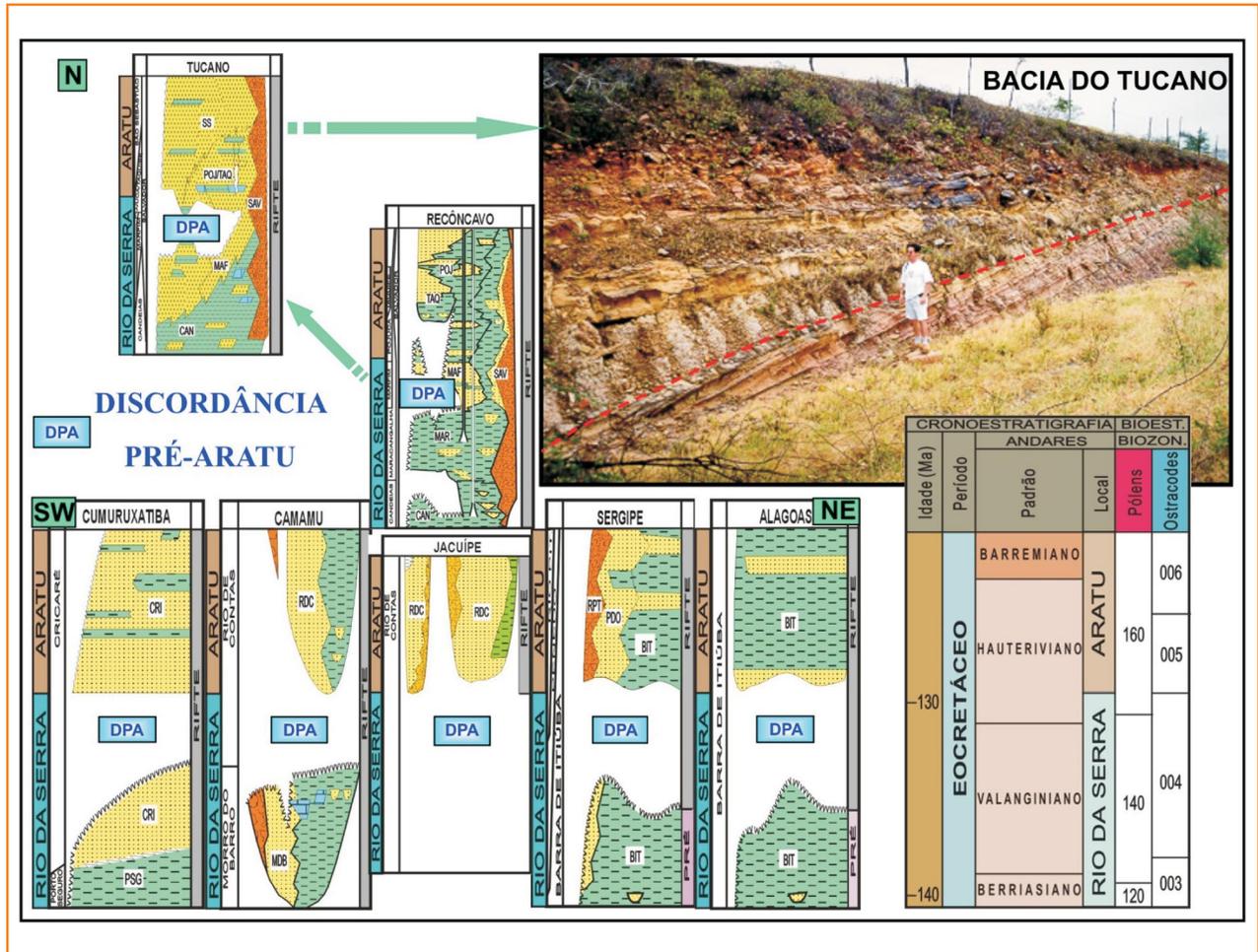
O caráter angular da discordância pré-Aratu lhe confere uma natureza tectônica. Identificada como um evento regional, corresponde a uma notável inflexão negativa na curva dos valores de $\delta^{13}\text{C}$. A discordância pré-Aratu, bem identificada em áreas proximais, transita para uma conformidade correlativa em regiões mais profundas das bacias de Sergipe, Recôncavo e Tucano. Na Bacia de Sergipe foi constatada a zona de ostracodes *Paracypridea maacki* nesta superfície de conformidade (Galm e

Figura 12

Presença regional da discordância pré-Aratu nos riftes lacustres. Seção-tipo aflorante na rodovia BR-116, próximo à cidade de Jeremoabo, na Bacia do Tucano.

Figure 12

The regional presence of the pre-Aratu unconformity in the lacustrine rifts. Type section exposed along the BR-116 highway near the town of Jeremoabo in the Tucano Basin.



Santos, 1998), o que proporcionou aferir uma idade relativa à subzona 004.4 (Andar Neo-Rio da Serra), mais tarde confirmada também para as bacias do Recôncavo e Tucano (Bueno, 2001).

Com o propósito de aferir uma idade absoluta para a feição regional, Cupertino (2000), por meio da análise de traços de fissão de apatitas, estimou a idade de 132 ± 2 Ma para a discordância pré-Aratu.

Este evento apresenta reciprocidade no continente africano, onde Bate (1999), com base nas assembléias de ostracodes eocretáceos, reconhece dois ciclos de preenchimento para os riftes da margem oeste acima da Cordilheira de Walvis. O início destes ciclos é coincidente com as duas primeiras fases tectônicas relacionadas por Karner *et al.* (1997) para o desenvolvimento destas bacias. A primeira fase gerou a Charneira Oriental durante o Berriasiano, posteriormente, um novo tectonismo no Hauteriviano provocou o

surgimento da Charneira Atlântica e de uma discordância regional sobre os blocos rotacionados (fig. 13).

As particularidades que acompanham a discordância pré-Aratu lhe permitiram uma classificação com significado genético, assim como o da discordância inicial do rifte (*onset unconformity*) ou o da final do mesmo (*break-up unconformity*). Foi proposto o termo discordância de propagação do rifte (*propagation unconformity*) para as discordâncias de 2ª ordem com pronunciado caráter angular, ampla extensão interbacia, e que refletem o encerramento e início simultâneo do estágio rifte em diferentes segmentos da zona de separação continental. São subseqüentes a um episódio de propagação do rifte, no qual ocorrem a migração da direção de ruptura das placas litosféricas e o conseqüente abandono de riftes iniciais (Bueno, 2001; fig. 14).

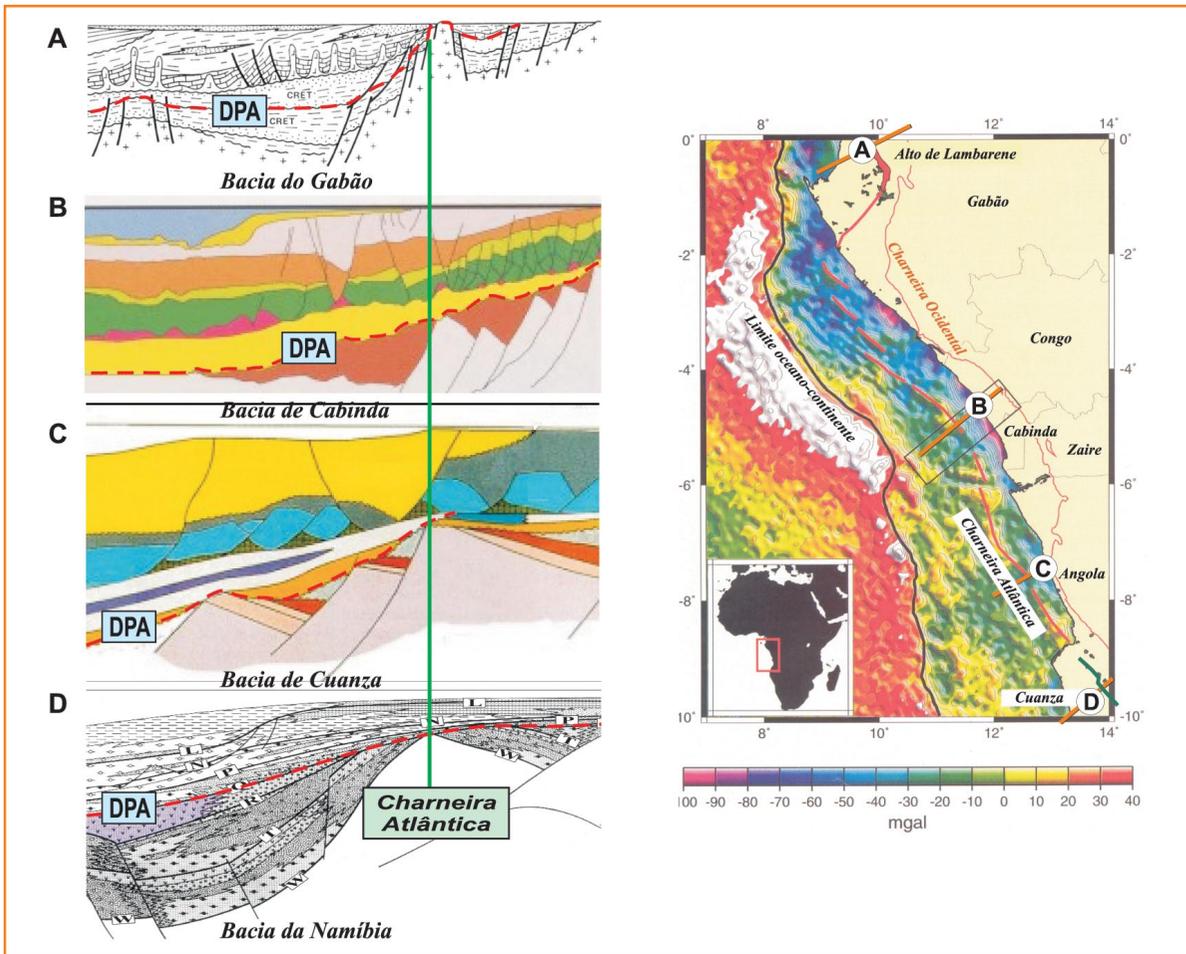


Figura 13

Charneira Atlântica ao longo da margem oeste africana, entre as bacias do Gabão e da Namíbia. Observa-se a constante presença da discordância pré-Aratu (modificado de Karner et al. 1997; Bignell e Edwards, 1987; Marton et al. 2000; Henry et al. 1995; Light et al. 1992).

Figure 13

The Atlantic hingeline along the West African margin between the Gabon and Namibia basins. Note the constant presence of the pre-Aratu unconformity. (modified from de Karner et al. 1997; Bignell and Edwards, 1987; Marton et al. 2000; Henry et al. 1995; Light et al. 1992).

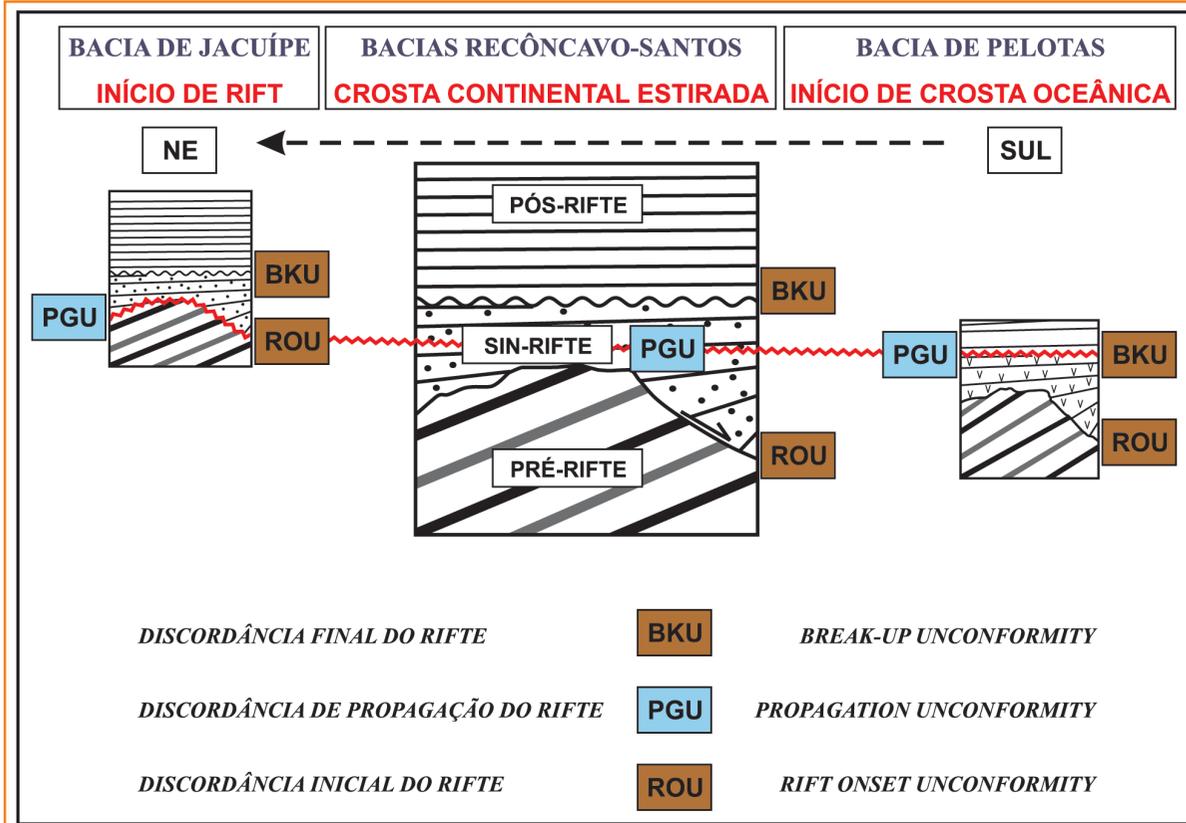


Figura 14

Conceito de discordância de propagação do rifte baseado nos riftes brasileiros e tendo como exemplo a discordância pré-Aratu (modificado de Bueno, 2001).

Figure 14

Concept of a rift propagation unconformity based on Brazilian rift basins with the pre-Aratu unconformity serving as an example (modified from Bueno, 2001).

rifte propagante

Em geral, aceita-se que o desenvolvimento de separações continentais ocorra de forma episódica ao longo de zonas de fraqueza, com múltiplas fases de rifteamento e oceanização, constituindo o rifteamento um processo progressivo e diácrono. Assim, ao longo da separação, enquanto um determinado segmento já se encontra na fase de espalhamento do assoalho oceânico, outros ainda se encontram na fase rifte, em graus diferenciados de extensão da crosta.

Para o Atlântico Sul discute-se uma evolução de propagação simultânea de riftes pelo Sul e pelo Norte do continente afro-americano (Conceição *et al.* 1988; Bradley e Fernandez, 1992; Standlee *et al.* 1992). Os pontos iniciais de abertura teriam sido os dois *hot spots*: Santa Helena e Tristão da Cunha. Após a instalação de riftes teria ocorrido a propagação de megafaturas nos sentidos sul e norte, dando-se o encontro entre ambas a Noroeste do Gabão e Nordeste do Brasil.

Foram enfocadas, aqui, as bacias do segmento a sul desta região de encontro de megafaturas, onde vários trabalhos defendem uma propagação policíclica de sul para norte, entre os quais se

encontra o de Asmus e Porto (1972); Szatmari *et al.* (1987); Dias (1993); Destro (1994); Davison (1999), Mohriak (2001).

Ao fim do magmatismo continental e durante o aquecimento climático por ele provocado na Idade Rio da Serra, ocorreu o *break-up* inicial. Este ampliou as taxas de extensão nos riftes a norte e gerou a discordância de propagação pré-Aratu (fig. 15).

Após o *break-up* inicial, que possivelmente se estendeu até o Sinclinal de Torres, seguem-se outras duas fases de oceanização, constituindo-se num clássico exemplo de rifte propagante (fig. 16).

Sucede a este *break-up* um evento tardio, cuja produção de crosta oceânica está registrada na mais velha anomalia magnética do Atlântico Sul na latitude do Paraná, M3 (Stewart *et al.* 1996), indicando a idade de 126 Ma para o prolongamento do incipiente Atlântico Sul até a região da atual Bacia de Santos, porção sul.

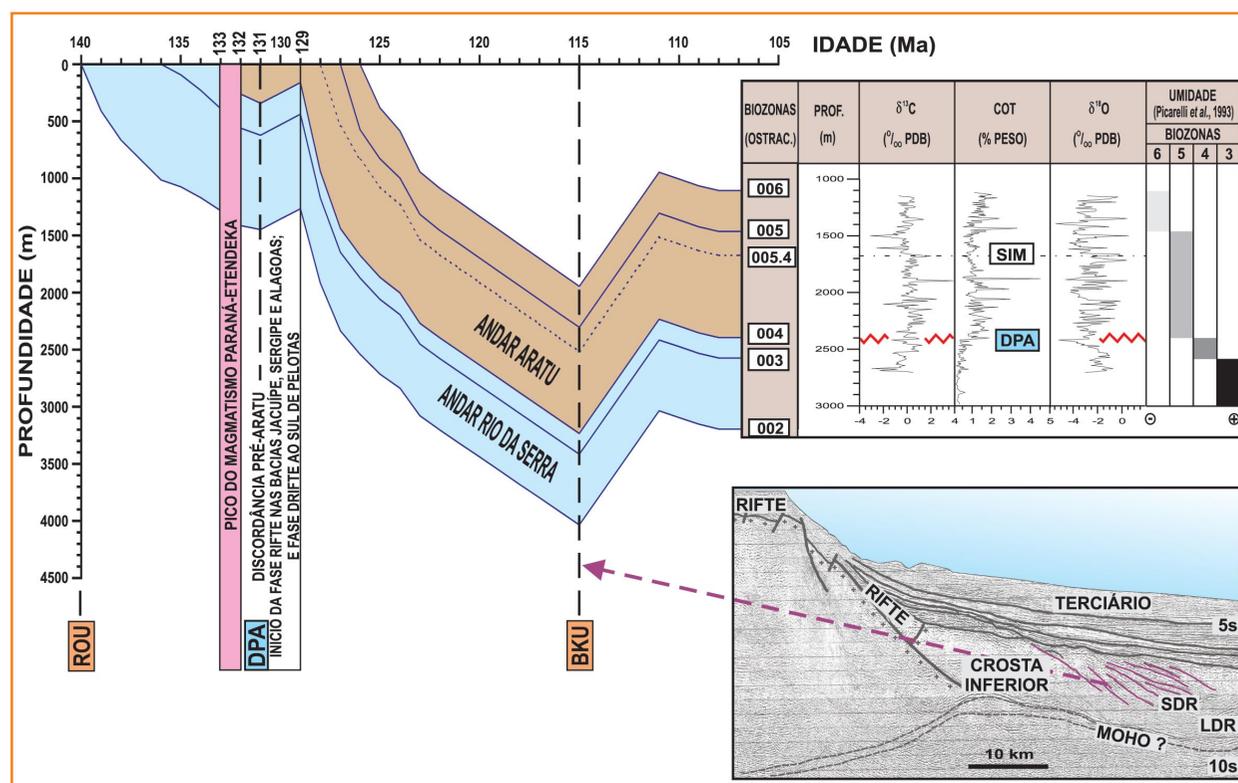
Nas margens do Oceano Atlântico Sul observam-se duas direções de enxames de diques (fig. 17). Datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Erlank *et al.* 1984 e Stewart *et al.* 1996) sugerem que os diques ortogonais do Arco de Ponta Grossa (137 - 130 Ma) são mais

Figura 15

Integração dos eventos tectônicos, magmáticos e climáticos no desenvolvimento do Rifte Sul - Atlântico (modificado de Bueno, 2001; Mohriak, 1998).

Figure 15

Integration of the tectonic, magmatic and climatic events in the development of the South Atlantic rift (modified from Bueno, 2001; Mohriak, 1998).



antigos do que aqueles paralelos à atual margem atlântica (133 - 125 Ma). Essa informação converge para os estudos geoquímicos e isotópicos destas rochas, que fornecem parâmetros quanto ao grau de contaminação crustal das mesmas (Wilson, 1993). Isto porque a maioria dos basaltos da Província Paraná - Etendeka é enriquecida em isótopos de Sr-Nd-Pb, indicativo de expressiva fusão parcial em domínios de crosta continental, enquanto apenas os diques pertencentes aos enxames paralelos à costa apresentam afinidades geoquímicas relativas aos basaltos oceânicos atuais, sugerindo que os mesmos sejam diácronos em relação aos ortogonais à margem (Turner *et al.* 1994).

No Brasil, até a latitude 31°S (poço 1-RSS-3 na Bacia de Pelotas) os *seaward dipping reflectors* - SDR ocorrem na forma clássica de cunhas basálticas, entretanto, a norte mostram-se falhados e rotacionados (Fontana, 1996). Este tectonismo registra a propagação do rifte para norte, que culminaria na segunda fase de *break-up*, que teria se estendido até Santos Sul - Walvis Norte. A deformação sofrida pelos SDR demonstra que o tectonismo de uma fase rifte contígua a um segmento que já se encontra na fase termal produz lateralmente uma zona tectônica de transição. Esta fase diástrófica produziu uma discordância de idade Buracica na Bacia de Santos e teve como efeito remoto, nas bacias rifte a nordeste, o hiato observado nas curvas de subsidência no intervalo 127 - 124 Ma (fig. 18).

Após o deslocamento para sudeste ao longo do lineamento Capricórnio (Bueno *et al.* 2004), a separação continental contorna o Platô de São Paulo e prossegue na direção norte. De Asmus e Baisch (1983) até os trabalhos atuais pouca divergência surgiu quanto à idade do *break-up* final. As análises de diferentes fontes de dados situam-no entre o Neo-aptiano e o Eoalbiano.

Feijó (1996), a partir de estudo sedimentológico e paleontológico nas rochas da Formação Muribeca da Bacia de Sergipe, concluiu que o último elo entre os continentes americano e africano rompeu-se no Neo-aptiano, permitindo o estabelecimento da livre circulação de água entre os oceanos Atlântico Sul e Equatorial. Esta interpretação corroborou a hipótese aventada por Dias-

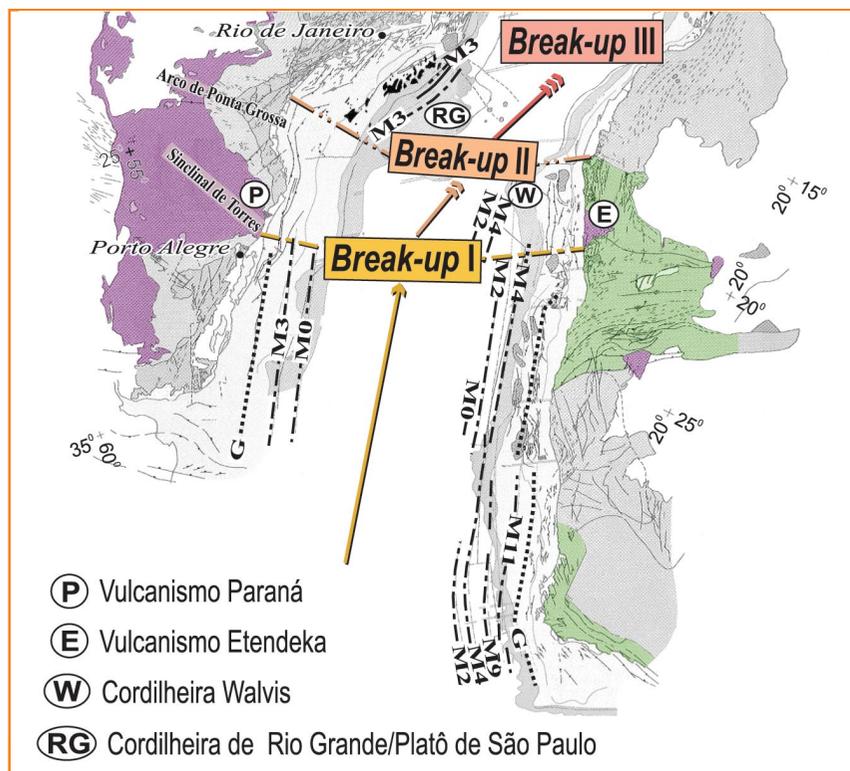


Figura 16 - Rifte propagante do Atlântico Sul constituído de três segmentos de *break-up* (modificado de Bueno, 2001; Davison, 1999).

Figure 16 - The South Atlantic propagating rift consisting of three *break-up* segments (modified from Bueno, 2001; Davison, 1999).

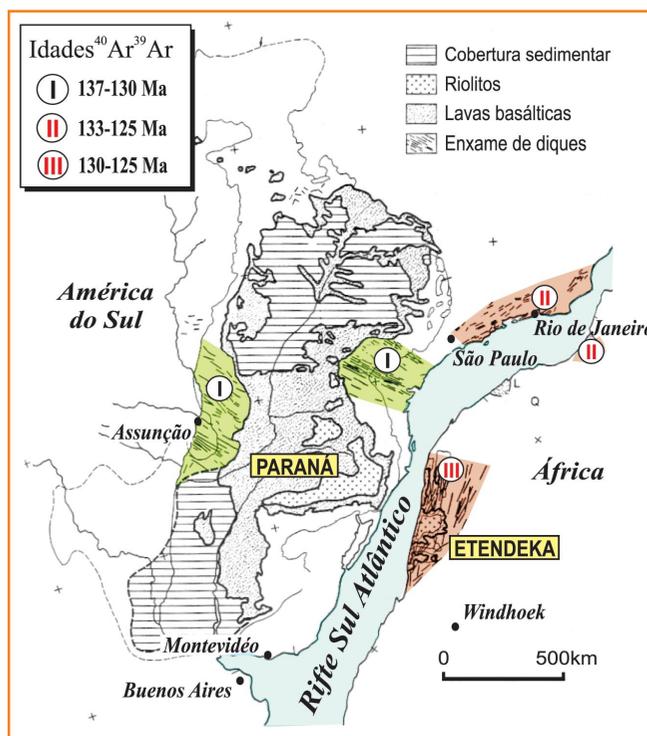


Figura 17 Diacronismo das gerações de diques ortogonais e paralelos ao eixo do Atlântico Sul, possível indicação na mudança nos esforços extensionais (modificado de Hawkesworth *et al.* 1992; Marzoli *et al.* 1999).

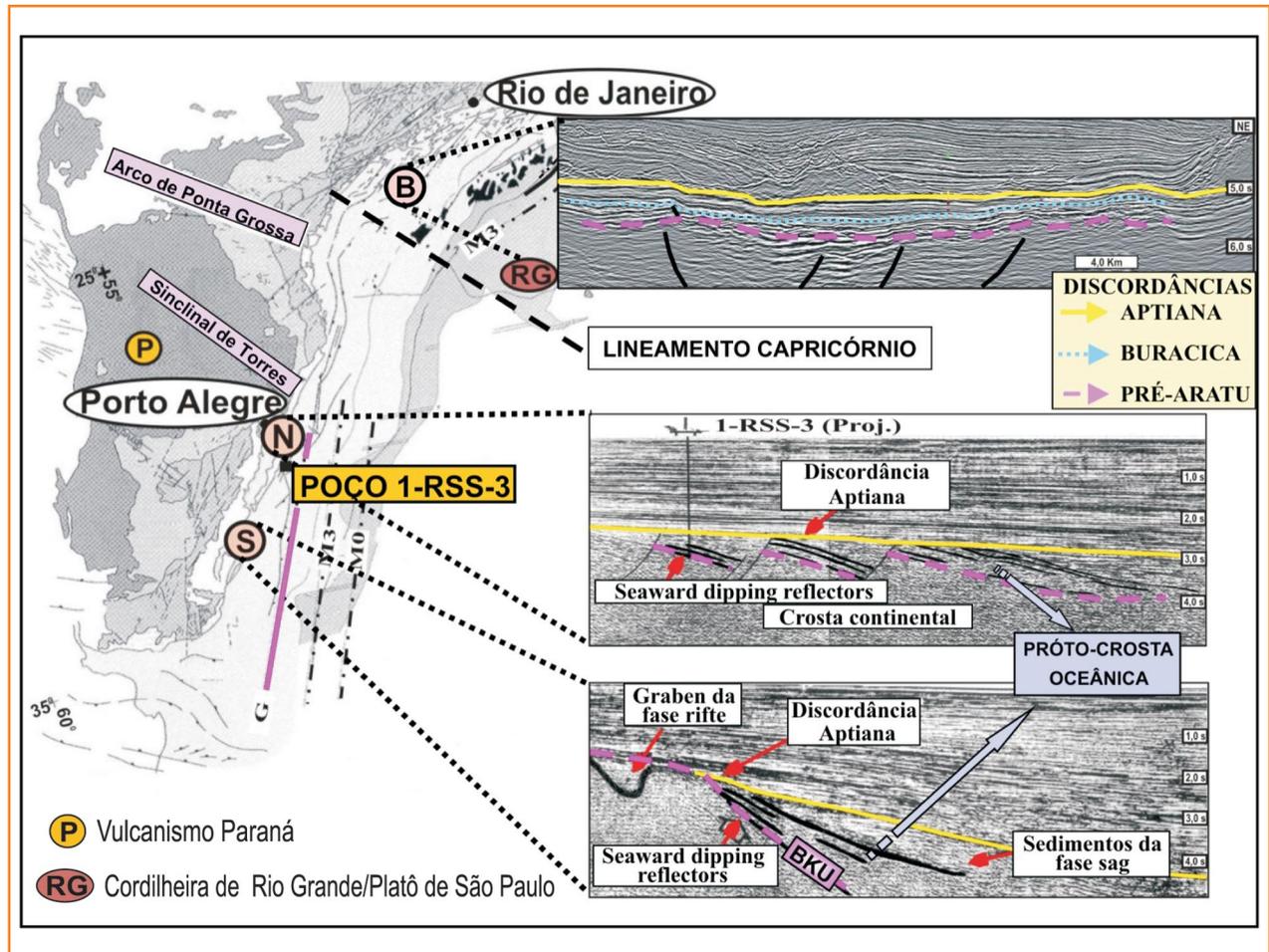
Figure 17 Diachronism of the orthogonal and parallel dikes to the axis of the South Atlantic, an indicator of change in the direction of extension (modified from Hawkesworth *et al.* 1992; Marzoli *et al.* 1999).

Figura 18

Tectonismo que precede o segundo *break-up*, falhando e rotacionando os *seaward dipping reflectors* ao norte da Bacia de Pelotas e gerando uma discordância regional na Bacia de Santos (modificado de Fontana, 1996; Davison, 1999; Bueno, 2001).

Figure 18

Tectonism that preceded a second *break-up* failed and rotated the *seaward dipping reflectors* to the north of the Pelotas Basin and produced a regional unconformity in the Santos Basin (modified from Fontana, 1996; Davison, 1999; Bueno, 2001).



Brito (1987), que a sugeriu após encontrar as espécies tetianas *Nanoconnus truitti* e *Favusella washitenses* também na Bacia de Sergipe. Mohriak *et al.* (1998) interpretaram a presença de cunhas de SDR à frente das bacias de Jacuípe e Sergipe e também lhes atribuíram a idade aptiana. Enquanto Françolin e Szatmari (1987), ao estudarem a evolução do Rife Atlântico Equatorial, posicionaram o *break-up* final no Eoalbio, quando teria iniciado o movimento divergente leste-oeste entre os continentes sul-americano e africano.

conclusões

O aquecimento climático constatado nos riftes lacustres brasileiros, entre o Meso-Rio da Serra e Buracica, provavelmente teve origem no aumento de CO₂ vulcânico na atmosfera eocretácea de-

vido à síncrona atividade do magmatismo Paraná - Etendeka, 138 a 127 Ma.

As distintas larguras das zonas de ocorrência e as diferentes idades indicadas pelos lineamentos magnéticos que acompanham a simétrica província de *seaward dipping reflectors* - SDR São Jorge - Pelotas permitem supor uma evolução bifásica de sul para norte, refletindo dois episódios de *break-up*.

Associando-se a idade inicial da segunda geração de SDR à idade do lineamento magnético M3 (126 Ma), e considerando-se a origem dos SDR em ambiente subaquático, pode-se presumir um ambiente sob influência marinha na porção sul da Bacia de Santos a partir do Andar Buracica.

A análise de co-variância entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para os riftes da margem leste mostrou uma evolução da condição de lagos hidrologicamente abertos para fechados, acompanhando o desenvolvi-

to da separação continental América do Sul - África, também evoluindo de sul para norte.

Cunha-se o termo **discordância de propagação** para os eventos angulares / erosivos que refletem o diacronismo evolutivo de um rifte propagante, isto é, são discordâncias intra-rifte num segmento da ruptura que refletem o simultâneo *break-up* em um extremo e o início de rifte em outro, caso da discordância pré-Aratu.

Propõe-se uma evolução de rifte propagante para o Atlântico Sul, constituída de três fases associadas à implantação de crosta oceânica: 1) em 131 Ma, das Falkland até os atuais afloramentos da Província Paraná - Etendeka; 2) em 126 Ma, do norte da Bacia de Pelotas até o sul da Bacia de Santos; e o 3) em 115 Ma, do norte da Bacia de Santos até, no mínimo, a Bacia de Alagoas.

A deformação sofrida pelos SDR ao norte da Bacia de Pelotas indica um tectonismo superimposto durante uma evolução rifte polifásica, demonstrando que uma fase rifte II, seguida a uma fase térmica (pós-rifte I), deforma não só a seqüência vertical, mas produz uma zona tectônica de transição lateral.

A rotação da Microplaca Sergipe ocorreu na Idade Rio da Serra e foi síncrona à formação da Charneira Atlântica na placa africana. O evento tectônico que afetou toda região gerou a discordância pré-Aratu, guia do limite Valanginiano - Hauteriviano para as margens leste e oeste, respectivamente dos continentes sul-americano e africano.

agradecimentos

Aos colegas José Cupertino, Edison Milani, Clóvis Francisco, Ricardo Latge, Fernando Freire, Luciano Magnavita e Rogério Gontijo pelos comentários construtivos sobre o tema e pelas visitas aos afloramentos na Bacia do Tucano. Especial agradecimento ao Dr. Peter Szatmari, que com suas sugestões estimulou várias idéias aqui expressas.

referências bibliográficas

ARAI, M.; HASHIMOTO, A. T.; UESUGUI, N. Significado cronoestratigráfico da associação microflorística do Cretáceo Inferior do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1/2, p. 87-103, jan./jun. 1989.

ASMUS, H. E.; PORTO, R. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1972. v. 2, p. 667-690.

_____; PONTE, F. C. The Brazilian marginal basins. In: NAIRM, A. E. M.; STEHILI, F. G. (Ed.) **The ocean basins and margins**. New York: Plenum, 1973. v. 1, p. 87-133.

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

_____; BAISCH, P. R. Geological evolution of the Brazilian continental margin. **Episodes**, Ottawa, v. 6, n. 4, p. 3-9, dez. 1983.

AUBRY, M-P.; BERGGREN, W. A.; COUVERING, J. A. V.; STEININGER, F. Problems in chronostratigraphy: stages, series, unit and boundary stratotypes, global stratotype section and point and tarnished golden spikes. **Earth Science Reviews**, Amsterdam, v. 46, n. 1/4, p. 99-148, maio 1999.

BATE, R. H. Non-marine ostracod assemblages of the Pre-salt rift basins of West Africa and their role in sequence stratigraphy. In: CAMERON, N. R.; BATE, R. H.; CLURE, V. S. (Ed.) **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. London: Geological Society of London, 1999. p. 283-292. (Geological Society of London. Special publication, 153).

BIGNELL, R. D.; EDWARDS, A. D. **Hydrocarbon potential of the west african salt basin**. London: Fairway Exploration Consultants, 1987. 4 v.

BOSENCE, D. W. J. Stratigraphic and sedimentological models of rift basins. In: PURSER, B. H.; BOSENCE, D. W. J. (Ed.) **Sedimentation and Tectonics in Rift Basins Red Sea – Gulf of Aden**. Cambridge: Chapman & Hall, 1998. p. 9-25.

BRADLEY, C. A.; FERNANDEZ, M. N. Early Cretaceous paleogeography of Gabon/North-Eastern Brazil. - A tectono-stratigraphic model based on propagating rifts. In: CURNELLE, R. (Ed.) **Géologie Africaine**. Boussens: Elf-Aquitaine, 1992. p. 17-30. (Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine. Memoire, 13).

BUENO, G. V.; AZAMBUJA, N. C.; SZATMARI, P.; TRINDADE, L. A.; PERARO, A. A.; SARNELLI, C.; MARQUES, E. J. J.; CIVATTI, F. V.; SILVA, H. S. R. L.; COSTA, I. P.; GUIMARÃES, M. F.; MAKINO, R. K.; LYRIO, J. C. S. O.; MAGNAVITA, L. P.; ARAGÃO, M. A. N. F.; FREIRE, S. L. M.; ARAÚJO, C. V.; BENDER, A. A.; BEDREGAL, R. P.; ROSTIROLLA, S. P.; FREIRE, L. M.; MILHOMEM, P. S.; OSWALD, F. H. **Projeto Tucano - Análise de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRAS. DEXBA., 1994. Relatório Interno.

_____. Valanginian-Hauterivian carbon isotope excursion on eastern South America rift lakes. In: LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ORGANIC GEOCHEMISTRY, 7., 2000, Foz do Iguaçu. **Expanded abstracts...**, Foz do Iguaçu: Associação Latino-Americana de Geologia Orgânica, 2000. p. 273-274.

_____. **Discordância Pré-Aratu: Marco Tectono-Isotópico no Rifte Afro-Brasileiro**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Tese (Doutorado).

_____.; MACHADO JÚNIOR, D. L.; OLIVEIRA, J. A. B.; MARQUES, E. J. J. A influência do Lineamento Capricórnio na evolução tectono-sedimentar da Bacia de Santos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 2004, Araxá. **Anais...** Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004.

CANDE, S. C.; LaBRECQUE, J. L.; LARSON, R. L.; PITMAN III, W. C.; GOLOVCHENKO, X.; HAXBY, W. F. **Magnetic lineations of the world's ocean basins**. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, 1989.

CHANG, H. K.; KOSWMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F. New concepts on the development of East Brazilian marginal basins. **Episodes**, Ottawa, v. 11, n. 3, p. 194-202, set. 1988.

CHANNELL, J. E. T.; ERBA, E.; NAKANISHI, M.; TAMAKI, K. **Late Jurassic-Early Cretaceous time scales and oceanic magnetic anomaly block models**. SEPM – Society for Sedimentary Geology, 1985b. p. 51-63. (SEPM Special Publication, 54).

CHAZOT, G.; MENZIES, M. A.; BAKER, J.. Pre-, syn- and post-rift volcanism on the southwestern margin of the Arabian plate. In: PURSER, B. H.; BOSENCE, D. W. J. (Ed.) **Sedimentation and Tectonics in Rift Basins Red Sea – Gulf of Aden**. Cambridge: Chapman & Hall, 1998. p. 50-55.

CHIOSSI, D. S. N. **Estratigrafia de seqüências e condicionamento tectono-climático num rifte continental (Bacia de Sergipe-Alagoas)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 204 f. Dissertação (Mestrado).

CONCEIÇÃO, J. C. J.; ZALÁN, P. V.; WOLFF, S. Mecanismo, Evolução e Cronologia do Rifte Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2/4, p. 255-265, abr./dez.1988.

_____.; MIZUSAKI, A. M. P.; ALVES, D. B.; SZATMARI, P. **Controle tectônico do magmatismo meso-oceânico no sul e sudeste do Brasil e seu papel na evolução das bacias sedimentares. Fase I: Bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba**. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. SUPEP. DIVEX. SETEC, 1994. 96 p. Relatório Interno.

CONNOR, J. M.; DUNCAN, R. A. Evolution of the Walvis Ridge – Rio Grande Rise hot spot system. Implications for African and South American Plate Motions over plumes. **Journal Geophysical Research**, Washington, n. 95, p. 17475-17502, 1990.

CORDANI, U. G. Dating of volcanic rocks by means of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method and its application in the case of the Paraná Continental Flood Basalts. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1., 1999, Gramado. **Resumos...** São Paulo: SBG, 1999. p. 113.

CUPERTINO, J. A. **Evolução tectono-climática na fase rift das Bacias de Camamu, parte norte, e sul do Recôncavo, com ênfase na utilização de isótopos estáveis e traço de fissão.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 2 v. Tese (Doutorado).

DAVISON, I. Tectonics and hydrocarbon distribution along the Brazilian South Atlantic margin. In: CAMERON, N. R.; BATE, R. H.; CLURE, V. S. (Ed.) **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic.** London: Geological Society of London, 1999. p. 133-151. (Geological Society Special Publication, 153).

DELLA FÁVERA, J. C.; ROSSETTI, E.; GUZZO, J.; MATSUDA, N.; SOARES, M.; HASHIMOTO, A.; ALVES, D.; CASTRO, J.; AZAMBUJA, N. C.; RODRIGUES, R. **Estratigrafia de seqüências da Formação Pendência, Bacia Potiguar.** Rio de Janeiro: PETROBRAS. DEPEX. 1992. 2 v. Relatório Interno.

DESTRO, N. Tectonism, stratigraphy and sedimentation in Sergipe and Alagoas Basins, NE-Brazil: An overview. In: INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGY CONGRESS, 14., 1994, Recife. **Abstracts...**, Recife: International Association of Sedimentologists, 1994. p. G25-G26.

DIAS, J. L. **Análise estratigráfica e evolução da fase "rift" nas bacias das margens leste e sudeste do Brasil.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991. 145 f. Dissertação (Mestrado).

_____. Evolução da fase rift e transição rift/drift nas bacias das margens leste e sudeste do Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 3., 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1993. v. 2, p. 1328-1332.

_____.; SAD, A. R. E.; FONTANA, R. L.; FEIJÓ, F. J. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 235-245, jan./mar. 1994.

DIAS-BRITO, D. A. Bacia de Campos no Mesocretáceo: uma contribuição a Paleocanografia do Atlântico Sul primitivo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 162-167, jun. 1987.

ERBA, E.; BARTOLINI, A.; LARSON, R. L. **Valanginian Weissert oceanic anoxic event.** *Geology*, v. 32, n. 2, p. 149-152, 2004.

ERLANK, A. J.; MARSH, J. S.; DUNCAN, A. R.; MILLER, R. M.; HAWKESWORTH, C. J.; BETTON, P. J.; REX, D. C. **Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/Namibia.** Johannesburg: Geological Society of South Africa, 1984. p. 195-245. (Geological Society of South Africa. Special publication, 13).

ESTRELLA, G. O. O estágio "rift" nas bacias marginais do Leste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1972. v. 3, p. 29-34.

FALWEY, D. A. The development of continental margins in plate tectonic history. **Australian Petroleum Association Journal**, Sydney, v. 14, n. 1, p. 95-106, 1974.

FEIJÓ, F. J. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-162, jan./mar. 1994.

_____. O início da livre circulação das águas do Oceano Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1/4, p. 157-164, 1996.

FIGUEIREDO, A. M. F. **Depositional systems in the Lower Cretaceous Morro dos Chaves and Coqueiro Seco Formations and their relationship to petroleum accumulations: middle rift sequence, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil.** Austin: Universidade do Texas, 1981. 275 p. Tese (Doutorado).

_____. Cartas estratigráficas brasileiras. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, 1994.

FILHO, W.; GRADDI, J. C. S. **Projeto Jacuípe.** Salvador: PETROBRAS. DEXBA. DIREX, 1993. 29 f. Relatório Interno.

FISCHER, A. G. Long-Term Climatic Oscillations Recorded in Stratigraphy. In: CLIMATE in Earth History. Washington: National Academy Press, 1982. p. 97-104. (Studies in Geophysics).

FÖLLMI, K. B.; WEISSERT, H.; BISPING, M.; FUNK, H. Phosphogenesis, carbon-isotope stratigraphy, and carbonate-platform evolution along the Lower Cretaceous northern Tethyan margin. **Geological Society of America**, Boulder, Colo. v. 106, p. 729-746, 1994.

FONTANA, R. L. **Geotectônica e sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 2 v. Tese (Doutorado).

FRANÇOLIN, J. B. L.; SZATMARI, P. Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 196-207, 1987.

GALM, P. C.; SANTOS, D. F. Caracterização de uma discordância de idade Pré-Aratu (Eocretáceo) na Bacia de Sergipe/Alagoas. **Acta Geológica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 39, n. 2, p. 555-562, 1994.

_____; SANTOS, P. R. S. **Análise bioestratigráfica e palinológica do poço 7-FU-45-AL**. Aracaju: PETROBRAS. DENEST, 1998. Relatório Interno.

GHIGNONE, J. I. A evolução estrutural do Recôncavo durante o tempo Candeias. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 2, p. 35-50, 1972.

GONÇALVES, F. T. T. **Caracterização química e paleoambiental do Cretáceo Inferior da Bacia de Camamu, Bahia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. Dissertação (Mestrado).

GRADSTEIN, F. M.; AGTERBERG, F. P.; OGG, J. G.; HANDERBOL, J.; VAN VEEN, P.; THIERRY, J.; HUANG, Z. A. Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale. In: BERGGREN, W. A.; KENT, D. V.; AUBRY, M. P.; HANDERBOL, J. (Ed.) **Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation**. Tulsa, Okla.: Society for Sedimentary Geology, 1995. p. 95-126. (Society for Sedimentary Geology. Special Publication, 54).

GROSDIDIER, E.; BRACCINI, E.; DUPONT, G.; MORON, J. M. Biozonation du Crétacé Inférieur non marin des bassins du Gabon et du Congo. In: JARDINÉ, S.; KLASZ, I.; DEBENAY, J. P. (Ed.) **Géologie de L'Afrique et de L'Atlantique Sud**. Bousens: Elf

Aquitaine, 1996. p. 67-82. (Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine. Memoire, 16).

HAWKESWORTH, C. J.; GALLAGHER, K.; KELLEY, S.; MANTOVANI, M.; PEATE, D. W.; REGELOUS, M.; ROGERS, N. W. Paraná magmatism and the opening of the South Atlantic. In: STOREY, B. C.; ALABASTER, T.; PANKHURST, R. J. (Ed.) **Magmatism and the Causes of Continental Break-up**. London: Geological Society of London, 1992. p. 1-8. (Geological Society of London. Special Publication, n. 68).

HENRY, S. G.; BRUMBAUGH, W.; CAMERON, N. Pre-Salt source rock development on Brazil's Conjugate Margin: West African Examples. In: INTERNATIONAL CONGRESS BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 4., 1995, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1995. p. 68-70.

HAY, W. W. Tectonics and Climate. **Geologische rudschau**, Stuttgart, v. 85, p. 409-437, 1996.

HINZ, K. A hypothesis on terrestrial catastrophes: wedges of very thick oceanward dipping layers beneath passive continental margins. **Geologisches Jahrbuch**, Hannover, v. E22, p. 3-28, 1981.

JACKSON, M. P. A.; CRAMEZ, C.; FONK, J. M. Role of subaerial volcanic rocks and mantle plumes in creation of South Atlantic margins: implications for salt tectonics and source rocks. **Marine and petroleum geology**, Guildford, v. 17, p. 477-498, 2000.

KARNER, G. D.; DRISCOLL, N. W.; MCGINNIS, J. P.; BRUMBAUGH, W. D.; CAMERON, N. R. Tectonic significance of syn-rift sediment packages across the Gabon-Cabinda continental margin. **Marine and petroleum geology**, Guildford, v. 14, n. 7/8, p. 973-1000, 1997.

LAWRENCE, S. R.; JOHNSON, M.; TUBB, S. R.; MARSHALLSEA, S. J. Tectono-stratigraphic evolution of the North Falkland region. In: CAMERON, N. R.; BATE, R. H.; CLURE, V. S. (Ed.) **The oil and gas habitats of the South Atlantic**. London: Geological Society, 1999. p. 409-424. (Geological Society special publication, n. 153).

LIGHT, M. P. R.; BANKS, N. L.; GREENWOOD, R. J.; MASLANYJ, M.; HORN, I. W.; DAVIDSON, K.; SIMON, P. Sismostratigraphie, stratigraphie séquentielle et tectonique de L'offshore de la Namibie. In: CUMELLE, R. (Ed.). **Géologie Africaine**. Boussens: Elf Aquitaine, 1992. p. 79-98. (Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine. Mémoire, 13).

LINI, A. **Early Cretaceous carbon isotope stratigraphy of the Maiolica Formation, Southern Alps (Northern Italy and Southern Switzerland): stratigraphy and paleoenvironmental significance**. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 1994. 259 p. Tese (Doutorado).

MAGNAVITA, L. P. **Geometry and kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, NE-Brazil**. Oxford: Universidade de Oxford, 1992. 1 v. Tese (Doutorado).

MARZOLI, A.; MELLUSO, L.; MORRA, V.; RENNE, P. R.; SGROSSO, I.; D' ANTONIO, M.; DUARTE MORAIS; L.; MORAIS, E. A. A.; RICCI, G. Geochronology and petrology of Cretaceous basaltic magmatism in the Kwanza basin (western Angola), and relationship with the Paraná-Etendeka continental flood basalt province. **Journal of Geodynamics**, Amsterdam, v. 28, n. 4/5, p.341-356, 1999.

MARTON, L. G.; TARI, G. C. E.; LEHMANN, C. T. **Evolution of the Angola Passive Margin, West Africa, with emphasis on Post-Salt Structural Styles**. Washington: American Geophysical Union, 2000. p. 129-149. (Geophysical Monograph, 115).

MATOS, R. M. D. The northeast Brazilian rift system. **Tectonics**, Washington, v. 11, n. 4, p. 766-791, 1992.

_____. History of the Northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West-Africa. In: CAMERON, N. R.; BATE, R. H.; CLURE, V. S. (Ed.) **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. London: Geological Society of London, 1999. p. 55-73. (Geological Society of London. Special Publication, 153).

MAYER, E.; SIMÕES, I. A. **Sistema deposicional da borda leste do Recôncavo**. Salvador: PETROBRAS. DEPEX. DIREX, 1972. 41 f. Relatório Interno.

MEDEIROS, R. A.; PONTE, F. C. **Roteiro geológico da Bacia do Recôncavo (Bahia)**. Salvador: PETROBRAS. SEPES. DIVEN. SENBA, 1981. 63 p.

MENZIES, M. A.; KLEMPERER, S. L.; EBINGER, C.J.; BAKER, J. Characteristics of volcanic rifted margins. In: MENZIES, M. A.; KLEMPERER, S. L.; EBINGER, C.J.; BAKER, J. (Ed.) **Volcanic Rifted Margins**. Geological Society of America Special Paper, 2002. n. 362, p. 1-14.

MILANI, E. J. **Aspectos da evolução tectônica das bacias do Recôncavo e Tucano Sul, Bahia, Brasil**. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES, 1987. 61p. (Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de petróleo, 18).

MIZUSAKI, A. M. P.; PICCIRILLO, E. M.; DIAS, J. L.; CHIARAMONTI, P. C.; ROISEMBERG, A.; BELLINI, G.; GIARETTA, A. **Petrologia, geoquímica e geocronologia do vulcanismo básico do Neocomiano da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1989. 96 f. Relatório interno.

MOHRIAK, W. U. Crustal architecture and tectonic evolution of the Sergipe-Alagoas and Jacuípe basins, offshore northeastern Brazil. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 288, n. 1/4, p. 199-220, 1998.

_____. Salt tectonics, volcanic centers, fracture zones and their relationship with the origin and evolution of the South Atlantic Ocean: Geophysical evidence in the Brazilian and West African Margins. In: INTERNATIONAL CONGRESS BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 7., 2001, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2001. p. 1594-1597.

NÜRNBERG, D.; MÜLLER, R. D. The tectonic evolution of the South Atlantic from Late Jurassic to present. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 191, n. 1/2, p. 27-53, 1991.

PEREIRA, M. J.; FEIJÓ, F. J. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 219-234, 1994.

PICARELLI, A. T.; LANA, C. C.; GUZZO, J. V. P.; MILHOMEM, P. S. **Correlação e Refinamento Bioestratigráfico da Seqüência Rift das Bacias do**

Recôncavo/Tucano e Potiguar, com base em Palinologia Quantitativa e Ostracodes. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DIVEX. SEBIPE, 1993. Relatório interno.

_____.; GRILLO, J. L. **Considerações sobre a paleogeografia da seção rifte das Bacias de Camamu/Almada e Recôncavo, com base em dados micropaleontológicos.** Salvador: PETROBRAS. CENPES. DIVEX. SEBIPE. EPBA, 1996. 1 v. Relatório interno.

PONTE, F. C.; ASMUS, H. E. Geological framework of the Brazilian continental margin. **Geologische Rundschau**, Berlin, v. 67, n. 1, p. 201-235, 1978.

PRICE, G. D.; VALDES, P. J.; SELLWOOD, B. W. A comparison of GCM simulated Cretaceous "greenhouse" and "icehouse" climates: implications for the sedimentary records. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 142, n. 3/4, p. 123-138, 1998.

RABINOWITZ, P. D.; LABRECQUE, J. The Mesozoic South Atlantic Ocean and the evolution of its continental margins. **Journal Geophysics Research**, Washington, v. 84, p. 5973-6002, 1979.

RANGEL, H. D.; MARTINS, F. A. L.; ESTEVES, F. R.; FEIJÓ, F. J. Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 203-217, 1994.

REGALI, M. S. P.; VIANA, C. F. **Sedimentos do Neojurássico-Eocretáceo do Brasil: Idade e Correlação com a Escala Internacional.** Rio de Janeiro: PETROBRAS. SEDES. CEN-SUD, 1989. 95p.

_____. **Estudo bioestratigráfico regional dos sedimentos pré-Alagoas na Bacia do Espírito Santo.** Rio de Janeiro: PETROBRAS. 1992. Relatório interno.

RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; NADY, A. J. R.; COE, R. S.; GLEN, G. M.; PREVOT, M.; PERRIN, M. Age and duration of Paraná flood volcanism in Brazil. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 73, p. 531-532, 1992.

RODRIGUES, R.; LANA, C. C.; PICARELLI, A. T. Estratigrafia isotópica e sua comparação com dados palinológicos: seqüências lacustres do Eocretáceo da Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13., 1993, São Leopoldo. **Resumos...** São Leopoldo: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1993. p. 155.

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

SENGÖR, A. M. C.; BURKE, K. Relative timing of rifting and volcanism on the Earth and its implications. **Geophysical Research Letters**, Washington, n. 5, p. 419-421, 1978.

STANDLEE, L. A.; BRUMBAUGH, W. D.; CAMERON, N. R. Controlling factors in the initiation of the South Atlantic rift system. In: CURNELLE, R. (Ed.) **Géologie Africaine**. Boussons: Elf Aquitaine, 1992. p. 141-152. (Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine. Mémoire, 13).

STEWART, K.; TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; KIRSTEIN, L.; MANTOVANI, M. 3-D, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology in the Paraná continental flood basalt province. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, n. 143, p. 95-109, 1996.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLF, S. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 180-188, 1987.

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

TALWANI, M.; ABREU, V. **Inferences regarding initiation of oceanic crust formation from the U. S. East Coast Margin and Conjugate South Atlantic Margins.** Washington: American Geophysical Union, 2000. p. 211-233. (Geophysical Monograph, 115).

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high

precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 121, p. 333-348, 1994.

VIANA, C. F.; GAMA JÚNIOR., E. G., SIMÕES, I. A., MOURA, J. A., FONSECA, J. R., ALVES, R. J. Revisão estratigráfica da Bacia Recôncavo/ Tucano. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3/4, p. 157-192, 1971.

VIEIRA, R. A. B.; MENDES, M. P.; VIEIRA, P. E.; COSTA, L. A. R.; TAGLIARI, C. V.; BACELAR, L. A. P.; FEIJÓ, F. J. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 191-202, 1994.

WEISSERT, H.; LINI, A.; FÖLLMI, K. B.; KUHN, O. Correlation of Early Cretaceous carbon isotope stratigraphy and platform drowning events: a possible link?. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, n.137, p. 189-203, 1998.

WILSON, M, Magmatism and the geodynamics of basin formation. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 86, p. 5-29, 1993.

ZALÁN, P. V.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; ZANOTTO, O. A.; PAUMER, M. L.; MARQUES, A. **Análise da Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro: PETROBRAS. DEPEX, 1986. Relatório interno.

expanded abstract

The rift segment between the Espírito Santo-Kwanza and Alagoas-Gabon basins, in NE Brazil and SW Africa, behaved as a typical passive rift during the opening of the South Atlantic, with a pre-rift stage characterized by a slow and progressive process of regional subsidence. Conversely, the southeastern segment of the South Atlantic rift between Brazil and Africa was strongly affected by the activity of the Tristan da Cunha plume, whose activity was recorded in the South American and African continents by the Paraná-Etendeka Volcanic Province. The presence of the plume caused arching during the pre-rift stage and produced an excellent example of an active rift.

The paleoclimatic interpretations of several lacustrine rift basins in Brazil indicated the increase in aridity and evaporation since the mid-Rio da Serra stage, peaking during the Aratu stage, and decreasing toward the Buracica stage. Rising temperatures during the mid-Rio da Serra-Buracica time interval coincided with large-scale volcanic activity in the Paraná-Etendeka Province at 138 to 127 Ma, whose main phase at 132 Ma coincided with the peak of aridity and evaporation during the Aratu stage.

During the Valanginian-Hauterivian stages, equivalent to the Brazilian stages of Rio da Serra-Aratu, climatic variations were identified and interpreted as products of volcanic CO₂ emission to the atmosphere from the Paraná-Etendeka continental flood basalts, causing the first greenhouse episode in the Cretaceous times.

The global warming episode produced a $\delta^{13}\text{C}$ excursion in the marine environment and corresponds to the standard $\delta^{13}\text{C}$ curve proposed for the continental environment in Brazil, inviting speculations about the synchronicity of carbon isotope signals in the two environments during Aratu (Hauterivian) times.

The continental igneous activity in the south-southeastern portion of the rift has nearly terminated by 131 Ma, as the Tristan da Cunha plume migrated along and parallel to the Ponta Grossa Arch, initiating the uplift of the Rio Grande Rise.

The earliest evolution of the South Atlantic Ocean is a classical example of a propagating rift, constituted at least by three phases of ocean formation. The first break-up episode affected the African basins to the south of the Namibian basin at 132 Ma (Hauterivian), the age attributed to the M11 magnetic lineation. During this time, in the basins of the northern segment the Atlantic Hingeline was formed together with a

regional unconformity also dated as Hauterivian. This unconformity shows a duality of tectonic behavior, being to the north of the Walvis basin an unconformity internal to the rift stage, whereas to the south it forms the transition from the rift to the drift stage, thus attesting to the diachronous nature of the evolution of the South Atlantic rift.

In response to the initial break-up the first generation of seaward-dipping reflectors (SDR) formed along the South American and African margins, between the San Jorge-Orange basins and the outcrops of the Paraná-Etendeka Igneous Province. The symmetrical SDR provinces were formed just after the peak of continental Paraná-Etendeka basalts at 132 Ma pointing to Hauterivian (Aratu) age.

The NE-Brazilian Sergipe Microplate rotated at the same time, creating a set of tectono-sedimentary events around it. Deceleration of subsidence in the Reconcavo-Tucano Rift, formation of a hingeline along the Camamu basin, generation of the Jacuipe and North Gabon basins after the formation of the Salvador (Brazil) and Lambarene (Gabon) highs, activation of the Sergipe-Alagoas transform zone as a new path of continental break-up, and the evolution of an angular and erosional unconformity of regional extent known as pre-Aratu unconformity.

This unconformity event was dated by fission track analysis in apatite as neo-Rio da Serra age (132 + 2 Ma), and it is marked by a negative $\delta^{13}\text{C}$ excursion. Within the rift sequence, it forms the boundary between the Rio da Serra and Aratu stages, and as it is a physical surface whose age corresponds to the boundary of the Valanginian/Hauterivian stages (132 Ma), it may represent this boundary along the entire South Atlantic rift. Thus the pre-Aratu unconformity and the Hauterivian unconformity in Africa are the same event. This event, just as the onset and break-up unconformities, assumes a genetic significance that includes rift propagation in the north simultaneously with initial break-up in the south, better expressed by the new term propagation unconformity.

The extensional pulse that preceded the second break-up produced a set of NE-SW trending fractures, which subsequently, at 133-125 Ma, became filled by diabase dikes arranged parallel to the rift axis on both the South American and the African plates. This tectonic event rotated SDR in the north of the Pelotas Basin and created a regional unconformity in the Santos Basin. Its effect was transmitted also to the basins of NE Brazil where it was recorded in the subsidence curves as a hiatus between 127 and 123 Ma.

The medial break-up started with the formation of a new generation of SDR, with the rupture extending to the Ponta Grossa Arch, an abandoned rift arm. Thus magnetic lineation M3 (126 Ma) records the start of ocean floor spreading in this region, suggesting the presence of marine environment already during the Buracica stage in the southern portion of the Santos Basin.

After a lateral offset toward Africa along the Capricorn lineament, bordering the Plateau of São Paulo, continental separation continued northward during Late Aptian and Early Albian times, resulting in the final break-up. It was recorded by SDR of Aptian age in front of the Jacuipe and Sergipe basins, which allowed free circulation of the waters of the Atlantic Ocean.

autor author



Gilmar Vital Bueno

Unidade de Negócio de Exploração

Ativo de Exploração Santos / Pólo Sul

e-mail: gilmarvb@petrobras.com.br

Gilmar Vital Bueno nasceu em 17 de maio de 1957 em Porto Alegre, RS, graduou-se em Geologia em 1984 pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Mestre em Geologia pela Universidade Federal de Ouro Preto, em 1987, e Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 2001. Ingressou na Petrobras em 1987, no então Distrito de Exploração da Bahia – Dexba, em Salvador – BA, como geólogo de poço. A partir de 1988 passou a atuar na interpretação exploratória das Bacias do Recôncavo e Tucano, assumindo a chefia de interpretação da última no período de 1991 a 1992. Em 2000, foi transferido para o E&P-SEDE, onde atualmente exerce a atividade de intérprete na exploração da Bacia de Santos, tendo como áreas de interesse a estratigrafia de seqüências e tectono-sedimentação.

