

O sistema de riftes de Jequitinhonha-Almada-Camamu: uma abordagem sobre a evolução do rifteamento na margem nordeste do Brasil

The Jequitinhonha-Almada-Camamu rift system: an approach to the rifting evolution on the northeast Brazilian margin

Talles Souza Ferreira

resumo

As bacias de Camamu, Almada e Jequitinhonha estão localizadas na porção norte da margem leste brasileira, onde juntas formaram o braço sul do sistema de riftes do Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ) durante o intervalo Neocominano-Barremiano. No Aptiano, o rifte RTJ foi abortado, enquanto o sistema de riftes Jequitinhonha-Almada-Camamu (JAC) continuava em propagação para leste, conectando-se ao sistema de riftes de Sergipe-Alagoas. Devido a este papel-chave de ligação durante a formação da margem rifteada do Nordeste brasileiro, o sistema de riftes JAC teve um papel importante, registrando completamente a história tectônica desde os primórdios do rifteamento, quando ainda ligado ao rifte RTJ, passando pelo desenvolvimento da margem rifteada durante o Aptiano-Eoalbiano, até a formação da crosta oceânica e consequente quebra do Gondwana durante o intervalo Albiano-Cenomaniano. O sistema de riftes JAC desenvolveu-se sob controle do embasamento, principalmente por zonas de cisalhamento do Cráton São Francisco e Faixa Araçuai. Em geral, as charneiras do rifte seguem a trama do embasamento, orientada aproximadamente N-S nas bacias de Jequitinhonha e Almada, enquanto na Bacia de Camamu inflete para NE-SW. Zonas de transferências ancoradas em lineamentos transversais ao sistema de riftes JAC compartimentam

depocentros e bacias. A estratigrafia ao longo do sistema JAC é similar, contrastando basicamente na distribuição e espessura sedimentar das seções relacionadas a diferentes pulsos de rifteamento. Durante o Eoaptiano, o sistema de riftes JAC rompe sua ligação embrionária com o rifte RTJ, o qual é abortado, e se propaga para leste através da formação de grabens isolados. No Mesoptiano, a arquitetura do rifte foi totalmente modificada, preservando charneiras ativas basicamente na Bacia de Camamu, enquanto em outras áreas o progressivo declínio da atividade das falhas na sedimentação marca o início da fase de subsidência termal. Durante o Neoaptiano, esta fase afeta toda a porção proximal, enquanto na parte distal da margem o rifteamento continuava até o Eoalbiano. O rifteamento Eoalbiano ocorreu associado a pulsos magmáticos, ao mesmo tempo em que charneiras e depocentros antigos foram reativados e soerguidos. Durante o intervalo Cenomaniano-Turoniano, a atividade tectônica na margem rifteada de JAC cessou. No contexto da margem nordeste brasileira, o rifteamento Eoalbiano do segmento JAC desenvolveu-se ao mesmo tempo em que intenso magmatismo alcalino ocorria na atual porção de águas profundas da Bacia de Sergipe-Alagoas, relacionado ao vulcanismo aflorante na Bacia de Pernambuco-Paraíba.

Palavras-chave: bacia rifte | Bacia de Camamu | Bacia de Almada | Bacia de Jequitinhonha | rifteamento marinho albiano

abstract

The Camamu, Almada and Jequitinhonha basins are located in the northern portion of the eastern Brazilian coastline, where together they formed the Southern arm of the Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ) rift system during the Neocominian-Barremian interval. In the Aptian, the RTJ rift was aborted, when the Jequitinhonha-Almada-Camamu (JAC) rift system continued to propagate to the east, connecting itself to the Sergipe-Alagoas rift system. Due to its key connecting position during the formation of the northeast Brazilian rifted margin, the JAC rift system had an important role in registering the complete tectonic history from the early rifting stages, when still connected to the RTJ rift, passing through the development of the rifted margin during the Aptian-Eoalbian times, to the formation of the oceanic crust and consequent Gondwana break-up during the Albian-Cenomanian interval. The JAC rift system was developed and controlled by the basement, principally by the shear zones of the São Francisco Craton and the Araçuaí Strip. In general, the hinge faults of the rift follow the lines of the basement, approximately N-S in the Jequitinhonha and Almada basins, while in the Camamu Basin, inflecting to the NE-SW. Transfer zones are anchored in transversal lineaments to the JAC rift system forming geological limits between distinct depocenters or rift basins. The stratigraphy along the JAC system is similar, contrasting basically in the distribution and sedimentary pressure of the sections relative to the different rifting pulses. During the Eoaptian, the JAC rift system broke its embryonic connection with the RTJ rift which is aborted, and evolved eastwards through the formation of large isolated grabens. In the Mesoptian, the architecture of the rift was completely modified, preserving active hinge faults, basically in the Camamu Basin, while in other areas, the progressive decline in the activity of faults in the sedimentation mark the beginning of the thermal subsidence phase. During the Neoaptian, this phase affected the entire proximal portion, while in the distal part of the margin, the rifting continued until the Eoalbian. The Eoalbian rifting occurred associated with the magmatic pulses, at the same time in which the ancient hinge faults and depocenters were reactivated and raised. During the Cenomanian-Turonian interval, the tectonic activity in the

JAC rifted margin ceased. Within the context of the Brazilian northeast margin, the Eoalbian rifting of the JAC segment developed at the same time in which intense alkaline magmatism occurred in the present portion of the deep waters of the Sergipe-Alagoas Basin, related to the outcropped vulcanism in the Pernambuco-Paraíba Basin.

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

Keywords: rift basin | Camamu Basin | Almada Basin | Jequitinhonha Basin | albian marine rifting

introdução

As bacias de Jequitinhonha, Almada e Camamu estão localizadas na costa do estado da Bahia, ao sul da capital Salvador. Estas bacias compõem a porção setentrional da margem leste brasileira (Estrella, 1972), denominada margem rifteada do Nordeste do Brasil (Ferreira et al., 2011, 2013). Esta margem é limitada ao sul pelo complexo vulcânico de Abrolhos, ainda na costa baiana, e ao norte pelo Alto Estrutural de Touros na costa potiguar (fig. 1). No início do Cretáceo, as bacias Jequitinhonha, Almada e Camamu compunham o braço sul de um ponto tríplice do sistema de riftes que conectavam o rifte de Sergipe-Alagoas com o sistema de riftes do Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ), o qual foi abortado no Aptiano (Netto, 1978; Netto e Oliveira, 1985). Devido a esta configuração, o sistema de riftes Jequitinhonha, Almada e Camamu (JAC) exerceu um papel-chave no desenvolvimento da margem leste brasileira (fig. 1). De acordo com Dias (1993), a definição de calhas deposicionais, com falhamentos incipientes durante o Berriasiano (Andar Rio da Serra Inferior), principalmente nas bacias associadas a esta junção tríplice de Salvador, indicava o momento inicial do processo de rifteamento da margem leste brasileira. O sistema de riftes JAC registrou uma complexa e completa história tectônica evolutiva da quebra do supercontinente Gondwana desde os estágios iniciais do rifteamento Neocomiano até os seus pulsos finais no Eoalbio (Ferreira e Caixeta, 2014). A estratigrafia ao longo do sistema de

riftes JAC é bastante similar em termos litológicos, observando-se apenas variações na distribuição espacial e no espessamento dos sedimentos. Estes fatores são claramente respostas a variações locais de uma história tectônica comum. A trama do embasamento herdada do Cráton São Francisco exerceu forte controle (Ferreira *et al.*, 2009), desde o início da formação deste sistema de riftes (fig. 1).

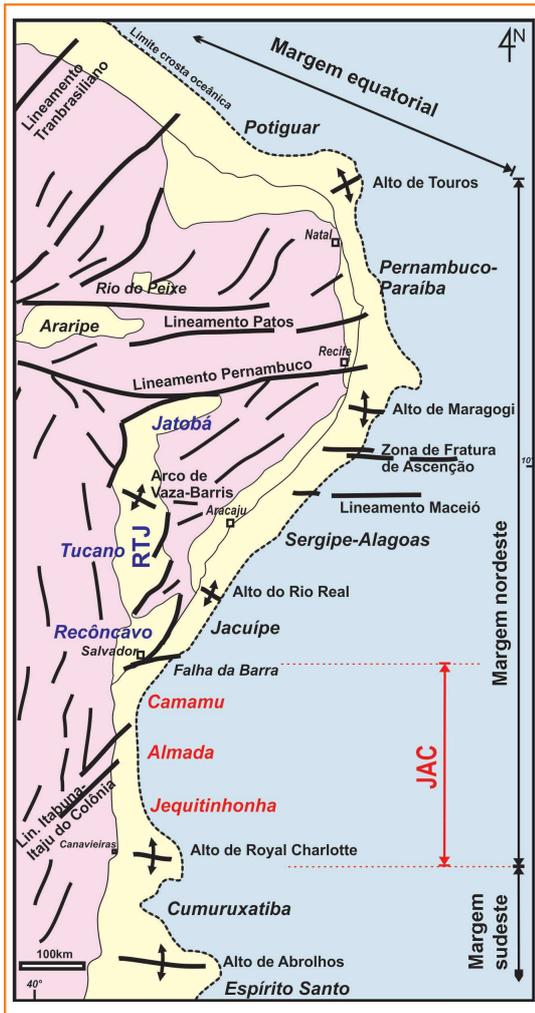


Figura 1 – Mapa tectônico mostrando a localização das bacias de Jequitinhonha, Almada e Camamu (JAC) em relação às principais feições estruturais da margem nordeste brasileira.

Figure 1 – Tectonic map showing the Jequitinhonha, Almada and Camamu (JAC) basins in relation to the main structural features in the Brazilian northeast margin.

O desenvolvimento do sistema de riftes JAC ocorreu de forma quase contínua, através de várias fases de rejuvenescimento em direção ao oceano, à medida que um novo depocentro principal se formava. Este processo é claramente observado pelo espessamento dos sedimentos cada vez mais jovens junto às charneiras recém-formadas (Ferreira *et al.*, 2009; Ferreira e Caixeta, 2014). A propagação deste rifteamento para a formação do Atlântico culminou, durante o Aptiano, na ruptura do até então Alto de Jacuípe, estabelecendo a ligação entre os sistemas de riftes JAC e Sergipe-Alagoas (Castro Jr., 1987; Ferreira *et al.*, 2011, 2013). Trabalhos mais recentes têm revelado que o processo de desenvolvimento da margem rifteada nordeste teria se estendido até o Albiano, na porção distal da margem (Blaich *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2011, 2013; Ferreira e Caixeta, 2014), através da formação de semigrabens com intrusões magmáticas nas bacias JAC e estruturas SDR (*Seaward Dipping Reflectors*) em direção às bacias de Jacuípe e Sergipe-Alagoas devido ao aumento significativo de magmatismo alboceomaniano para norte. De acordo com Ferreira *et al.* (2011), a quebra final do supercontinente Gondwana teria ocorrido de forma diácrona na margem nordeste brasileira no intervalo Albiano-Cenomaniano, sendo a separação final localizada na Bacia de Pernambuco-Paraíba (Matos, c2000; Lima Filho *et al.*, 2006). Após a ruptura total, a margem rifteada JAC sofreu diversas reativações tectônicas, destacadamente nos períodos Neocretáceo e Cenozoico (Japsen *et al.*, 2012). Estas reativações remodelaram o estilo estrutural das bacias, causando: (i) soerguimento de charneiras; (ii) desenvolvimento de estruturas transcorrentes; (iii) erosão de parte da plataforma albiana e escape do sal (halita) em águas profundas na Bacia de Camamu; (iv) formação de estruturas contracionais nas zonas de transferência. Estudos termocronológicos, principalmente de traços de fissão em apatita, realizados no embasamento adjacente e na porção emersa das bacias JAC revelaram períodos de aquecimento ou resfriamento regionais correlacionáveis com reativações observadas em águas profundas (Cupertino, 2000; Japsen *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2013). Toda a complexidade da história tectônica foi estudada neste trabalho através de dados sísmicos profundos (> 25km de

profundidade) e poços, visando à construção de um modelo tectônico desta porção da margem nordeste brasileira (fig. 1).

controle do embasamento no sistema de riftes JAC

O embasamento do sistema de riftes JAC insere-se no Cráton São Francisco, uma das quatro províncias estruturais da região oriental da Plataforma Sul-Americana (Delgado *et al.*, 2003). As rochas mais antigas são neoarqueanas e pertencem ao Cinturão Itabuna-Salvador, que representa um extenso segmento de crosta formado durante o ciclo orogênico Jequiê; este domínio é composto por associações de paragneisses, com rochas máficas e ultramáficas. Segundo Oliveira *et al.* (2004), o orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá compreende uma faixa contínua de rochas de alto grau metamórfico que se estende ao longo da costa da Bahia.

Neste contexto, o sistema de riftes JAC desenvolveu-se sobre rochas paleoproterozoicas e neoproterozoicas pertencentes aos orógenos Itabuna-Salvador-Curaçá e Araçuaí. Apesar da longa história tectônica dos elementos envolvidos na formação do embasamento do rifte JAC, as reativações foram concentradas em zonas de fraqueza preexistentes, notadamente ao longo de zonas de cisalhamento do Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá e da Faixa Araçuaí, transversais ao eixo principal N-S do sistema de riftes JAC. Estes lineamentos principais do embasamento controlaram o arcabouço de falhas e compartimentaram as bacias do sistema de riftes JAC (figs. 2 e 3).

Ferreira *et al.* (2009), através da interpretação integrada de mapas gravimétricos e magnetométricos com dados sísmicos, mostram que diferenças no comportamento do embasamento ao longo do eixo do rifte JAC controlaram a distribuição, orientação e estilo de falhas. Segundo esses autores, existem alinhamentos de anomalias gravimétricas e magnetométricas que se correlacionam com lineamentos do embasamento (Zona de Cisalhamento Itabuna-Itaju do Colônia), influenciando a direção das falhas em zonas de acomodação (ou transferência) durante

o rifteamento, sendo as principais a Zona de Acomodação Taipus Mirim (ZATM) e a Zona de Transferência de Salvador (ZTS, figs. 2 e 3).

evolução do rifte JAC: diacronismo entre as porções proximal e distal

Permiano a Juro-Triássico – o pré-rifteamento

A depressão ou sinéclise paleozoica que se desenvolveu no Nordeste brasileiro foi originalmente definida por Ponte (1972) como uma bacia rasa regional desenvolvida entre o Permiano e o Jurássico. Os trabalhos pioneiros (Ponte, 1972; Ponte e Asmus, 1976) mostravam que esta bacia permojurássica era limitada ao norte pelo lineamento pré-cambriano de Patos, o qual também limita a Bacia do Araripe. Segundo esses autores, a estratigrafia é representada por depósitos eólicos e fluviais, progredindo sobre amplas bacias lacustres limitadas por áreas soerguidas durante a fase inicial de quebra do Gondwana. No entanto, Garcia e Wilbert (1994) mostraram que seu registro sedimentar se estende até o extremo norte da Bacia do Rio do Peixe. Os depósitos sedimentares da depressão afro-brasileira foram preservados basicamente em calhas que afloram nas bordas rifteadas ou sobre o embasamento. Na área do rifte JAC, a sequência permiana depositou-se sob paleoclima árido, sendo representada por um sistema regressivo com uma associação de fácies indicativa de sedimentação marinha rasa a bacias evaporíticas isoladas, sabkas e sistemas lacustres (Aguiar e Mato, 1990). De acordo com Silva *et al.* (2012), que realizaram estudos geocronológicos em sedimentos pré-rifte nas bacias do Recôncavo e Sergipe-Alagoas, a sedimentação na depressão afro-brasileira começou no Neotriássico e continuou até o Jurássico.

O período pré-rifte do Neojurássico, Tithoniano, é representado por uma sedimentação subárea, dominada por leques aluviais em clima

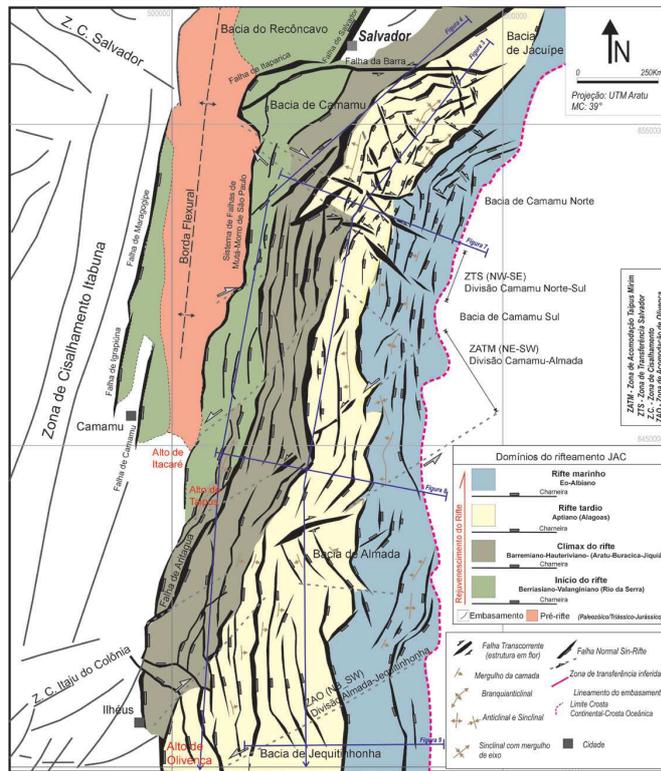


Figura 2 – Mapa tectônico do sistema de riftes JAC e embasamento adjacente. Os domínios tectono-sedimentares são delimitados por charneiras, com rejuvenescimento em direção a leste e ao sul. Observar o controle do embasamento nas estruturas do rifte, principalmente com zonas transferentes transversais. Modificado de Ferreira et al. (2009).

Figure 2 – Tectonic map of the JAC rift system and adjacent basement. The tectono-sedimentary domains are delimited by hinge fault systems with general rejuvenation both eastwards and southwards. Note that the rift structures are strongly controlled by the basement framework, especially through transverse transfer zones. Modified from Ferreira et al. (2009).

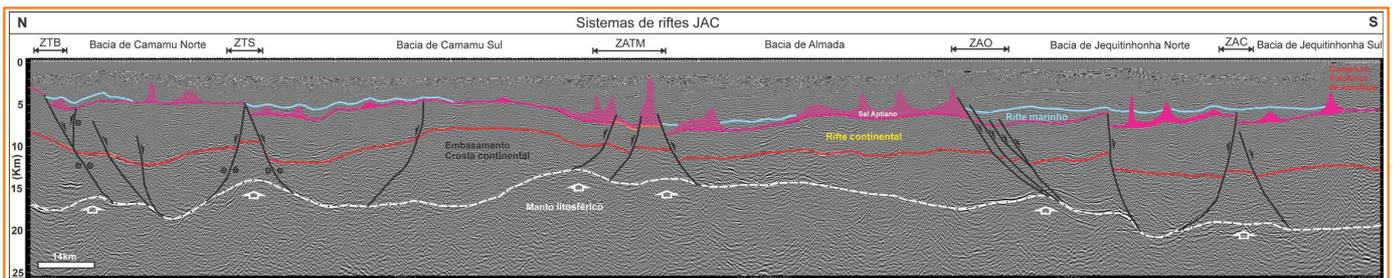


Figura 3 – Seção sísmica de orientação N-S interpretada ao longo do sistema de riftes JAC mostrando as principais feições estruturais que compartimentam as bacias e seus depocentros. Na porção norte, predominam as zonas de transferências, representadas por falhas com rejeito predominantemente lateral, como da Barra (ZTB) e de Salvador (ZTS). Já nas porções central e sul, ocorrem zonas de acomodação formadas por conjuntos de falhas normais, como as de Taipus Mirim (ZATM), Olivença (ZAO) e Canavieiras (ZAC). Observar o controle destas zonas na espessura das seções riftes e até na concentração de estruturas salíferas. Localização da seção na figura 2.

Figure 3 – N-S interpreted seismic section along the JAC rift system showing the main structural features that compartmentalize the basins and depocenters. Transfer zones dominate in the northern portion, and they are represented by faults with predominant lateral throw, such as Barra (ZTB) and Salvador (ZTS). In the central and southern portions accommodation zones occur, formed by normal fault sets, named Taipus Mirim (ZATM), Olivença (ZAO) and Canavieiras (ZAC). Note the control of tectonic zones on rift section thickness and even the concentration of salt structures. This seismic section is located in figure 2.

árido e sequências fluviais que registram uma transição climática (Netto e Ragagnin, 1990; Scherer *et al.*, 2007). Esta seção foi depositada durante a subsidência de uma área entre os continentes sul-americano e africano, ainda no contexto supercontinente Gondwana, denominada depressão afro-brasileira por Ponte (1972). A depressão afro-brasileira incluiria não só o *trend* de bacias RTJ-JAC, como também as bacias de Sergipe-Alagoas e suas contrapartidas no lado africano, como as bacias do Gabão e Cabinda. Durante o Berriasiano (135-130 Ma), início do Andar Rio da Serra, a depressão afro-brasileira foi compartimentalizada por aulacógenos de subsidência acentuada na área equivalente atualmente às bacias do Recôncavo e parte sul de Tucano (Netto e Ragagnin, 1990). A implantação deste aulacógeno teria sido a semente embrionária para o estabelecimento do sistema de riftes polifásico do RTJ e, conseqüentemente, para o desenvolvimento do sistema de riftes JAC (figs. 1 e 2).

Berriasiano-Valanginiano (Andar Rio da Serra) – o início do rifteamento

O início do sistema de riftes JAC está relacionado à atividade das falhas de bordas do rifte RTJ (figs. 1 e 2), durante o intervalo Berriasiano-Valanginiano (135-122 Ma), quando ocorreu a compartimentação de lagos que foram inundados como consequência de uma inversão climática relacionada ao estabelecimento de um período mais úmido. Esta depressão inicial se desenvolve com a configuração de um *rift-valley* alongado com áreas elevadas a leste, no Alto de Salvador, onde se desenvolvia a falha de borda homônima (Netto e Ragagnin, 1990). Nesta fase embrionária, o rifte JAC apresentava-se, ao sul da falha de borda de Salvador, como um estreito e alongado sistema de meio-grabens controlados por falhas N-S escalonadas (fig. 2, área verde do mapa). A transição entre os riftes RTJ e JAC foi feita pelo sistema de falhas transferentes da Barra. Na terminação oriental

deste sistema transferente, desenvolveu-se um conjunto de falhas normais, cujo segmento mais importante é a Falha de Itaparica, antitética à falha de borda. A Falha de Itaparica teve o papel de acomodar o rejeito normal da falha de borda de Salvador, enquanto o sistema da Barra fazia a transferência da deformação entre a falha de borda de Salvador e o sistema antitético de falhas de Mutá-Morro de São Paulo; trata-se de um conjunto de falhas normais de orientação N-S escalonadas à esquerda que controlaram a deposição da sedimentação inicial durante o Valanginiano-Berriasiano (Andar Rio da Serra) no rifte JAC. Este sistema de falhas representa a charneira inicial do rifte JAC que progressivamente se deslocou para leste devido à migração do rifteamento em direção ao sítio da futura crosta oceânica. Na porção ocidental desta charneira inicial, predominam os sedimentos remanescentes da sinéclise pré-rifte sobre o domínio flexural do rifte RTJ. Estes sedimentos se estendem para o sul, condicionados pelas falhas de Camamu e Maragogipe (fig. 2). Neste período inicial, a propagação do rifteamento JAC para o sul se deu até a atual cidade de Camamu, onde ocorre um conjunto de *horsts* associados a zonas de transferências NE-SW; tais *horsts* são marcados pelo afinamento e ausência, em direção ao sul, de sedimentos riftes iniciais (Andar Rio da Serra; constatado por poços), tendo sido denominados por Amorim *et al.* (1996) de Alto de Taipus. Este limite meridional do rifte JAC representa a expressão mais proximal de uma zona de acomodação, denominada por Ferreira *et al.* (2009) como Zona de Acomodação Taipus Mirim (ZATM), a qual divide as bacias riftes de Camamu e Almada (figs. 2, 3 e 4).

Uma reconstrução geométrica a partir de uma seção geológica aproximadamente N-S (fig. 4), baseada em mais de uma dezena de poços de águas rasas, exemplifica a evolução da propagação do rifte JAC para o sul, evidenciando controle de altos estruturais ao longo do tempo (fig. 5). A fase inicial do rifteamento desenvolveu-se numa área já rebaixada durante a sinéclise pré-rifte, ao sul da Bacia do Recôncavo, onde se iniciava o desenvolvimento do rifte JAC, à época restrito à Bacia de Camamu e extremo norte de Almada, limitada ao norte pelo Alto de Taipus e ao sul pelo Alto de Jacuípe (figs. 5a e 5b). Neste período inicial, o rifte

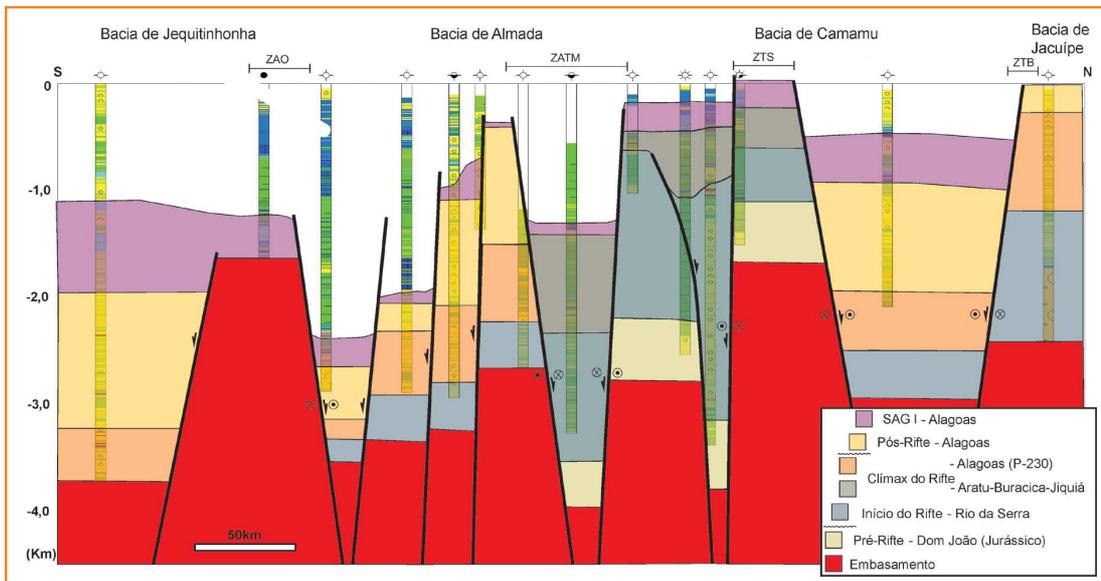


Figura 4 – Seção geológica de orientação aproximada N-S (ver localização na fig. 2), baseada na correlação de poços na porção proximal (águas rasas) do sistema de riftes JAC. A variação na espessura das seções riftes denota rejuvenescimento na direção sul (Baía de Jequitinhonha). ZTB – Zona de Transferência da Barra; ZTS – Zona de Transferência de Salvador; ZATM – Zona de Acomodação Taipus Mirim e ZAO – Zona de Acomodação de Olivença.

Figure 4 – N-S geological section (see location in fig. 2), based on well correlation in the proximal portion (shallow water) of the JAC rift system. Variations in the thickness denote the rejuvenation southwards (Jequitinhonha Basin). ZTB – Barra Transfer Zone; ZTS – Salvador Transfer Zone; ZATM – Taipus Mirim Accommodation Zone and ZAO – Olivença Accommodation Zone.

JAC englobava o principal depocentro na Baía de Camamu, enquanto a região ao sul do Alto de Taipus era relativamente alta, restringindo a deposição de sedimentos riftes iniciais, como mostra a restauração da figura 5. As bacias riftes de Almada e Jequitinhonha só viriam a desenvolver depocentros expressivos mais tardiamente (fig. 6), durante a propagação do rifteamento nas direções sul e leste (figs. 5c, 5d e 5e).

A figura 5 mostra a propagação do rifteamento com rejuvenescimento de norte para sul; as fases de propagação são limitadas por altos estruturais relativos. O estiramento pode ser estimado nesta seção em 34%, do início até o final do rifte, chegando a 46% até o presente, com a formação do Canyon de Almada, o que indica a ocorrência de reativações pós-rifte na porção proximal (figs. 5f e 5g).

Hauteriviano-Barremiano (~andares Aratu-Buracica-Jiquiá) – o clímax do rifteamento proximal

O clímax do rifteamento proximal ocorre no intervalo Hauteriviano-Barremiano, como no sistema de riftes Recôncavo-Tucano-Jatobá (fig. 2), onde os maiores depocentros observados estão marcadamente associados aos maiores rejeitos das falhas rifte (figs. 7 e 8, seção CR Jiquiá). Nesta fase, o rifteamento se desconecta parcialmente do sistema de riftes RTJ, expandindo-se

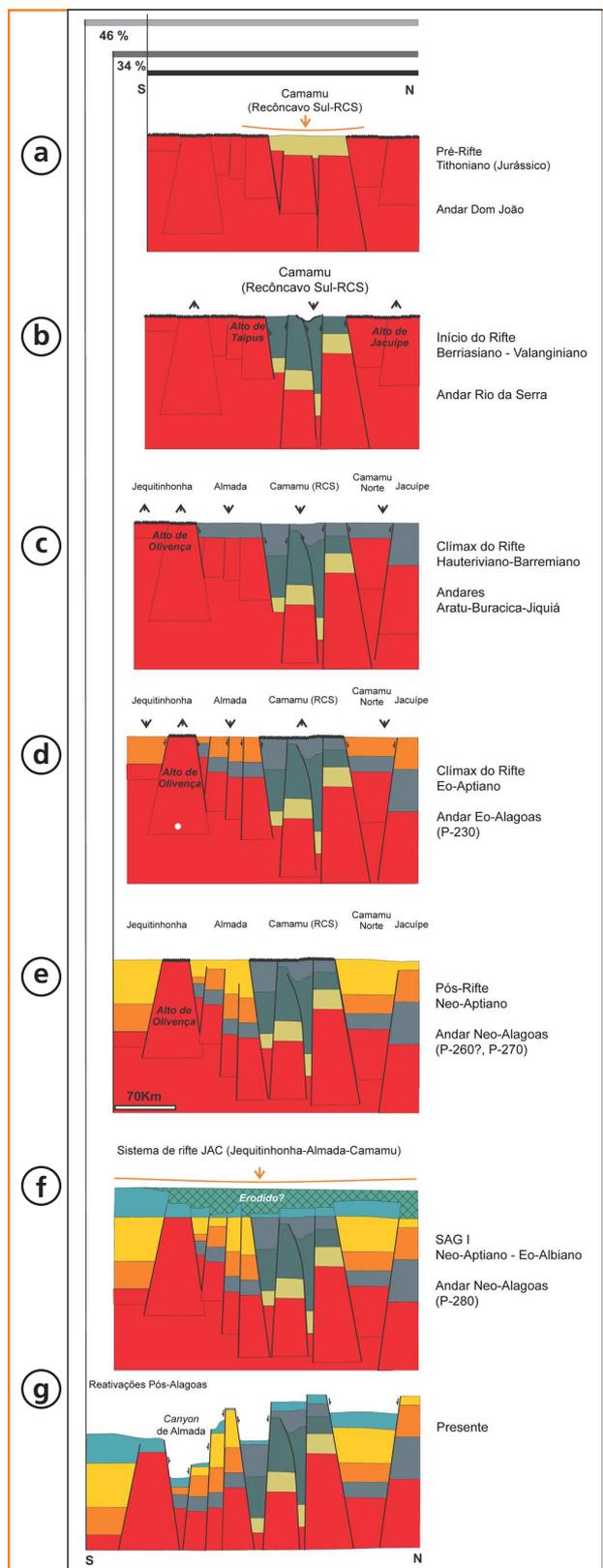


Figura 5 – Restauração geométrica da seção geológica baseada na correlação de poços (fig. 4) da porção proximal (águas rasas) do rifte JAC, mostrando a evolução do rifteamento a partir de um depocentro principal localizado ao norte de Camamu, como continuação da Bacia do Recôncavo.

Figure 5 – Geometric restoration of the geological section based on well correlation (fig. 4) in the proximal portion (shallow water) of the JAC rift system, validating the rifting evolution from a main depocenter located north of Camamu, as a continuation of the Reconcavo Basin.

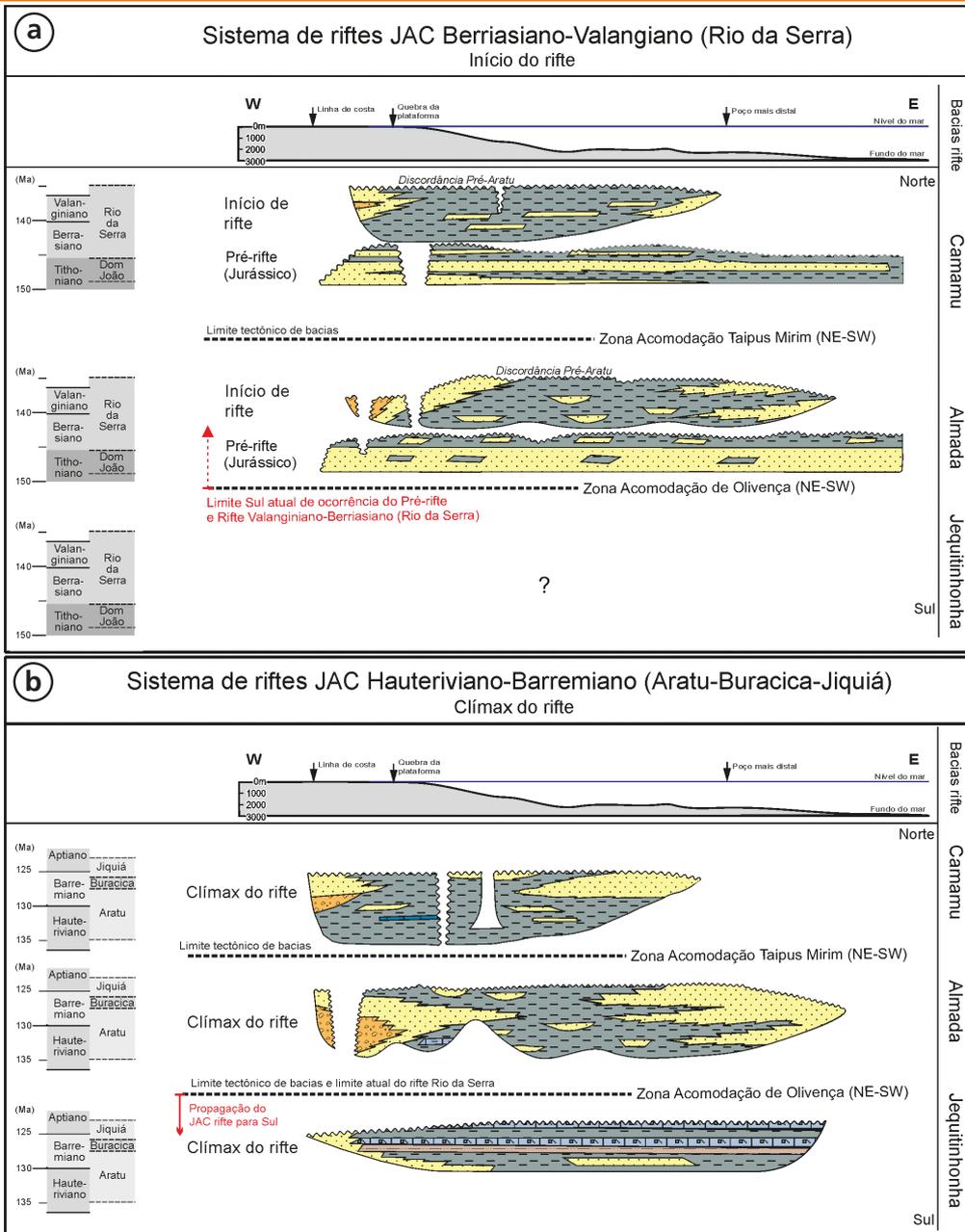


Figura 6 – Estratigrafia das fases iniciais do sistema de riftes JAC, com base em Caixeta et al. (2007), Gontijo et al. (2007) e Rangel et al. (2007). (a) Fase inicial do rifte JAC no intervalo Berrisiano-Valanginiano (equivalente ao andar local Rio da Serra). Notar a ausência da seção desta idade na porção sul, na Bacia de Jequitinhonha, assim como da seção pré-rifte; (b) clímax do rifte JAC no intervalo Hauteriviano-Barremiano (andares locais equivalentes Aratu-Buracica-Jiquiá). Notar que, neste período, todo o sistema de riftes JAC já está interligado numa bacia devido à propagação do rifteamento até a Bacia de Jequitinhonha.

Figure 6 – Early stages of the JAC rift stratigraphy based on Caixeta et al. (2007), Gontijo et al. (2007) and Rangel et al. (2007). (a) Initial rift stage during the Berrisian-Valanginian interval (equivalent to the Rio da Serra local age). Note that in the southern rift, the Jequitinhonha Basin, this sedimentary section is missing, as well as the pre-rift section; (b) climax stage of the rift during the Hauterivian-Barremian interval (equivalent to Aratu-Buracica-Jiquiá local interval ages). Note that the whole JAC rift system was already interconnected as a large basin in this period, due to the rifting propagation to the Jequitinhonha Basin.

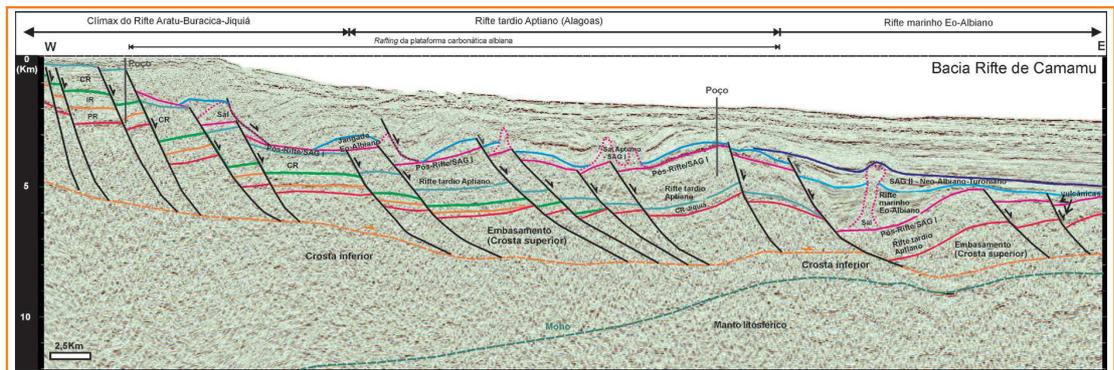


Figura 7 – Seção sísmica com orientação E-W interpretada na bacia rifte de Camamu. Notar que na porção distal da bacia um depocentro rifte contém um diápiro de sal (polígono com linha rosa tracejada), denotando a idade pós-aptiana para o final do rifteamento (ver localização da seção na fig. 2). Ainda na parte distal da bacia, também são interpretadas amplitudes sísmicas anômalas (setas pretas), relacionadas a rochas vulcânicas associadas ao rifteamento neolabiano. Reactivações tectônicas na porção proximal são marcadas pelo deslocamento da base do sal (linha rosa), parecendo controlar o escorregamento das “jangadas” albianas (linha azul). PR – pré-rifte (Paleozoico/Triássico-Jurássico); IR – início do rifte (Berrisiano-Valanginiano); CR – clímax do rifte (Hateuriviano-Barremiano).

Figure 7 - Interpreted E-W seismic section of the Camamu rift basin. Note a distal rift depocenter which shows an Aptian salt diapir (dashed pink polygon), denoting the post-Aptian age for the rifting end (see location in fig. 2). Volcanic features associated to early Albian rifting are interpreted as anomalous seismic amplitudes (black arrows). In the proximal margin, post-rift reactivations are marked by the displacement of the Aptian salt base (pink line), that seems to control the albian rafting (blue line). PR - pre-rift (Paleozoic / Triassic-Jurassic); IR - initial rift (Berrisian-Valanginian); CR - climax rift (Hateurivian-Barremian).

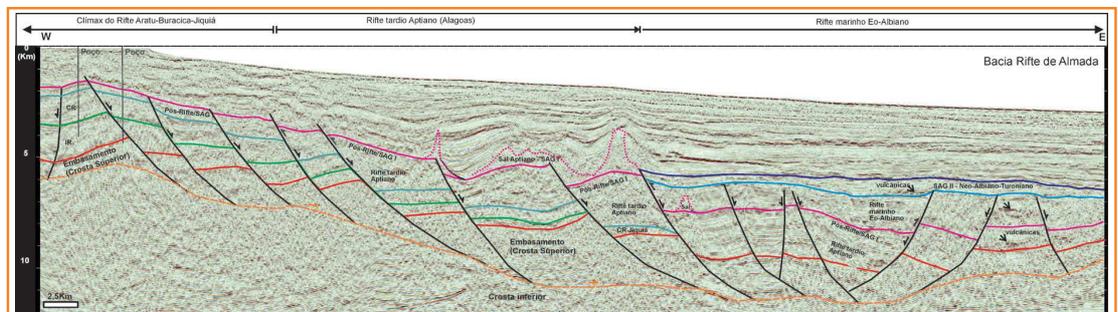


Figura 8 – Seção sísmica com orientação E-W interpretada na bacia rifte de Almada. Notar, na porção distal, uma ampla bacia externa formada a partir do deslocamento da base do sal (linha rosa) por um conjunto de falhas antitéticas com espessamento da seção rifte marinha eoalbiense, onde se concentram amplitudes sísmicas anômalas (setas pretas), interpretadas como vulcânicas associadas (ver localização da seção na fig. 2). Observar também uma geometria SAG, restrita à porção distal da bacia entre a terminação superior das falhas eoalbianas e o topo do Turoniano (linha azul-escuro), com idade estimada entre Neolabiano e Cenomaniano, aqui denominada SAG II. IR – início do rifte (Berrisiano-Valanginiano); CR – clímax do rifte (Hateuriviano-Barremiano).

Figure 8 - Interpreted E-W seismic section in the Almada rift basin. Note in the distal portion, a large outer basin formed by a set of antithetic faults displacing the base of the salt (pink line) and showing thickening of the lower Albian marine rift section (see location in fig. 2). This section concentrates anomalous seismic amplitudes (black arrows) interpreted as associated volcanic features. Also observe a SAG geometry restricted to the distal portion of the basin formed between the upper tip of the lower Albian faults and the Turonian top (dark blue line); a late Albian-Cenomanian age is estimated for this feature, here named as SAG II. IR - Initial Rift (Berrisian-Valanginian); CR - Climax Rift (Hateurivian-Barremian).

para leste e para sul, e desenvolvendo outros depocentros que formam a Bacia de Almada. A propagação do rifteamento para o sul é limitada na porção mais proximal, no Alto de Olivença, onde poços exploratórios em águas rasas não amostraram sedimentos desta idade. Neste tempo, ao norte do JAC, o rifteamento limita-se no Alto de Jacuípe (fig. 2). Seções sísmicas na porção de águas profundas sugerem a possível presença de sedimentos de idade barremiana (Andar Jiquiá) ao sul do Alto de Olivença, na Bacia de Jequitinhonha (figs. 9 e 10); no entanto, até o momento, os poços em águas profundas só alcançaram sedimentos de idade aptiana (Andar Alagoas).

Mapas sísmicos de isópacas (utilizados para a confecção da fig. 11) denotam a possibilidade de sedimentos pré-aptianos na Bacia de Jequitinhonha; a figura 11a também mostra o Alto de Olivença como limite proximal para sedimentos do intervalo Hauteriviano-Barremiano. Esta feição estrutural foi identificada através do estudo de poços e dados sísmicos na porção proximal, e sua extensão para águas profundas apresenta-se com uma zona de acomodação de orientação NE-SW, com mais de 30km de largura, que delimita as bacias riftes de Almada e Jequitinhonha (fig. 11). A Zona de Acomodação de Olivença (ZAO, fig. 3) é representada por conjuntos de falhas normais predominantemente NE-SW e secundariamente NW-SE, formando altos e baixos estruturais conjugados de orientação NW-SE que desenvolvem uma faixa de deslocamento lateral sinistral dentro do sistema de riftes JAC (fig. 11). Mais ao sul deste sistema, ocorre uma zona de acomodação, aqui denominada Canavieiras (ZAC, fig. 3), que possui características similares às da ZAO, porém com menor expressão, com cerca 10km de largura, e que subdivide a bacia rifte de Jequitinhonha em suas porções setentrional e meridional (fig. 11).

Aptiano (~Andar Alagoas) — rifteamento tardio vs. subsidiência térmica

Durante o Aptiano, o rifte JAC experimentou um período bastante complexo em termos de atividade tectônica, com pulsos de rifteamento intercalando-se com fases de quiescência em algumas áreas, enquanto outras experimentaram novos pulsos de reativação. Este diacronismo é identificado tanto dentro do rifte JAC como ao longo de toda a margem nordeste brasileira (Ferreira *et al.*, 2011). No Neoaptiano, ocorreu a deposição dos evaporitos, marcando um período de quiescência tectônica, a partir da qual se considera que a atividade da tectônica rifte estaria encerrada (Chang *et al.*, 1992; Dias, 2005).

O Aptiano também foi marcado pelo rompimento definitivo dos sistemas de riftes: o rifte RTJ foi abortado, enquanto o rifte JAC continuava sua propagação, principalmente para leste (figs. 2 e 10b), iniciando a formação de margem rifteada do lado brasileiro. A bioestratigrafia do Andar Alagoas (que corresponde aproximadamente ao Aptiano), baseada sobretudo em palinórfos, é uma importante ferramenta para datação dos diferentes eventos tectônicos deste intervalo ao longo da margem das bacias JAC (fig. 12). O clímax do rifte na porção proximal continental, que ocorreu no período anterior (Hauteriviano-Barremiano), prolongou-se até o início do Aptiano (Eoalagoas), estando bem marcado na bioestratigrafia pela zona de palinórfos P-230. Esta porção inferior do Aptiano é representada por uma seção arenoconglomerática e siltitos subordinados, depositados num sistema fluvial entrelaçado (braided), caracterizada por ciclos de coarsening-up de 100-150m (fig. 12). Este padrão de sedimentação é similar ao observado na seção anterior ("Rifte Jiquiá"; fig. 12), porém com maior conteúdo de sedimentos arenosos, sugerindo a fase final do pulso principal, cujo maior aporte sedimentar resultou na colmatação das calhas riftes. Os depocentros ou calhas identificadas com sedimentos deste período são mais proximais do

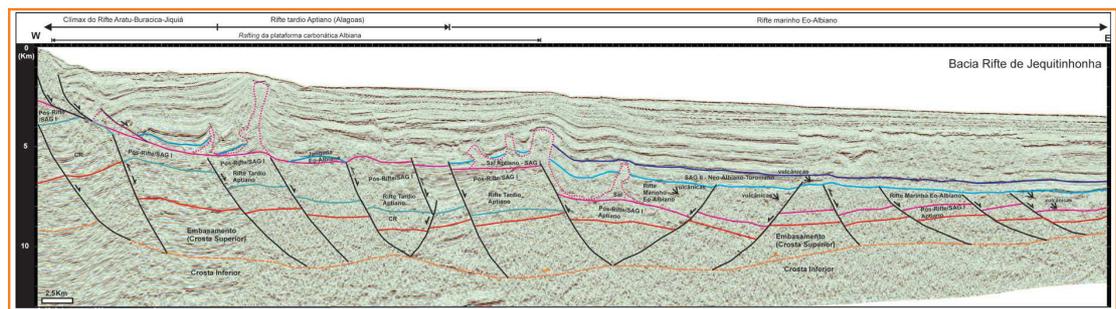


Figura 9 – Seção sísmica com orientação E-W interpretada na bacia rifte de Jequitinhonha (ver localização da seção na fig. 2). Notar, na porção distal, uma ampla bacia externa formada a partir do nítido deslocamento da base do sal (linha rosa), conforme observado nas seções sísmicas de Camamu e Almada (figs. 7 e 8). Nesta bacia externa, ocorrem amplitudes sísmicas anômalas (setas pretas), interpretadas como rochas vulcânicas associadas, enquanto na porção proximal predominam reativações e inversões tectônicas. CR – clímax do rifte (Hateuriviano-Barremiano).

Figure 9 - Interpreted E-W seismic section in the Jequitinhonha rift basin (see location in fig. 2). Note in the distal portion, a large outer basin formed by the clear displacement of the base of the salt (pink line) as also observed on seismic sections in the Camamu and Almada rift basins (figs. 7 and 8). Within the outer basin, anomalous seismic amplitudes occur (black arrows) interpreted as associated volcanics. PR - pre-rift (Paleozoic / Triassic-Jurassic); IR - initial rift (Berriasian-Valanginian); CR - climax rift (Hateurivian-Barremian).

que as calhas riftes pertencentes aos períodos posteriores dentro do Aptiano ("rifte tardio"; fig. 12). Isto indica que, em algumas regiões proximais na Bacia de Almada e no extremo norte da Bacia de Camamu (na ZATM), o clímax da porção proximal do rifte JAC ficou registrado até o início do Aptiano (biozona P-230), quando o Alto de Olivença foi rompido e se propagou para o sul (figs. 6b e 10b). Este diacronismo relacionado ao final do clímax do rifteamento proximal ao longo do rifte JAC expõe a dificuldade para se descrever ou delimitar as fases riftes ao longo de conjuntos de bacias, ressaltando-se ainda que, neste mesmo período, o rifte RTJ estava sendo abortado ao norte. Desse modo, o fim do processo de rifteamento é diacrônico no tempo e no espaço, fenômeno que pode ser observado desde as escalas de bacia, conjunto de bacias ou ao longo da margem, como já demonstrado por Ferreira *et al.* (2011) para a margem nordeste brasileira.

No Messoaptiano, o rifteamento estava encerrado no rifte JAC, onde sistemas fluviais preenchiam as calhas riftes abandonadas, colmatando baixos estruturais paleomórficos associados aos depocentros dos riftes. Este período é marcado por maior aporte sedimentar, principalmente de sedimentos arenosos e intercalados a

folhelhos, depositados em sistema fluvial entrelaçado. Em geral, esta seção é predominantemente arenítica, com ciclos de coarsening-up de maior amplitude (200-400m) do que na seção rifte subjacente (100-150m, fig. 11); o conteúdo de folhelho diminui significativamente para o topo, denotando um raseamento geral do sistema deposicional (e marcado pela zona palinomórfica P-270). Este período é bem amostrado na bacia, sendo considerado para a porção proximal do rifte JAC como "pós-rifte". A partir de alguns poços e feições típicas de rifte em seções sísmicas distais, especula-se que no final deste período a porção distal do rifte JAC ainda estaria submetida a um rifteamento tardio (figs. 7 e 9), como consequência do processo do rejuvenescimento para leste. Tal rifteamento, tardio e descompassado em relação ao clímax proximal, foi concomitante ao estágio pós-rifte proximal no intervalo palinoestratigráfico P-260/P-270 do Messoaptiano (figs. 10b, 11 e 12).

Na porção proximal, a passagem do Messoaptiano (Alagoas Médio) para o Neoaptiano (Alagoas Superior) é marcada em dezenas de poços por uma discordância regional que ocorre em toda a margem leste brasileira, denominada "Pré-Aptiano Superior" (Dias, 1993) ou "Pré-Neolagoas" (Bacellar e Costa, 1993). Esta

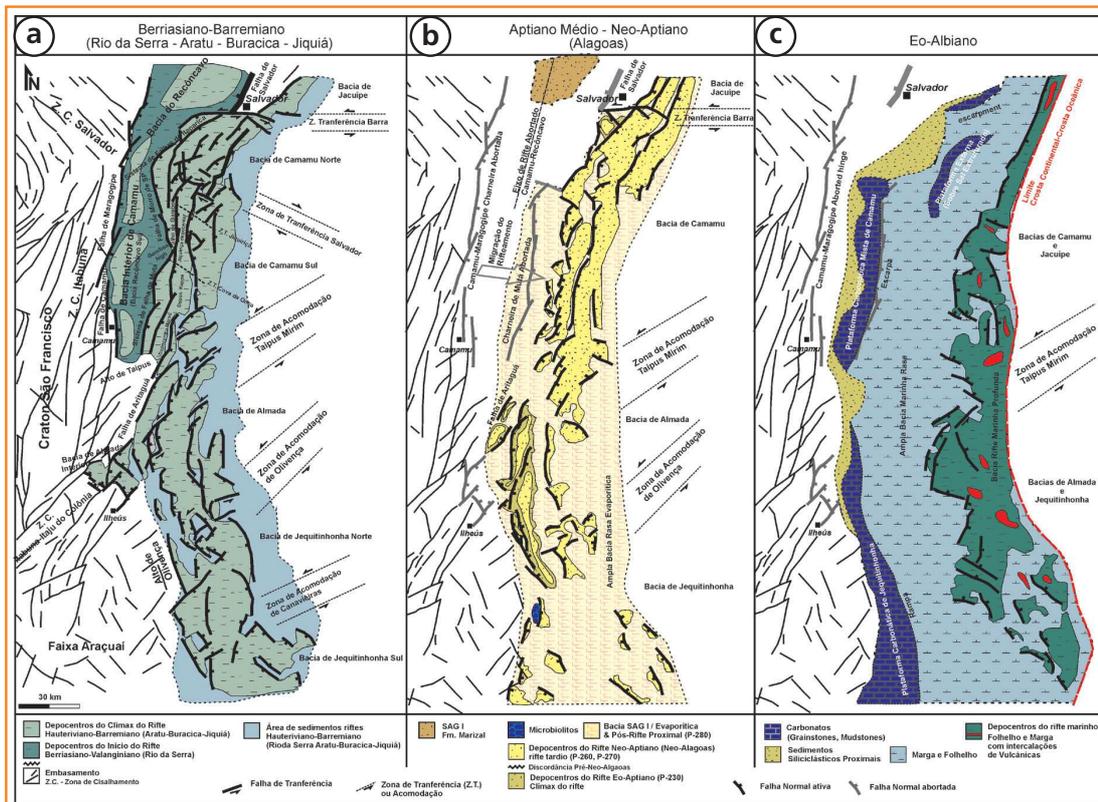


Figura 10 – Mapas tectonossedimentares do sistema de riftes JAC baseados na interpretação integrada de dados geológicos (poços e afloramentos) e geofísicos (mapeamento sísmico e de métodos potenciais) mostrando a evolução tectônica do rifteamento ao longo do tempo. Notar o rejuvenescimento do rifte para leste, enquanto a margem proximal é abortada junto com o sistema de riftes do Recôncavo-Tucano-Jatobá. Observar também o controle dos lineamentos do embasamento na formação das zonas transversais que compartimentam depocentros e até mesmo bacias. (a) Arquitetura do rifte JAC da fase inicial ao clímax do rifteamento proximal durante o intervalo Hauteriviano-Barremiano (equivalente ao intervalo que compreende os andares locais Rio da Serra-Aratu-Buracica-Jiquiá); (b) configuração do sistema de riftes durante o Aptiano Médio a Neoaptiano, mostrando o diacronismo do rifteamento tardio com áreas de sedimentação pós-rifte (SAG I); (c) o rifte JAC no Eoalbio, formado por domínios tectonossedimentares distintos: um proximal, dominado pela formação de plataformas carbonáticas; e outro na parte distal, apresentando rifteamento em ambiente marinho e acompanhado de magmatismo.

Figure 10 - Tectonic-sedimentary maps of the JAC rift system showing the rifting evolution based on the integrated interpretation of geological (wells and outcrops) and geophysical (seismic and potential method) datasets. Note the rift rejuvenation eastwards, while the proximal margin is aborted, linked to Reconcavo-Tucano-Jatoba rift system during the mid-Aptian. Observe also that basement lineaments control transverse zones delimiting depocenters and basins. (a) The architecture of the initial JAC rift up to proximal rift climax during the Hauteriviano-Barremian interval (equivalent to Rio da Serra-Aratu-Buracica-Jiquiá local ages); (b) the rift framework during the mid-late Aptian, showing a diachronic process between late rift pulses and post-rift (SAG I) sedimentation areas; (c) the JAC rift during the early Albian, formed by distinct tectono-sedimentary domains: one proximal, dominated by carbonate platforms; and another in the distal portion where coeval marine and magmatic rifting took place.

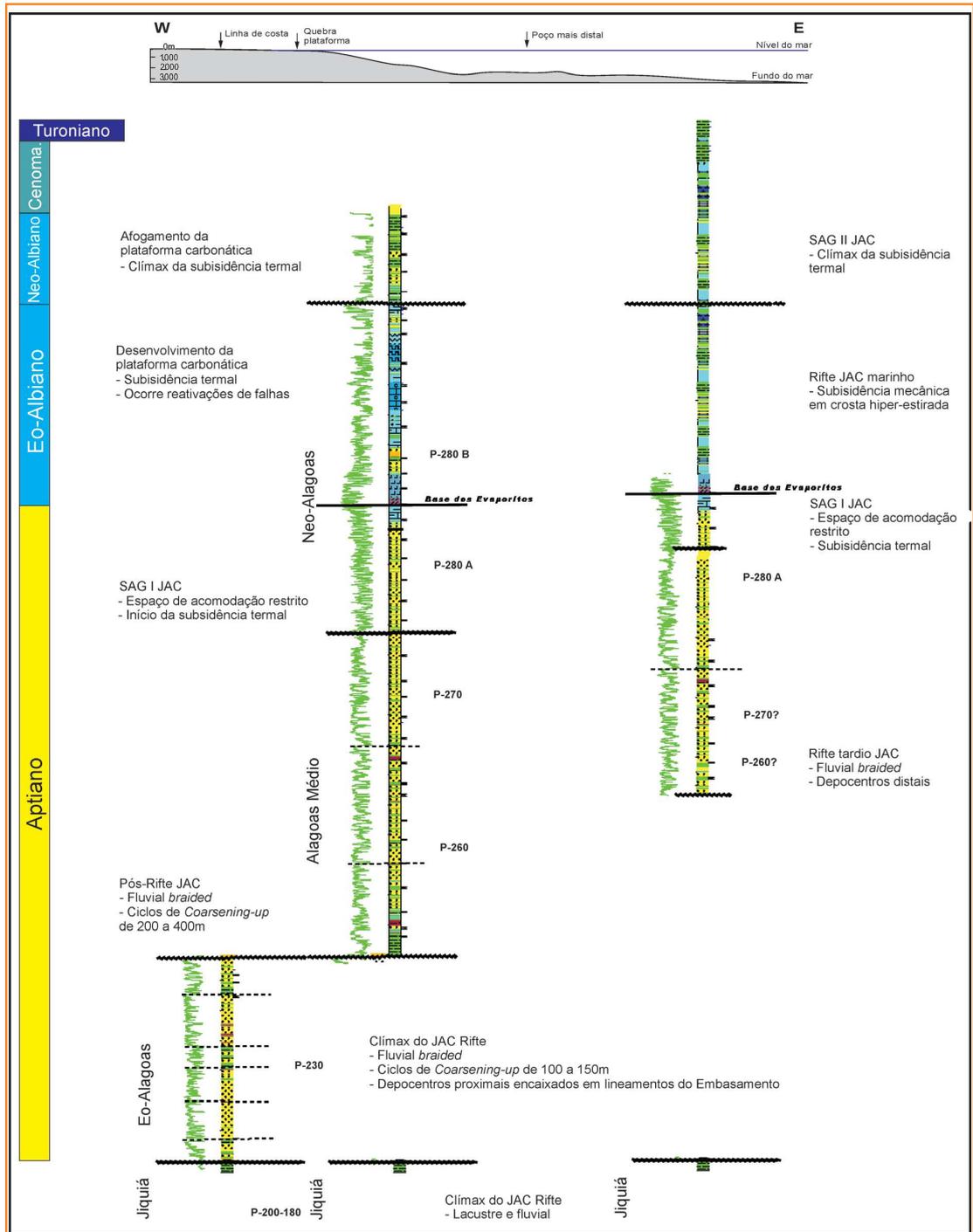


Figura 11 – Empilhamento baseado no estudo de poços ao longo do sistema de riftes JAC mostrando de forma idealizada a estratigrafia rife no intervalo Aptiano-Turoniano com relação aos diversos pulsos de rifteamento e seus sistemas deposicionais associados.

Figure 11 - Idealized well sketch for the JAC rift system showing the rift stratigraphy for the Aptian-Turonian interval in relationship to several rift pulses and their associated depositional systems.

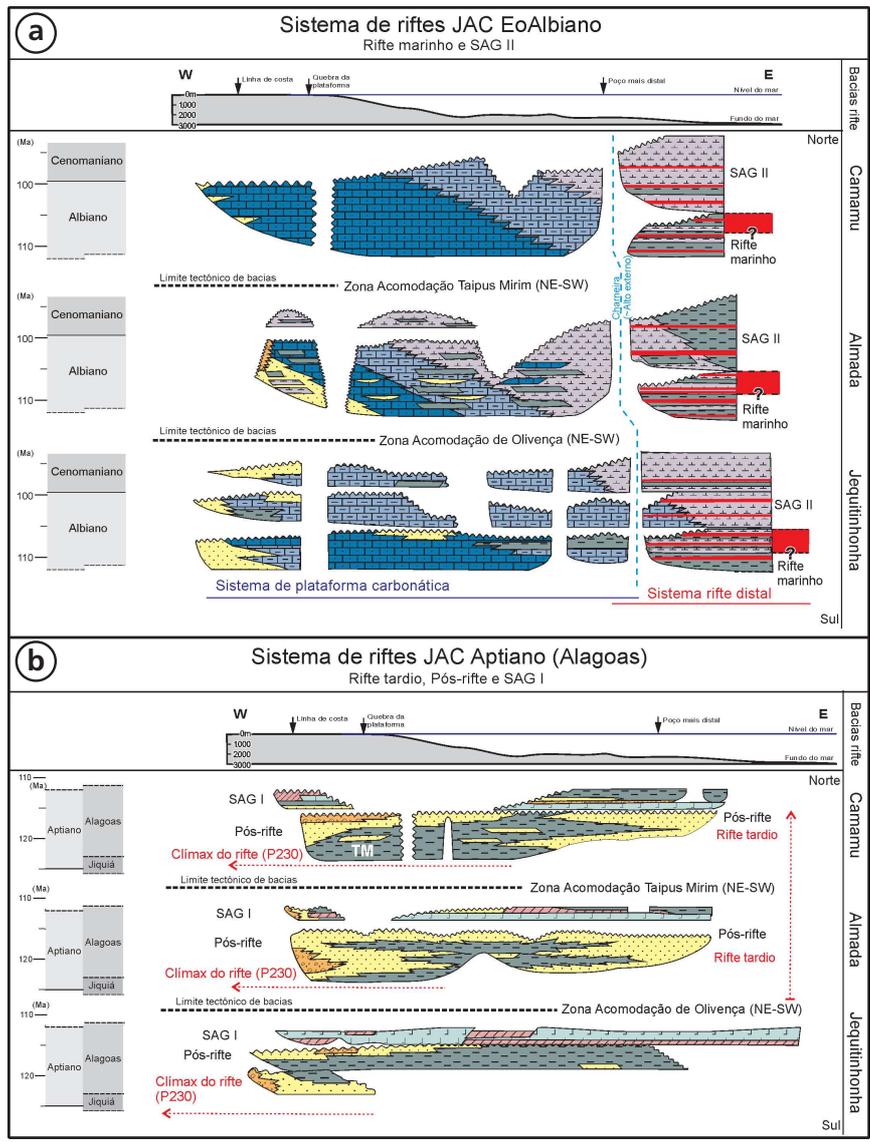


Figura 12 – Estratigrafia das fases finais do sistema de riftes JAC, baseada em Caixeta *et al.* (2007), Gontijo *et al.* (2007) e Rangel *et al.* (2007). (a) O Aptiano (equivalente ao Andar Alagoas) mostra uma estratigrafia mais complexa em resposta a diversas fases tectônicas que ocorrem neste período: climax do rifte (biozona P-230); rifte tardio; pós-rifte e SAG I. Notar que o climax do rifte continua na porção proximal durante o Aptiano (andar local Jiquiá). Além disso, a seção pós-rifte na porção proximal é contemporânea a depósitos do rifte tardio da parte distal; (b) a estratigrafia do intervalo Albiano-Cenomaniano é marcada por dois sistemas distintos que ocorrem de forma concomitante: na porção proximal, desenvolve-se um sistema de plataformas carbonáticas, enquanto na porção distal ocorre um rifteamento marinho com magmatismo associado, até o *breakup* final.

Figure 12 - Stratigraphy of the final stages of the JAC rift system based on Caixeta *et al.* (2007), Gontijo *et al.* (2007) and Rangel *et al.* (2007). (a) The Aptian (equivalent to the Alagoas local age) shows a complex stratigraphy in response to various tectonic stages occurring in this period: rift climax (P-230 biozone); late rift; post-rift and SAG I. Note that the Rift climax continues into the Aptian (Jiquiá local age) in the proximal margin. In addition, the post-rift section is coeval with late rift deposits in the distal margin; (b) the stratigraphy of the Albian-Cenomanian interval is marked by two distinct systems that occur concurrently: a carbonate platform system in the proximal portion and a marine magmatic rifting which last up to the Gondwana break-up in the distal margin.

discordância é identificada pelo fim dos ciclos de coarsening-up, os quais são suplantados pela intercalação de camadas métricas de arenito e folhelho que mostram tendência geral de *finning-up* (fig. 11). Isto denota um raseamento ainda maior do sistema durante o Neoptiano (Neoalagoas Inferior; biozona P-280A) com espaço de acomodação bastante restrito devido ao início do processo de subsidência estritamente termal, que culminou com a deposição da seção evaporítica. Na porção distal, a discordância Pré-Aptiano Superior se torna uma concordância correlativa, sendo difícil sua identificação nos poços em águas profundas.

A seção evaporítica depositada na porção superior do Neoalagoas, correlacionada à biozona P-280B, na porção proximal, apresenta genericamente uma sucessão de fácies carbonáticas e evaporíticas intercaladas com camadas siliciclásticas subordinadas, denotando um período de quiescência tectônica na porção proximal, com formação de plataformas carbonáticas mistas bem desenvolvidas nos extremos do rifte JAC, na Bacia de Camamu ao norte e na Bacia Jequitinhonha ao sul (figs. 10c, 11 e 12a). Neste período, o ambiente torna-se francamente marinho, com a variação eustática estabelecendo-se como o principal fator controlador na deposição dos sedimentos carbonáticos, culminando com o afogamento das plataformas proximais durante o Eoalbiano.

Eoalbiano – rifteamento marinho distal

Em contraste com o ambiente tectonicamente calmo da porção proximal durante o Neoalagoas, na porção distal o rifteamento continuou em ambiente marinho (Ravnas e Steel, 1998), com o deslocamento da charneira ainda mais para leste no Eoalbiano (figs. 2 e 10c). Este rifteamento marinho distal é reflexo de um processo final de hiperextensão da crosta continental antes da formação da crosta oceânica. Seções sísmicas mostram o rifte eoalbiano sobre crosta continental (variando entre 4km e 7km de espessura), com estilo estrutural distinto das porções terrestre e proximal, dominado

predominantemente por falhas planares, enquanto o rifteamento eoalbiano é caracterizado por falhas de geometria curva a lítrica à medida que se aproxima da crosta oceânica a leste (figs. 7, 8 e 9). A maioria destas falhas descola numa interface dentro do embasamento, interpretada sísmicamente como sendo o topo da crosta inferior, para a qual se infere comportamento reológico dúctil. Algumas destas falhas sugerem descolamento mais profundo, na discordância de Mohorovic, que representaria o topo do manto litosférico; um possível exemplo é a falha de charneira eoalbiana na Bacia de Camamu (fig. 7). Neste período, algumas falhas e charneiras da porção proximal foram reativadas, conforme demonstrado por crescimento sedimentar sem associação a halocinese (figs. 7, 8 e 9).

A base do sal é geralmente bem visível em seções sísmicas e pode ser tomada como camada-guia, marcando o deslocamento das falhas eoalbiana; algumas estruturas salíferas, mais comumente diápiros, são observadas dentro dos depocentros associados a sedimentos sin-tectônicos, revelados por refletores sísmicos divergentes interpretados como falhas (figs. 7 e 9). Isto reforça a idade pós-aptiana deste rifteamento distal, o qual claramente é posterior à deposição do sal e, portanto, de idade eoalbiana. Além do estilo estrutural diferente, o Rifte Eoalbiano esteve associado a intenso vulcanismo, conforme pode ser observado em seções sísmicas através de amplitudes anômalas em estruturas concordantes, dentro das seções rifte e SAG II (indicado por setas nas figs. 7 e 9). Este mesmo padrão já foi identificado por metodologia similar em outras bacias da costa baiana (Ferreira *et al.*, 2013), mas não é observado nas porções terrestre ou proximal do rifte JAC (fig. 12a). Neste, as rochas vulcânicas associadas ao rifte marinho ocorrem ao longo dos depocentros eoalbianos e estão alinhadas com as falhas de borda (fig. 10c). Até o momento, tais vulcânicas não foram amostradas por poços perfurados em águas profundas. No entanto, mais ao norte, na Bacia de Sergipe-Alagoas, recentemente foram datadas pelo método (Ar40/Ar39) rochas vulcânicas da seção SAG II cronocorrelata, as quais forneceram idade de 104 ± 2 Ma, num mesmo contexto do rifte eoalbiano marinho que ocorre ao longo de toda a margem nordeste brasileira (Ferreira e Caixeta, 2012, 2014; Caixeta *et al.*,

2014). Segundo Caixeta *et al.* (2014), análises petrográficas realizadas em algumas destas rochas mostraram características típicas de ambiente subaquoso, como a presença de textura plumosa e plagioclásio com padrão “rabo de andorinha”, compatível com a interpretação de derrames vulcânicos associados ao rifteamento marinho. No rifte JAC, especula-se para esta seção rifte eoalbiana uma predominância de intercalações de folhelho e marga com rochas vulcânicas associadas, com base no que foi descrito em seção correlata amostrada em poços perfurados na Bacia de Sergipe (Caixeta *et al.*, 2014).

Este sistema de grabens ou meio-grabens distais apresenta alternância na borda de falha (sistema *flip-flop*), onde a geometria da falha de borda é comumente curvilinear (figs. 7-9). Este arranjo do rifte Eoalbiano pode ser interpretado como resultado da mudança no sistema de abertura da margem nordeste brasileira, cujo eixo dominante de abertura se torna NNW-SSE, com aumento progressivo do deslocamento lateral até a ruptura do Gondwana, conforme sugerido por Corrêa-Gomes *et al.* (2005a, 2005b), o que causou reversão tardia de algumas falhas normais. A idade relativa deste sistema tardio pode ser obtida pelo deslocamento de estruturas salíferas aptianas, associado a seções de crescimento pré-Turoniano observadas em seções sísmicas, onde o folhelho turoniano marca uma extinção global (horizonte azul-escuro nas seções sísmicas das figs. 7-9). O aumento da atividade magmática pode ser observado pela maior ocorrência de estruturas magmáticas interpretadas na seção eoalbiana das seções sísmicas (figs. 7-9). O folhelho turoniano, de fácil identificação sísmica e correlação ao longo da margem nordeste brasileira, por causa de sua amplitude sísmica característica, marca o encerramento da atividade tectônica do rifte JAC, quando os processos de deformação da crosta oceânica decorrentes da subida da astenosfera passam a ser protagonistas, induzindo reativações e soerguimentos nas bacias.

eventos tectônicos na margem nordeste

Estudos de campo baseados em discordâncias e reativações de falhas na seção rifte das bacias do Recôncavo (Magnavita, 1992) e Camamu (Destro *et al.*, 1994) já apontavam uma possível anomalia termal, associada com a abertura do Atlântico, que poderia ter persistido após o rifteamento ter cessado no rifte RJ durante o Eoaptiano. De acordo com Magnavita (1992), apesar da ausência de magmatismo associado ao rifteamento no RTJ, uma anomalia termal no manto poderia ter causado um soerguimento com amplitude de cerca de 600m da bacia e na região adjacente. Seções sísmicas ao longo do sistema de riftes JAC mostram eventos erosivos de proporções similares na porção proximal, associados muitas vezes com estruturas reversas na seção rifte (figs. 8 e 9) e mais acentuadamente uma erosão na seção pós-rifte estimada da ordem de 600m a 1.000m (Ferreira *et al.*, 2013). Além disso, trabalhos recentes baseados principalmente em estudos termocronológicos, em especial traços de fissão em apatita realizados no Nordeste do Brasil (Morais Neto *et al.*, 2009), ressaltaram a concentração de eventos tectônicos e magmáticos no intervalo entre 112 e 90 Ma; os mesmos autores interpretaram o mecanismo de *underplating* magmático induzido por fluxo lateral, decorrente da abertura do Atlântico, como possível causa do soerguimento pós-*breakup* da Província Borborema. Alguns daqueles eventos tectônicos estão relacionados aos últimos pulsos de rifteamento eoalbiano na porção distal da margem, os quais causam reativações de lineamentos transversais no embasamento (Itabuna-Itaju do Colônia, Vaza-Barris), bem como soerguimento e erosão na porção proximal da costa baiana (Ferreira *et al.*, 2013). Já na porção proximal da Bacia Pernambuco-Paraíba, ocorre uma suíte de rochas vulcânicas datadas de 104 a 96 Ma (Suíte Ipojuca; Nascimento, 2012) que pode estar relacionada ao longo da margem do Nordeste brasileiro aos eventos tarditectônicos albianos, em especial ao magmatismo extrusivo alcalino que ocorre na parte distal da Bacia de Sergipe-Alagoas (fig. 13). Tal magmatismo foi constatado através de poços recentemente perfurados em

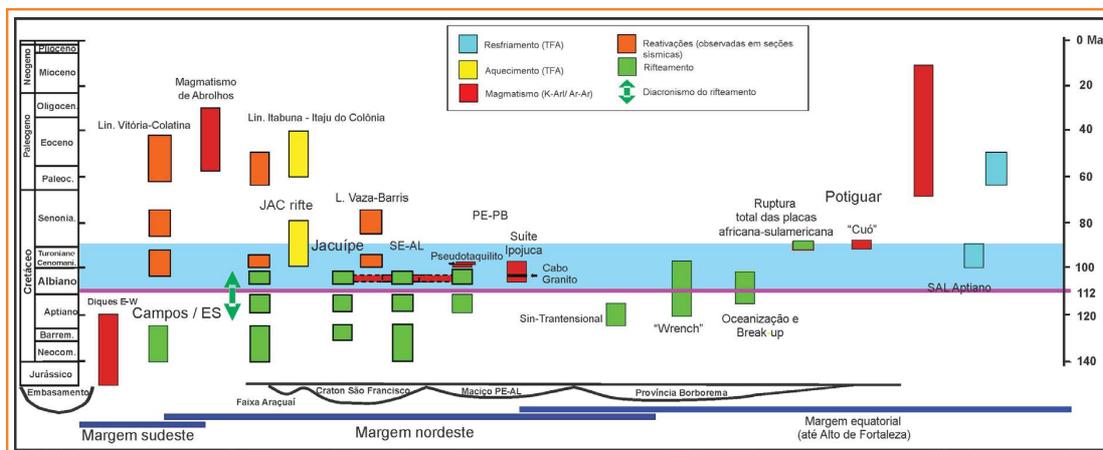


Figura 13 – Quadro dos principais períodos de atividade tectônica na margem leste brasileira, identificados por meio da compilação de diferentes métodos geocronológicos e sua correlação com o rifteamento em cada porção da margem. Notar a concentração de eventos tectônicos na margem nordeste durante o intervalo 100-80 Ma (faixa azul). Modificado de Morais Neto *et al.* (2009) e Ferreira e Caixeta (2012).

Figure 13 - Time relationships of the main periods of tectonic activity in the Eastern Brazilian margin, compiled from different geochronological methods and their correlation with the rifting stages in each part of the margin. Note the concentration of tectonic events in the northeastern margin during the 100-80 Ma interval (blue band). After Morais Neto *et al.* (2009) and Ferreira and Caixeta (2012).

águas profundas da Bacia de Sergipe-Alagoas, tendo-se obtido datações de cerca de 104 Ma em vulcânicas extrusivas intercaladas em sedimentos pelíticos de idade albiana (Ferreira *et al.*, 2011; Caixeta *et al.*, 2014). A boa correlação destes eventos tectonomagmáticos ao longo da margem nordeste brasileira revela claramente a continuidade da atividade tectônica do rifteamento após a deposição do evaporitos aptianos, além de demonstrar o diacronismo entre bacias ou segmentos da margem durante a ruptura descontínua e diácrona da margem brasileira (fig. 13), a qual só ocorreu definitivamente ao longo do Albo-Cenomaniano na sua porção nordeste (Ferreira *et al.*, 2011). Neste contexto, pode-se inferir que o sistema de riftes JAC registrou toda a evolução do processo de rifteamento da margem, desde os primórdios de sua ligação com o rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ) até a ruptura do supercontinente Gondwana.

modelo tectonossedimentar do sistema de riftes JAC

A história tectonossedimentar do sistema de riftes JAC é marcada por um sistema de lagos rasos encaixados em meio-grabens, sem aporte de sedimentação clástica significativo, atestado pela predominância de folhelhos escuros com alto teor de matéria orgânica (fig. 14).

Em seguida à fase inicial, do Barremiano ao Eoaptiano (andares Aratu-Buracica-Jiquiá) ocorre o clímax da porção proximal da margem rifteada, caracterizada pela formação de maior espaço de acomodação devido à maior subsidência mecânica nos grabens, formando os lagos mais profundos, que começaram a receber a entrada de sistemas arenosos, captados pela erosão das áreas soerguidas adjacentes (fig. 10b). Neste período, o

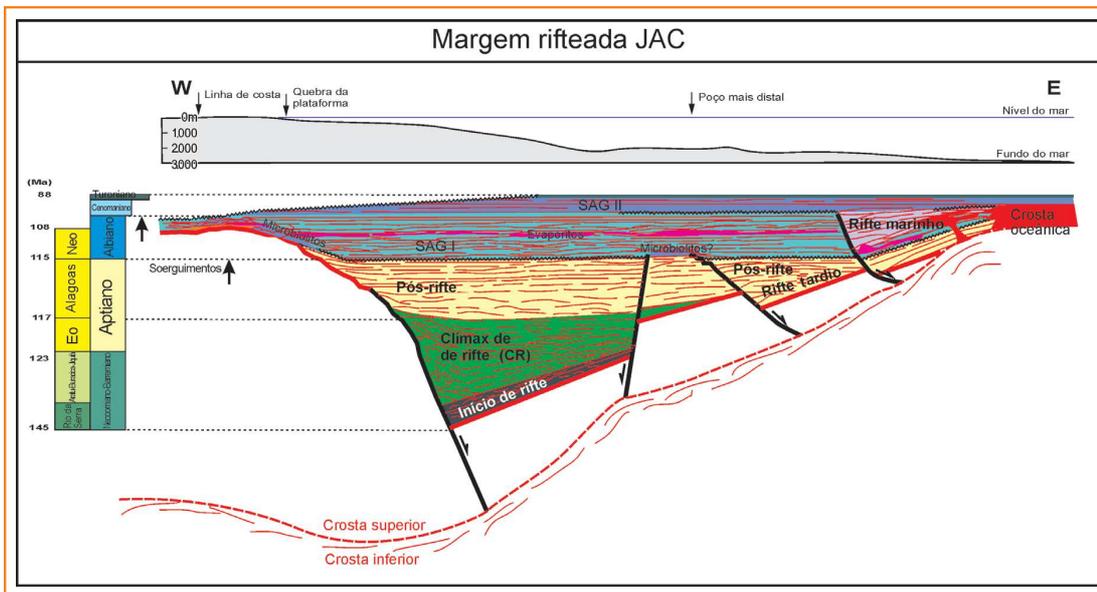


Figura 14 – Perfil esquemático E-W da margem rifteada de Jequitinhonha-Almada-Camamu (JAC) mostrando a correlação relativa e temporal entre os diversos estágios de rifteamento.

Figure 14 - E-W schematic profile of the Jequitinhonha-Camamu-Almada (JAC) rifted margin showing the relative and temporal correlation among the several rifting stages.

o sistema de riftes RTJ alcançou sua extensão máxima para o norte no meio-gráben de Jatobá; para o sul, ocorreu a individualização do sistema de riftes JAC com o rompimento do Alto de Taipus, através do sistema de falhas de Aritaguá (fig. 2). Neste período, ocorre uma mudança do eixo de abertura do rifte de E-W para NW-SE (fig. 15); em conseqüência, o sistema rifte JAC rompe sua ligação embrionária com o sistema de riftes RTJ, propagando-se para o sul até a Bacia de Jequitinhonha. Além disso, a individualização do sistema de riftes JAC é marcada principalmente pelo deslocamento do eixo do rifte para leste da Falha de Salvador (fig. 2, Zona Marrom), na região ao sul da Bacia do Recôncavo, com a formação do sistema de bacias Jequitinhonha-Almada-Camamu. Na porção norte do rifte JAC, já individualizado, a atividade da Falha de Salvador foi transferida pelo sistema de falhas da Barra para um sistema de grabens que se desenvolveu na região dos altos de Salvador-Jacuípe (figs. 2 e 15b).

O Mesoptiano (aproximadamente o andar local Alagoas Médio) é marcado pela estabilização da atividade tectônica na margem rifteada.

Na porção proximal da margem, o rifteamento é arrefecido ou abortado, sendo seguido pela colmatação do relevo estrutural remanescente por sedimentos predominantemente arenosos depositados em sistemas fluviodeltaicos (fig. 16; biozonas palinomórficas: P-240, P-260 e P-270), provenientes de uma rede de drenagem madura. Enquanto isso, na porção distal da margem JAC, o processo de rifteamento continua intenso neste período, sendo marcado por sistemas de falhas aproximadamente N-S de rejeitos de centenas de metros, que resultam no espessamento desta seção (figs. 7-12), como já constatado num poço distal na Bacia de Camamu, cuja espessura atinge mais de 1km (Ferreira et al., 2011). O diacronismo da atividade tectônica entre as porções proximal e distal, denominadas aqui seções “pós-rifte” e “rifte tardio”, respectivamente (figs. 14 e 16), denota a migração do eixo do rifte em direção a leste (figs. 10b, 15 e 12a).

Durante o intervalo Eoalbio a Eoalbio (correspondente ao andar local Neoalagoas), esse diacronismo entre as porções da margem JAC se torna mais contrastante e complexo. Enquanto a

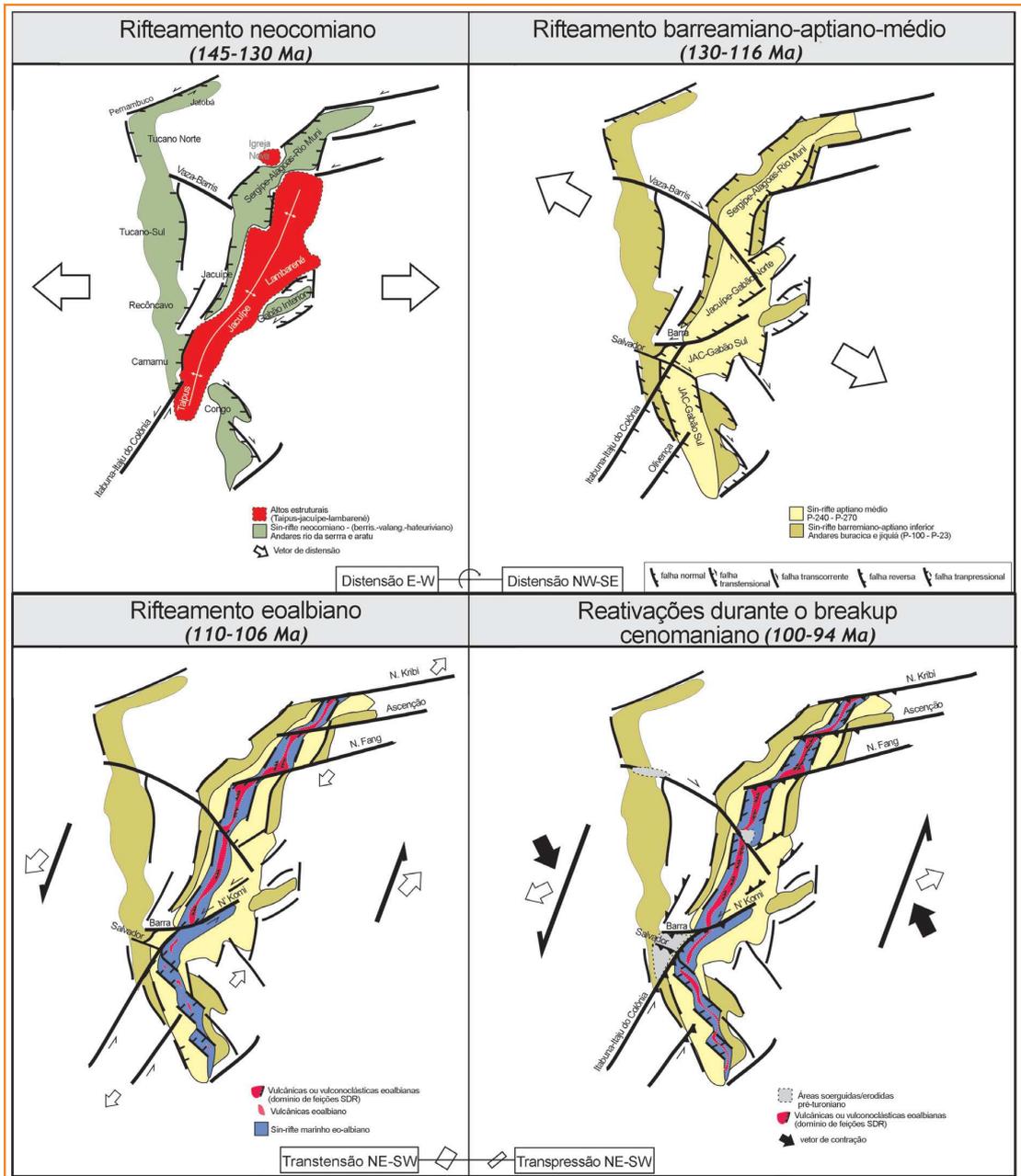


Figura 15 – Esquema evolutivo para o sistema de riftes de Jequitinhonha-Almada-Camamu (JAC) no contexto geotectônico da margem nordeste brasileira (baseado em Bradley e Fernandez, 1992).

Figure 15 - Evolutionary sketch for the Jequitinhonha-Camamu-Almada (JAC) rift system within the geotectonic framework of the Brazilian northeast margin (based on Bradley and Fernandez, 1992).

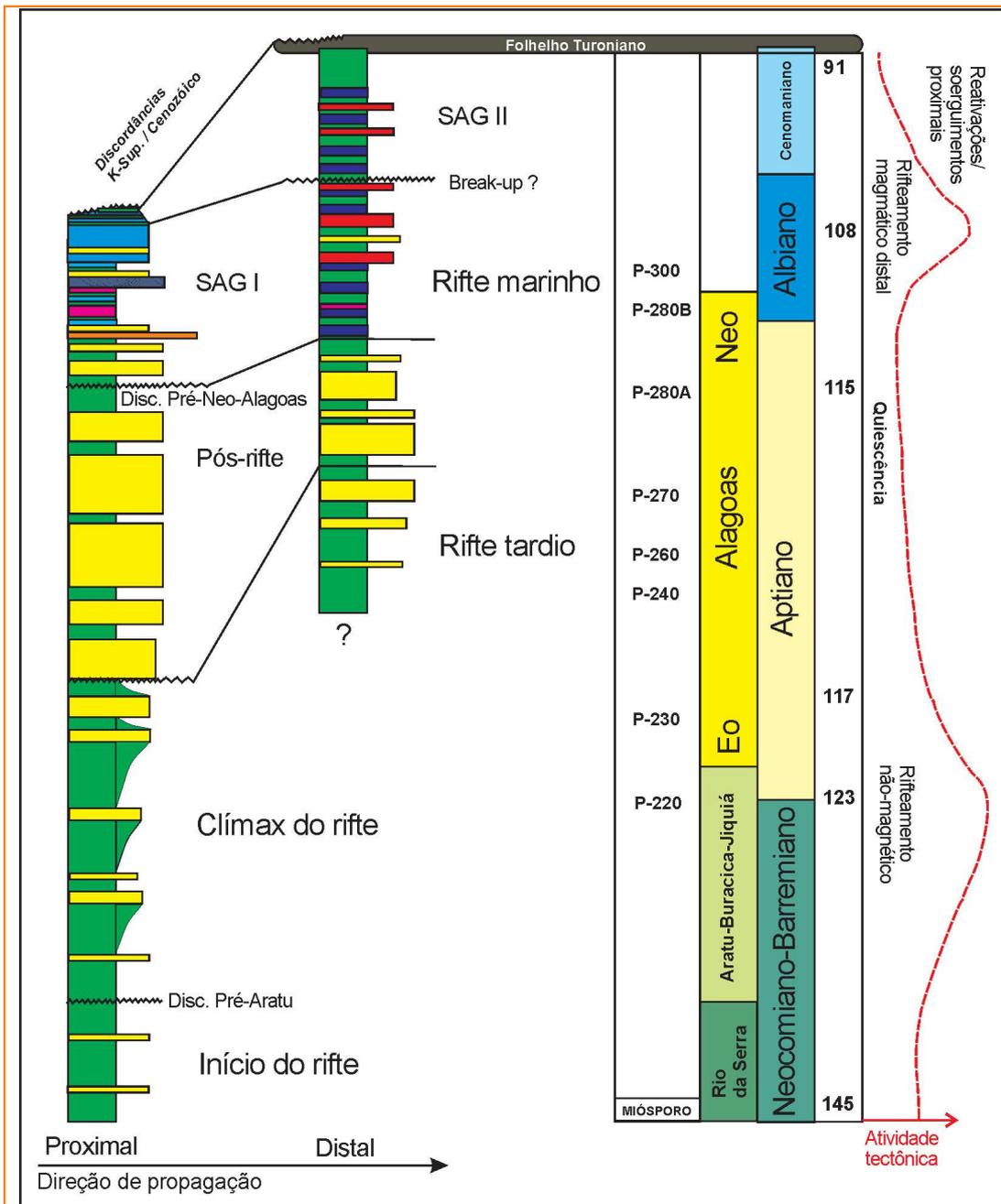


Figura 16 – Correlação de colunas estratigráficas esquemáticas das porções proximal e distal da margem rifteada de Jequitinhonha-Almada-Camamu (JAC) mostrando o rejuvenescimento do rifteamento em direção ao sítio de formação da crosta oceânica. A coluna proximal representa a visão clássica do rifteamento na margem nordeste brasileira, porém a interpretação de novos dados geológicos indica uma coluna sedimentar mais jovem na porção distal, como reflexo dos últimos pulsos de rifteamento durante o Albiano.

Figure 16 - Correlation of the schematic stratigraphic columns of the proximal and distal portions of the Jequitinhonha-Camamu-Almada (JAC) rifted margin showing the rifting rejuvenation towards the future oceanic crust site. The proximal column represents approximately the classical view of rifting in the northeast Brazilian margin, but the interpretation of new geological data indicates a younger sedimentary column in the distal portion, reflecting the latest rift pulses during the Albian.

porção proximal experimentava uma subsidência termal com deposição de extensas bacias evaporíticas rasas com sedimentos pelíticos carbonáticos (biozona palinomórfica P-280), numa configuração típica de SAG basins limitadas por altos transversais ao rifte (herdados do relevo estrutural das zonas de acomodações pretéritas; fig. 10b), a porção distal da bacia apresentou rifteamento acompanhado de magmatismo, formando conjuntos de grabens orientados nas direções NW-SE e NE-SW (fig. 10c).

considerações finais

O sistema de riftes Jequitinhonha-Almada-Camamu (JAC) está intimamente ligado ao rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (RTJ), no qual a fase inicial de estiramento litosférico se caracteriza pela deposição de sedimentos do Neojurássico (Andar Dom João) numa depressão localizada entre os continentes africano e sul-americano – a “depressão afro-brasileira” de Ponte (1972). Esta fase inicial foi considerada sin-rifte em alguns trabalhos (Chang *et al.*, 1992; Matos, 2000) em que eventos magmáticos precoces também têm sido reconhecidos nas bacias brasileiras desde o Jurássico (Thomaz Filho *et al.*, 2008). No entanto, segundo Netto (1978), o processo de falhamento que definiu a implantação do rifte RTJ, com formação de falha de borda, somente ocorreu a partir do Berriasiano (ca. 145 Ma), durante o andar local Rio da Serra. No rifte RTJ foram desenvolvidos sistemas de falhas de borda (Falha de Salvador) em configuração do tipo flip-flop (depocentros alternados), que acomodou o estiramento crustal por subsidência mecânica. Diferentemente, no rifte JAC não é observado o desenvolvimento de falhas de borda típicas (fig. 2); em vez disso, afloram sedimentos pré-rifte paleozoicos a jurássicos que sugerem a existência de uma possível borda flexural do lado brasileiro, enquanto a falha de borda principal estaria do lado africano (Castro, 1987).

Apesar de estar localizado no lado flexural de um rifte que se iniciava no Berriasiano, nas margens atuais do Gabão e do estado da Bahia (figs. 1, 2 e 15), o rifte JAC apresenta características evolutivas relacionadas a diferentes estágios desenvolvidos por falhas secundárias na borda flexural, através das quais é possível estabelecer um quadro tectônico completo. Como exemplo,

as falhas de Maragogipe e Camamu, de orientação NNE-SSW com escalonamento à direita, estão enraizadas na trama da Zona de Cisalhamento Itabuna e compartimentam os sedimentos pré-rifte; ambas estiveram ativas somente durante o rifteamento inicial, cuja charneira principal foi formada pelo sistema de falhas de Mutá-Morro de São Paulo, localizado mais a leste (fig. 2).

O sistema de falhas Mutá-Morro de São Paulo representa a charneira inicial do rifte JAC, compondo com o sistema de falhas da Barra a ligação com a Falha de Salvador no rifte RTJ. O sistema de falhas da Barra desenvolveu-se como sistema transferente de orientação E-W, composto por um splay de falhas normais de orientação NE-SW que adentram o depocentro formado no início do rifteamento (figs. 2 e 15). Na fase bem inicial do rifteamento (Berriasiano, Andar Rio da Serra), o sistema de transferência da Barra limitou o rifte JAC com o então existente Alto de Salvador, comportando-se desta forma desde o Jurássico (Wanderley Filho e Graddi, 1995). Nesta fase inicial, o rifte JAC configurava-se como a extensão do rifte RTJ, o qual, segundo Magnavita (1992), estava submetido a uma distensão de orientação E-W e limitava-se ao sul pelo Alto de Taipus (Amorim *et al.*, 1996) num sistema de falhas planares com blocos rotacionados, que é a expressão da Zona de Acomodação Taipus Mirim (ZATM) em águas rasas (figs. 4 e 5). Neste período, o rifte JAC era o prolongamento sul do rifte RTJ, abrangendo apenas as bacias de Camamu e o extremo norte de Almada (figs. 4 e 6).

Depois desse período inicial, a partir do Hauteriviano (andar local Aratu; ~135 Ma), estabeleceu-se a individualização do rifte JAC em relação ao rifte RTJ. O clímax do rifteamento é atingido logo após a individualização do rifte JAC, durante o Eoaptiano (Andar Jiquiá), conforme observado por Netto e Oliveira (1985) no rifte RTJ (figs. 5-9). Nesse período, ocorre o rejuvenescimento da charneira para leste, bem como a migração do sistema deformacional para o sul, rompendo o Alto de Taipus, através do sistema de falhas de Aritaguá (Amorim *et al.*, 1996), que representa falhas normais de orientação NNE-SSW com escalonamento à direita (fig. 2). A mudança na direção do escalonamento observado no sistema de falhas do início para o clímax do rifteamento pode ser reflexo do início da mudança na orientação da distensão de E-W para NW-SE, que teria ocorrido na região

(Magnavita, 1992). O clímax da estruturação do rifte continental JAC é marcado pela propagação para o sul e para o norte, rompendo os altos de Taipus e Jacuípe, respectivamente. A partir do Barremiano (Andar Aratu Superior), o sistema de transferência da Barra propaga-se para leste (figs. 3, 4 e 15b) como um conjunto de estruturas em flor associado a falhas normais NE-SW, rompendo o Alto de Jacuípe e formando a Bacia de Jacuípe, ponte de ligação para a futura conexão com o rifte da Bacia de Sergipe-Alagoas no final do Aptiano (Andar Alagoas).

A partir do Mesoaptiano, a ligação embrionária do rifte JAC com o sistema de riftes RTJ é rompida, quando este último é finalmente abortado e encerra o seu processo de rifteamento, enquanto o rifte JAC começa uma nova fase de desenvolvimento (figs. 7, 8 e 9). Esta fase é marcada também pelo ajuste isostático representado por quiescência tectônica, durante a qual se depositou a sequência evaporítica (Chang *et al.*, 1992). Até o final da década passada, a história evolutiva do rifte JAC poderia ter se encerrado ao final do evento acima mencionado (Netto e Ragagnin, 1990; Netto *et al.*, 1994; Mohriak *et al.*, 2000; Caixeta *et al.*, 2007), porém trabalhos recentes, baseados em dados de poços e dados sísmicos (Ferreira *et al.*, 2011; Ferreira e Caixeta, 2012; Ferreira *et al.*, 2013), têm demonstrado que o rifteamento na porção distal da margem teria se prolongado até o intervalo Albiano-Cenomaniano, incluindo magmatismo associado.

A idade de 112 Ma, relacionada à deposição dos evaporitos, tem sido utilizada como marco cronológico da passagem da fase rifte para a fase drifte, caracterizada por um período transicional marcado por subsidência predominantemente térmica e sem rifteamento significativo (Moulin *et al.*, 2012). Este modelo foi formulado com base nas bacias da porção meridional da margem leste brasileira, principalmente interpretando seções sísmicas na Bacia de Campos, onde é clara a formação de uma seção com típica geometria SAG entre a terminação superior das falhas do rifte e a base dos evaporitos (*steer-head basin*). No entanto, trabalhos recentes têm mostrado que esses conceitos e observações não podem ser expandidos para toda a margem leste brasileira, principalmente na sua porção setentrional (por vezes chamada de margem nordeste), pois ocorre um diacronismo na fase final do rifteamento que

mostra rejuvencimento geral do rifte para o norte em direção à Bacia Pernambuco-Paraíba (Ferreira *et al.*, 2011; Ferreira e Caixeta, 2012; Caixeta *et al.*, 2014). O comportamento diacrônico do rifteamento também pode ser facilmente observado no sistema de riftes JAC devido a sua posição na margem nordeste brasileira, conectado embrionariamente com o rifte RTJ, que representa o rifte cretáceo mais antigo do Brasil (Dias, 1993; Magnavita *et al.*, 1992).

O rifteamento albiano desenvolveu-se em ambiente francamente marinho, contemporâneo a uma subida da astenosfera que causou afinamento da litosfera, com subsequente aumento do magmatismo e fluxo termal na porção distal da bacia. Enquanto isso, a porção proximal do rifte JAC, juntamente com o sistema RTJ abortado, estava em subsidência termal devido ao rebaixamento da astenosfera. Este diacronismo tectônico que ocorre entre as partes proximais e distais da margem rifteada JAC nada mais é do que o resultado do contínuo rejuvenescimento do rifteamento em direção ao sítio onde ocorreu o rompimento final da margem JAC-Gabão, estabelecendo um novo centro de espalhamento no Mesoalbiano (figs. 14 e 16).

conclusões

O sistema de riftes Jequitinhonha-Almada-Camamu apresenta uma complexa história evolutiva, que tem sua nucleação relacionada ao sistema de riftes Recôncavo-Tucano-Jatobá, acompanhando seu desenvolvimento até o Mesoaptiano, quando então se desenvolve como uma margem rifteada típica, deslocando o seu eixo gradativamente na direção leste, com aumento do magmatismo contínuo até a inserção total de crosta oceânica no Albiano-Cenomaniano. Como já observado por outros autores (Dias, 1993; Bueno, 2004; Caixeta *et al.*, 2012), a abertura do Atlântico Sul é, sem dúvida, diacrônica ao longo de toda a margem leste brasileira, com os últimos pulsos de rifteamento tendo ocorrido no Albiano. Com o avanço da aquisição de sísmica de reflexão para a porção de águas ultraprofundas (distal) das bacias, foi revelada a presença de um rifteamento pós-sal (pós-Aptiano) na margem nordeste brasileira, mostrando

que o rifte Albiano pode ser correlacionado pelo menos da costa baiana até a costa pernambucana. Tal interpretação vem sendo corroborada por datações de rochas vulcânicas extrusivas albianas, claramente sin-rifte. Desse modo, o estudo do sistema de riftes Jequitinhonha-Almada-Camamu apresenta-se como uma excelente oportunidade para exemplificar a evolução tectônica das bacias da margem nordeste brasileira.

agradecimentos

O autor agradece à Petrobras pela autorização de publicação deste trabalho, em especial a toda a equipe da Gerência de Interpretação Exploratória do Norte-Nordeste, que de forma direta ou indireta contribuiu para o aprimoramento deste trabalho por meio de discussões técnicas nos últimos nove anos. Gostaria de agradecer de forma destacada aos geofísicos Claudir Francisco (GEXP-NNE/INT-1) e Fernando Barros (UO-Seal) pelo suporte na formatação e interpretação dos dados sísmicos e de métodos potenciais. Também agradeço de forma especial ao geólogo José Maurício Caixeta pelas valiosas discussões a respeito da Geologia das bacias baianas. Por fim, estendo o agradecimento ao geofísico José Antônio Cupertino pelo apoio e incentivo para o aprofundamento do estudo de tectônica rifte, que resultou neste e em outros trabalhos recentemente publicados. Por último, gostaria de agradecer aos revisores da revista pelas importantes sugestões para formatação do trabalho final.

referências bibliográficas

AGUIAR, G. A.; MATO, L. F. Definição e relações estratigráficas da Formação Afligidos nas bacias do Recôncavo, Tucano Sul e Camamu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. v. 1, p. 157-170.

AMORIM, J. N.; CARVALHO, M. R. J.; COUTINHO, L. F. C. A. Sedimentação Alagoas nas bacias de Camamu e Almada: uma interpretação preliminar.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Salvador. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. p. 328.

BACELLAR, P. B.; COSTA, M. N. C. Expressão sísmica da discordância Pré-Neo-Alagoas, porção nordeste da Sub-bacia terrestre de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 3., 1993, Rio de Janeiro. **Boletim...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. v. 1, p. 163-167.

BLAICH, O. A.; TSICALAS, F.; FALEIDE, J. I. Northeastern Brazilian margin: regional tectonic evolution based on integrated analysis of seismic reflection and potential field data and modeling. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 458, n. 1/4, p. 51-67, Oct. 2008.

BRADLEY, A. C.; FERNANDEZ, M. N. Early Cretaceous paleogeography of Gabon/North-Eastern Brazil: a tectono-stratigraphic model based on propagating rifts. **Houston Geological Society Bulletin**, Houston, v. 34, n. 5, p. 17-30, Jan. 1992.

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

CAIXETA, J. M.; FERREIRA, T. S.; MACHADO, D.; LOBO, J. T. Albian Rift Systems in the northeastern Brazilian margin: an example of rifting in hyper-extended continental crust. In: AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 2014, Istanbul. **Extended abstracts...** Tulsa: AAPG, 2014. 1 CD-ROM.

CAIXETA, J. M.; FERREIRA, T. S.; RIGOTI, C. A.; OLIVEIRA, J. A. B. Arquitetura crustal da margem nordeste: uma nova visão para ruptura da margem brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2012. 1 CD-ROM.

CAIXETA, J. M.; MILHOMEM, O. S.; WITZKE, R. E.; DUPUY, I. S. S.; GONTIJO, G. A. Bacia de Camamu. **Boletim Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 455-461, nov. 2007.

CASTRO JR., A. C. M. The Northeastern Brazil and Gabon Basins: a double rifting system associated with multiple crustal detachment surfaces. **Tectonics**, Washington, D.C., v. 6, n. 6, p. 727-738, Dec. 1987.

- CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F.; BENDER, A. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 213, n. 1/2, p. 97-138, Oct. 1992.
- CORRÊA-GOMES, L. C.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BARBOSA, J. S. F.; SILVA, I. C. Padrões de orientação dos campos de tensão, estruturas, herança do embasamento e evolução tectônica das bacias de Camamu e porção sul do Recôncavo, Costa do Dendê, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 117-128, dez. 2005a. Suplemento.
- CORRÊA-GOMES, L. C.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BARBOSA, J. S. F.; SILVA, I. C.; PINTO, M. V. Relações entre orógenos, zonas de cisalhamento, quebra continental e deformações 3-d. A história tectônica da Bacia Sedimentar de Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 105-115, 2005b. Suplemento
- CUPERTINO, J. A. **Evolução tectono-climática na fase rifte das bacias de Camamu, parte norte, e sul do Recôncavo, com ênfase na utilização de isótopos estáveis e traços de fissão**. 2000. Tese (Doutorado)– Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. 2 v.
- DELGADO I. M.; SOUZA, J. D.; SILVA, L. C.; SILVEIRA FILHO, N. C.; SANTOS, R. A.; PEDREIRA, A. J.; GUIMARÃES, J. T.; ANGELIM, L. A. A.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; LACERDA FILHO, J. V.; VALENTE, C. R.; PERROTA, M. M.; HEINECK, C. R. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M. GONÇALVES, J. H. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: textos, mapas & sig. Rio de Janeiro: CPRM, 2003. p. 227-334.
- DESTRO, N.; AMORIM, J. L.; WITZKE, R. E. Identificação de falhas de transferência na Bacia de Camamu, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário Camboriú. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. v. 2, p. 275-277.
- DIAS, J. L. Evolução estratigráfica da fase Rift nas bacias das margens leste e sudeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 16, p. 122-123, 1993.
- DIAS, J. L. Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 7-25, maio 2005.
- ESTRELLA, G.O. O estagio “rift” nas bacias marginais do leste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1972, Belém, **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1972. v. 3, p. 21-28.
- FERREIRA, T. S.; CAIXETA, J. M. The Jequitinhonha-Almada-Camamu Rift System. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47., 2014, Salvador. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014. 1 CD-ROM.
- FERREIRA, T. S.; CAIXETA, J. M. Tectônica Albo-cenomaniana na margem nordeste-equatorial do Brasil: rifteamento, magmatismo e reativações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2012. 1 CD-ROM.
- FERREIRA, T. S.; CAIXETA, J. M.; FRANCISCO, C. Tectonic Evolution of the Jequitinhonha-Almada-Camamu rifted margin. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 14., 2013, Chapada dos Guimarães. **Extended Abstracts...** Rio de Janeiro: SNET, 2013. 1 CD-ROM.
- FERREIRA, T. S.; CAIXETA, J. M.; RIGOTI, C. A. The Diachronous Aptian-Cenomanian rifting controlled by basement inheritance along the Brazilian northeastern margin. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 14., 2011, Búzios. **Anais...** Amsterdam: Elsevier, 2011. 1 CD-ROM.
- FERREIRA, T. S.; CAIXETA, J. M.; LIMA, F. D. Controle do embasamento no rifteamento das Bacias de Camamu e Almada. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 69-88, maio 2009.
- GARCIA, A. J. V.; WILBERT, A. Paleogeographic evolution of Mesozoic pre-rift sequences in coastal and interior basins of Northeastern Brazil. In: EMBRY, A. F.; BEAUCHAMP, B.; GLASS, D. J. (Ed.). **Pangea**: global environments and resources. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists, 1994. p. 123-130. (Memoir 17).

- GONTIJO, G. A.; MILHOMEM, P.; CAIXETA, J. M.; DUPUY, I. S. S.; MENEZES, P. E. L. Bacia de Almada. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 463-473, nov. 2007.
- JAPSEN, P.; BONOW, J. M.; GREEN, P. F.; COBBOLD, P. R.; CHIOSSI, D.; LILLETVEIT, R.; MAGNAVITA, L. P.; PEDREIRA, A. Episodic burial and exhumation in NE Brazil after opening of the South Atlantic. **Bulletin of the Geological Society of America**, New York, v. 124, n. 5/6, p. 800-816, 2012.
- LIMA FILHO, M. F., BARBOSA, J. A., SOUZA, E. M. Eventos tectônicos e sedimentares nas bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebraamento do Gondwana e correlação com a Bacia do Rio Muni. **Revista de Geociências da UNESP**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 117-126, 2006.
- MAGNAVITA, L. P. **Geometry and Kinematics of the Reconcavo-Tucano-Jatobá Rift, NE Brazil**. 1992. 492 f. Tese (Doutorado em Geologia)– Universidade de Oxford, Oxford, 1992.
- MATOS, R. M. D. Tectonic evolution of the equatorial South Atlantic. In: MOHRIAK, W. U.; TALWANI, M. (Ed.). **Atlantic rifts and continental margins**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, c2000. p. 331-354.
- MOHRIAK, W. U.; BASSETTO, M.; VIEIRA, I. S. Tectonic evolution of the rift basins in the Northeastern Brazilian Region. In: MOHRIAK, W. U.; TALWANI, M. (Ed.). **Atlantic rifts and continental margins**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, c2000. p. 293-315.
- MORAIS NETO, J. M.; HEGARTY, K. A.; KARNER, G. D.; ALKMIM, F. F. Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, NE Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, London, v. 26, n. 7, p. 1070-1086, 2009.
- NASCIMENTO, M. A. L. **Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da Província Magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil)**. 2012. 235 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- NETTO, A. S. T. A implantação da fase rift na Bacia do Recôncavo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978. p. 506-517.
- NETTO, A. S. T., OLIVEIRA J. J. O preenchimento do rift-valley na Bacia do Recôncavo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 97-102, jun. 1985.
- NETTO, A. S. T.; RAGAGNIN, G. M. Compartimentação exploratória da Bacia de Camamu, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. p. 36.
- NETTO, A. S. T.; WANDERLEY FILHO, J. R.; FEIJÓ, F. J. Bacias de Jacuipe, Camamu e Almada. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 173-184, mar. 1994.
- OLIVEIRA, E. P.; CARVALHO, M. J.; MCNAUGHTON, N. J. Evolução do segmento norte do orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá: cronologia da acreção de arcos, colisão continental e escape de terrenos. **Geologia USP: série científica**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 41-53, abr. 2004.
- PONTE, F. C.; ASMUS, H. E. The Brazilian marginal basins: current state of knowledge. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONTINENTAL MARGINS OF ATLANTIC TYPE, 1975, São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48, p. 215-239, 1975. Suplemento.
- PONTE, F. C.; FONSECA, J. R.; MORALES, R. G. Petroleum geology of eastern Brazilian continental margin. **The American Association of Petroleum Bulletin**, Tulsa, v. 61, n. 9, p. 1470-1482, Sept. 1977.
- RANGEL, H. D.; OLIVEIRA, J.; CAIXETA, J. M. Bacia de Jequitinhonha. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 475-483, nov. 2007.
- RAVNAS, R.; STEEL, R. J. Architecture of marine rift-basin successions. **The American Association of Petroleum Bulletin**, Tulsa, v. 82, n. 1, p. 110-146, Jan. 1998.
- SCHERER, C.; LAVINA, E. L. C.; DIAS FILHO, D. C. Stratigraphy and facies architecture of the

fluvial-aeolian-lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 194, n. 3/4, p. 169-193, 2007.

SILVA, D. R.; MIZUSAKI, A. M. P.; MILANI, E. J.; PIMENTEL, M. Depositional ages of Paleozoic and Mesozoic pre-rift supersequences of the Recôncavo Basin in Northeastern Brazil: A Rb-Sr radiometric study of sedimentary rocks. **Journal of South American Earth Sciences**, New York, v. 37, p. 13-24, 2012.

THOMAZ FILHO, A. ; MIZUSAKI, A. M. P.; ANTONIOLI, L.. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 128-137, jun. 2008. Suplemento.

WANDERLEY FILHO, J. R.; GRADDI, J. C. S. V. Estilos estruturais da Bacia de Jacuípe-BA. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTONICOS, 5., 1995, Gramado. **Anais**...Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1995. p. 325-326.

expanded abstract

The Camamu, Almada and Jequitinhonha rift basins are located in the southern part of the northeast Brazilian rift margin (NBRM, hereinafter). These basins formed the southern portion of the Reconcavo-Tucano-Jatobá rift system (RTJ) during Neocomian-Barremian times. In the Aptian, the RTJ rift was aborted, as the Jequitinhonha-Almada-Camamu rift system (JAC rift, hereinafter) propagated eastwards to join the Jacuípe-Sergipe rift system. Due to its key-position, between the RTJ aborted rift and the Sergipe-Alagoas rift, the JAC rift system played an important role in recording the whole tectonic evolution from the early rifting stage during the Barremian-Neocomian to the late Aptian-Albian pulses which led to the Gondwana break-up during the Albian-Cenomanian interval (Ferreira et al., 2011; Ferreira and Caixeta, 2012).

The JAC rift developed over the crystalline basement rocks of the São Francisco Craton, related to the Paleoproterozoic Itabuna-Salvador-Curaça and the Neoproterozoic Araçuaí orogens. Pre-existing ductile shear zones related to such geotectonic domains were reactivated during the Gondwana break-up in the Early Cretaceous, as the JAC rift system evolved, strongly controlled by the basement framework. The orientation of hinge faults and transfer zones within the JAC rift system were nucleated on basement structures (Ferreira et al., 2009, 2011). In general, the JAC rift system presents N-S hinge faults in the Jequitinhonha and Almada basins and NE-SW faults in the Camamu Basin, both inherited from the Itabuna shear zone. On the other hand, transfer zones are strongly controlled by conspicuous NW-SE and NE-SW Proterozoic shear zones, such as the Salvador and Itabuna-Itaju do Colônia shear zones. Some horsts and structural highs previously identified in shallow waters (e.g. Taipus high, Olivença high) are inserted in these regional transfer zones, forming geological limits between distinct depocenters or rift basins.

The rift stratigraphy throughout the JAC margin is very similar, contrasting only on the rift section thickness due to local variations of a common tectonic history. The RTJ rift system was aborted during Aptian times as the JAC rifted margin began to evolve eastwards. The early

Aptian period was marked by intense rifting in the Jequitinhonha-Almada Basin (south of the Taipus Mirim Accommodation Zone, TMAZ) and in the extreme north of the Camamu Basin. In addition, the early Aptian rifting process formed isolated large grabens, strongly bounded by basement lineaments. Some exploratory wells record more than 600m of lower Aptian rift sediments in the proximal JAC margin. In the Mid-Aptian, the rift architecture changed totally, with the formation of conspicuous N-S and NE-SW hinge faults concentrated in the Camamu Basin, northward from the TMAZ; at the same time, the southern segment underwent increasingly less fault activity due to the initiation of thermal subsidence. The SAG I phase was widespread during most of the late Aptian. In the distal portion of the JAC margin, the rifting continued through the early Albian period. The early Albian rifting process was associated with magmatic pulses, as ancient hinge faults were reactivated and some footwalls uplifted. The Turonian period, characterized by the worldwide deposition of an organic shale layer, marks the end of the tectonic activity related to the Gondwana fragmentation in the JAC rifted margin.

Recent regional works on tectonics (Ferreira et al., 2011; Ferreira and Caixeta, 2012; Caixeta et al., 2014) have argued that the NBRM underwent a tectonic evolution quite distinct from the rest of the east Brazilian margin. New seismic reflection data as deep as 30km (18 sec TWT), associated with geological information from exploration wells in the distal portion of the NBRM, have brought great advances to the tectonic evolution of the east Brazilian margin. By means of interpretation of deep seismic sections, we observed that some well-established geological concepts about the break-up process in the east Brazilian margin are outdated. A good example is the use of Aptian evaporites as a regional marker for the ending of the rifting stage and the beginning of a widespread thermal stage along the whole east Brazilian margin. This assumption may be useful for the southern portion of the east Brazilian margin (basically Campos and Santos basins), but definitely can no longer be applied in the NBRM. Thus, the NBRM presents an odd tectonic story within a long-standing model to explain the final break-up between the South American and African supercontinents.

The rifting process along the NBRM can be told in a single book (a common genetic tectonic story) composed by several chapters (the poly-phase rifting) where the characters (the basins) played as protagonists. Nevertheless, the story has been told ending up before the break-up (Aptian?), and a final chapter was unknown (the Albian rifting); nowadays, this final chapter is played out due to the advance of the oil exploration frontier towards ultra-deep waters. The earliest rifting in the northeastern Brazilian coast occurred during Neocomian-Barremian times, with the onshore Reconcavo-Tucano-Jatoba rift system being its best example. During the early Aptian, the NBRM began to develop its current framework through the linkage of large isolated grabens or basin depocenters bounded by basement lineaments (e.g. Vaza-Barris lineament). Some exploratory wells record more than 1km of Aptian rift sediments in the Camamu, Almada and Pernambuco-Paraíba basins. From the mid Aptian, the rift architecture changed, with the formation of conspicuous hinge faults basinwards in the Camamu, Almada and Pernambuco-Paraíba basins, while in other areas such as the Sergipe-Alagoas and Jequitinhonha basins the fault activity decreased with the initiation of thermal subsidence, known as SAG phase, which was widespread until the late Aptian when the Gondwana break-up took place. During this period the deposition of evaporates occurred, which would mark the beginning of the drift-phase. Until the last decade, the tectonic history of the east Brazilian margin could have been briefly told this way.

However, recently some deepwater exploratory wells located in the Sergipe-Alagoas and Almada basins revealed an Albian rift system with a stratigraphic section very similar along the NBRM, which is basically dominated by marine pelites (Ferreira and Caixeta, 2012). A representative Albian rift sedimentation can be described by shale and marls interbedded with limestones and volcanics in the uppermost section, contrary to the sandy Aptian rift section that completes the proximal continental rifting. The distal Albian rift section shows fine sediments deposited under the influence of a widespread shallow marine environment. Moreover, the Albian rift system displays a wide variety of structural styles and a large number of magmatic features along the NBRM. In the southern portion of the NBRM, half-graben

sets form flip-flop geometry, mostly showing synthetic curved normal faults associated with magmatic sills and dykes, primarily within the uppermost section (Ferreira and Caixeta, 2012). On the other hand, the northern basins (from the Jacuípe Basin northwards) are strongly controlled by magmatic flows which form antithetical curved features that can sometimes be simply described as SDRs (Seaward Dipping Reflector) domains. The growth of the rift section occurs up to the Albian upper limit, whereas the uppermost section of the Cenomanian-Turonian age displays a SAG geometry (here named as SAG II) without significant fault control. Thus, the Albian rifting stage took place in a distal margin associated with magmatic rocks dated around 104 Ma (40Ar/39Ar) in the Sergipe-Alagoas Basin; these volcanic rocks are clearly characterized by resistivity image logging displaying pillow basalts with associated meso-scale columnar basalt structures. Thin section petrographic analysis has confirmed that magmatic rocks were formed by submarine flows interbedded with Albian-Cenomanian clastic rift sediments. According to our model, the conjugate margin to the southern NBRM is the Gabon Basin, which is characterized by a flip-flop basin pattern, marked by the Aptian salt level.

Several studies based on different techniques such as structural geological mapping, geochronology and thermochronology (Ferreira and Caixeta, 2012) have addressed the tectonic and magmatic events in the basement and onshore rift basins of the northeastern Brazilian coast during the Albian-Turonian interval. Thermochronology studies showed heating/cooling events in onshore basins and adjacent basements in the interval 100-80 Ma (Morais Neto et al., 2009), yet that period is still described as drift phase, formed basically by thermal subsidence and without significant rifting. Such events can easily be correlated to reverse faults and harpoon structures observed in deep-water seismic sections throughout the NBRM (Ferreira and Caixeta, 2012), resulting from the tardi-break-up processes during Cenomanian-Turonian times. In the proximal margin, this period was also marked by reactivation and uplift of pre-existing hinge faults and footwalls across the whole NBRM. In addition, post-break-up tectonic reactivations primarily occurred during the Late Cretaceous and Cenozoic, as characterized by regional erosional

surfaces. Such tardi- or post-break-up reactivations reshaped the structural style of the NBRM resulting in: (i) uplift of Aptian rift section, (ii) development of inversion/flower structures (iii) broad proximal erosion of Albian carbonate platforms.

The JAC rifted margin forms the southernmost portion of the NBRM that had its tectonic evolution characterized by a polyphasic rifting stage lasting from the Neocomian to the Albian. The later rifting pulses in the Albian period were coeval with intense magmatism dated around 106 Ma in the Sergipe-Alagoas Basin, and correlates with 102-98 Ma volcanic rocks in the Pernambuco-Paraíba Basin (Ferreira and Caixeta, 2012). The Albian-Cenomanian magmatism increases northwards from the JAC rifted margin. To the north, the Sergipe-Alagoas Basin shows SDRs as dominant-features in the distal margin, while the Pernambuco-Paraíba Basin is characterized mainly by huge intrusive magmatic bodies. The JAC rifted margin represents just the southern piece of this complex tectonic puzzle that resulted in the northeastern Brazilian margin, but its study can lead to understanding of the entire tectonic history from the early rifting stages.

autor



Talles Souza Ferreira

Unidade de Operações de Exploração e
Produção da Bahia

Exploração

Avaliação de Blocos e Interpretação
Geológica e Geofísica

tallesferreira@petrobras.com.br

Talles Souza Ferreira é graduado em Geologia (2004) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), tendo em seguida ingressado na pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica na mesma universidade, onde trabalhou em projetos de pesquisa nas bacias de Potiguar, Sergipe-Alagoas e Tucano. Na Petrobras desde 2006, atuou como intérprete na avaliação de oportunidades exploratórias em bacias da margem nordeste do Brasil, especialmente na costa da Bahia, lotado na Gerência de Interpretação do Norte-Nordeste, no Rio de Janeiro-RJ. Ainda em 2006, formou-se especialista em Análise de Bacias pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ). Em 2010, obteve o título de mestre em Geodinâmica & Geofísica pela UFRN. Em 2013, foi nomeado consultor em Exploração, ainda no Rio de Janeiro. Exerce a função de gerente de Interpretação Geológica e Geofísica na Unidade de Operações da Bahia (UO-BA) em Salvador (BA) e, como especialista em tectônica de bacias, tem se dedicado a diversos projetos exploratórios e de pesquisa sobre as bacias do Nordeste brasileiro.