

EVIDÊNCIAS DA AÇÃO TECTÔNICA NOS SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS PRESENTES DO LITORAL DE SERGIPE E AO NORTE DA BAHIA

Carlos César Uchôa de Lima¹

RESUMO

No litoral do Nordeste do Brasil, a unidade estratigráfica denominada Barreiras é constituída de sedimentos de origem predominantemente continental. Várias pesquisas recentes baseadas em análise morfotectônica e no registro e medição de estruturas geológicas, tais como, juntas e falhas têm demonstrado que o tectonismo atingiu esse complexo sedimentar. Este trabalho apresenta evidências estruturais de um tectonismo atuante, tanto durante, como após a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras que afloram no litoral sul de Alagoas, toda costa de Sergipe e litoral Norte da Bahia. As centenas de estruturas rúpteis e dúcteis, observadas nos trabalhos de campo, demonstram uma relevante atividade sísmica, tanto durante, como após a deposição daqueles sedimentos. As estruturas dúcteis são representadas pelas estruturas de liquefação em conglomerados e estruturas de fluidificação na interface entre arenitos e lamitos, revelando um tectonismo concomitante com a deposição dos sedimentos. As dobras sinclinais e anticlinais observadas revelam uma deformação dúctil pós deposicional. As estruturas rúpteis são representadas por falhamentos normais e juntas tectônicas. A partir destas últimas foi feita uma análise preliminar dos esforços tectônicos que as originaram. Os resultados apontam para um esforço principal máximo na direção NW-SE.

Palavras chaves: Formação Barreiras; neotectonismo; deformação tectônica.

ABSTRACT

In the coast of the Northeast of Brazil, the Barreiras Formation is constituted predominantly by sediments of continental origin. Several recent researches based on morphotectonic analysis and measurement of geological structures, such as, neotectonic joints and faults emphasized that tectonic stress have deformed that sedimentary unit. This work presents structural aspects that evidence a tectonism action during and after the deposition of Barreiras Formation that outcrops in the south coast of Alagoas, the coast of the state of Sergipe and the north coast of Bahia. The hundreds of ruptile and ductile structures observed in the field works have demonstrated an important simultaneous and post-depositional seismic activity. The ductile structures are represented by the liquefaction in conglomerates and fluidized structures in the interface between sandstones and mudstones, revealing a concomitant tectonism with the deposition of the sediments. The sinclinal and anticlinal folds reveal a ductile deformation after the deposition. The ruptile structures are represented by gravity faults and tectonic joints. A preliminary tectonic stresses determination, based on coeval-joints attitude measurements, indicated that the neotectonic stress field presents a NW-SE maximum compression.

Keywords: Barreiras Formation; neotectonics; tectonic stress.

INTRODUÇÃO

A Formação Barreiras, cuja idade tem sido atribuída ao Mioceno (Arai 2006), é constituída de depósitos sedimentares de origem predominantemente continental (Bigarella 1975; Lima 2002), embora sedimentos de origem marinha, pertencentes a este grupo, tenham sido encontrados no litoral do Pará (Rossetti 2006). Seus depósitos afloram ao longo da costa brasileira, desde o Estado do Rio de Janeiro até o Estado do Amapá (Suguio e Nogueira 1999).

¹ Professor Titular da Área de Geociências-DEXA/Universidade Estadual de Feira de Santana.
uchoamaster@gmail.com

Com relação aos eventos tectônicos e sua associação com a Formação Barreiras, King (1956) é o primeiro a chamar a atenção, descrevendo-a como sendo uma espessa cobertura de argilas e areias pliocênicas que sofreria ao final do Terciário ou no Pleistoceno, esforços tectônicos, inclinando-a para o mar na direção ESE. A Formação Barreiras nos estados da Bahia e Sergipe evidenciaria ainda pequenas dobras e falhas com um a dois metros de deslocamento, frutos desses eventos tectônicos.

Ponte (1969) estudando a Bacia Sergipe/Alagoas, observou nas áreas onde afloram os sedimentos da Formação Barreiras, variações de espessura deste complexo sedimentar (espessamento nos baixos regionais e adelgaçamento sobre os altos estruturais), sugerindo que as estruturas delineadoras desses desníveis topográficos (falhas) estiveram ativas durante sua deposição, implicando assim, em tectonismo ativo no Terciário Superior. Além das observações na variação de espessura do Barreiras, a interrupção brusca dos extensos tabuleiros pelas falésias retilíneas ao longo da costa pode representar um soerguimento recente, que seria responsável pela formação das praias entre as falésias e a linha de costa atual.

Várias pesquisas recentes (Bezerra et al 2001, Nogueira et al. 2006) têm demonstrado que o tectonismo atingiu esse complexo sedimentar. Alguns desses estudos se baseiam na análise morfotectônica, como por exemplo, Lima & Vilas Boas (2004) e Lima et al. (2006a) que realizaram estudos da Formação Barreiras no litoral sul da Bahia. Outros trabalhos levam em conta o registro e medição de estruturas geológicas que indiquem a atuação tectônica em uma determinada área, tais como, juntas neotectônicas (Lima et al. 2006b, Coelho & Lima 2006).

Este trabalho tem por objetivo investigar aspectos estruturais que possam evidenciar um tectonismo atuante, tanto durante como após a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras.

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada (Fig. 1) abrange a região litorânea do extremo sul do Estado de Alagoas, todo o litoral de Sergipe e o litoral norte do Estado da Bahia.

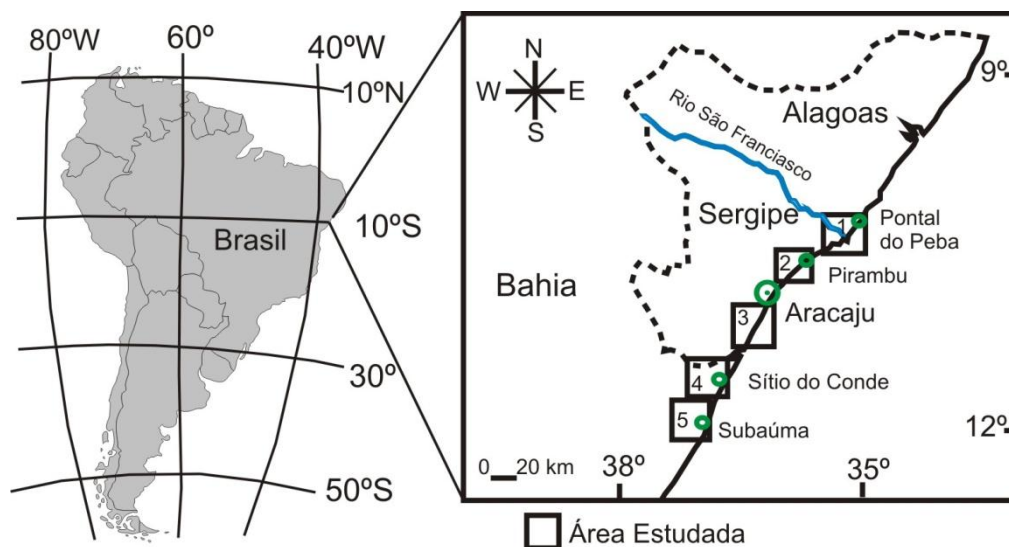


Figura 1 – Mapa de localização da área estudada, dividida em cinco segmentos.

Essa área engloba a planície costeira do rio São Francisco e áreas adjacentes do Estado de Alagoas e de Sergipe. A planície costeira do São Francisco é limitada, tanto ao norte, quanto ao sul, por dois lineamentos de direção NE-SW. A parte elevada dos blocos que limitam aquela planície costeira exhibe afloramentos da Formação Barreiras, enquanto a parte rebaixada é constituída, próximo aos altos estruturais do Barreiras, pelos sedimentos areno-cascalhosos do Pleistoceno (Lima & Barbosa 2003, Silva et al. 2004). Em direção ao sul, a Formação Barreiras aflora em muitos cortes de estrada, o que permitiu a observação e medição das estruturas presentes.

ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Em princípio foi feito um levantamento bibliográfico de documentos que abordassem o tema, principalmente aqueles relacionados ao neotectonismo na costa leste do Brasil. Estudos de campo foram desenvolvidos com o intuito de observar, descrever e interpretar as estruturas geológicas que indicassem a ação do tectonismo nos afloramentos da Formação Barreiras na área estudada. Foram desenvolvidos caminhamentos com bússola e GPS, ao longo da região visitada, onde vários afloramentos do Barreiras puderam ser observados. A partir dos dados coletados em campo, foi realizado um tratamento estatístico para as juntas neotectônicas presentes nos sedimentos da Formação Barreiras, utilizando o programa Stereonet.

A área de estudo foi subdividida nos seguintes trechos:

- (1) Planície Costeira do Rio São Francisco: Esse trecho é limitado por falhas de direção NE-SW, tanto ao norte, quanto ao sul da planície. Esses lineamentos marcam os contatos laterais entre a Formação Barreiras e os depósitos pleistocênicos, que são oriundos de uma remobilização dos sedimentos do Barreiras durante o Pleistoceno, onde o soerguimento dos blocos ocasionava sismos, registrados através de estruturas de liquefação presentes, principalmente, no limite norte da planície (Lima & Barbosa 2008).
- (2) Litoral Norte do Estado de Sergipe: Nesse trecho vários afloramentos do Barreiras foram estudados ao longo de cortes de estradas entre as cidades de Japaratuba e Pirambu.
- (3) Litoral Sul de Sergipe: Foram realizadas, entre a cidade de Estância e a divisa entre os estados de Sergipe e Bahia, várias observações e medição das estruturas geológicas que indicam a ação tectônica nos afloramentos da Formação Barreiras.
- (4) Extremo Norte do Litoral da Bahia: Esse trecho vai desde o limite entre os estados da Bahia e Sergipe, até a cidade do Conde no Estado da Bahia.
- (5) Litoral Norte da Bahia: trecho que vai da cidade do Conde, até Subáuma.

A FORMAÇÃO BARREIRAS E O (NEO)TECTONISMO

A partir do trabalho de Hasui (1990), que sugere uma tectônica ativa a partir do Mioceno Médio, que atividades tectônicas têm sido consideradas como mais um elemento na configuração de

muitas paisagens, em particular, na região costeira do Brasil. Vários pesquisadores (Bezerra & Vita-Finzi 2000, Bezerra et al. 2001, Lima 2002) têm abordado a questão da neotectônica como um dos responsáveis pela origem e modelamento de paisagens desenvolvidas do Pleistoceno ao recente. Muitos desses estudos foram realizados a partir de estruturas presentes nos sedimentos da Formação Barreiras que, segundo Lima (2000), é um complexo sedimentar que apresenta um relevante significado tectônico.

ESTRUTURAS OBSERVADAS

Estruturas Dúcteis

Estruturas de liquefação em conglomerados

Nessa classe figuram as estruturas de liquefação, muito comuns nos conglomerados da Formação Barreiras que afloram mais comumente no sul do Estado de Alagoas e norte de Sergipe (Fig. 2). Essas estruturas possuem tamanhos que variam de alguns decímetros até pouco mais que um metro e são originadas após a deposição dos sedimentos e antes de sua compactação, sendo, por isso mesmo, consideradas como tardi-deposicionais. As estruturas de liquefação, isoladamente, poderiam representar instabilidades gravitacionais sem qualquer contribuição tectônica. No entanto a frequência e a dimensão das estruturas, permitem caracterizá-las como sismitos (Bezerra et al. 2005, Obermeyer et al. 2005).

Algumas dessas feições foram observadas em outros afloramentos estudados, tanto nos estados de Sergipe, como na Bahia. Porém, a quantidade maior ocorre nos afloramentos do sul de Alagoas. Nessa mesma região, os depósitos areno-cascalhosos que datam do Pleistoceno, também possuem abundantes estruturas de liquefação em conglomerados (Lima & Barbosa 2003), e diferente da proposição de Obermeyer (2005), nenhuma camada argilosa foi observada na superfície.

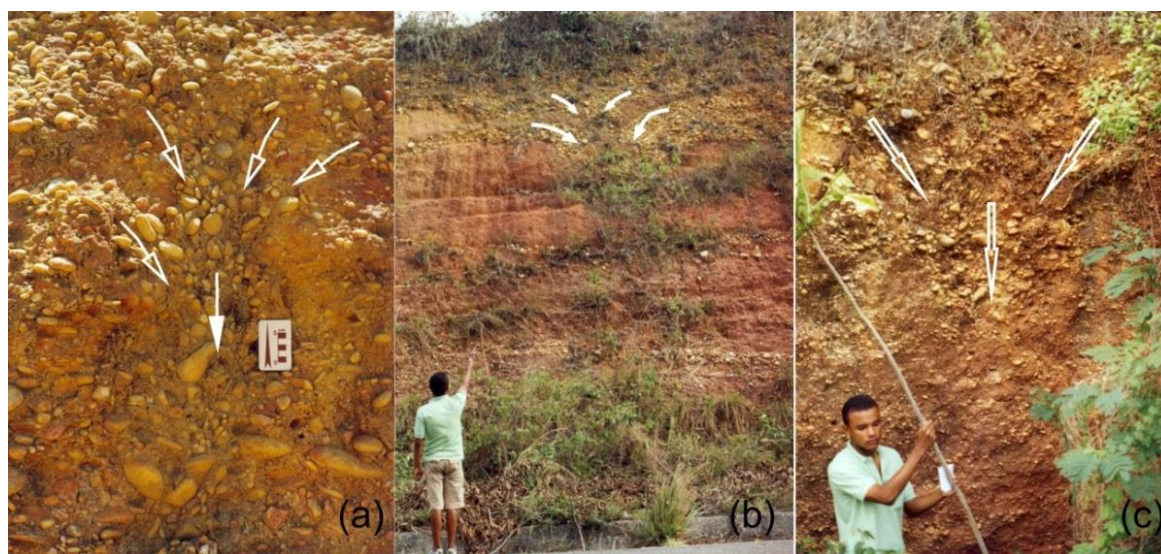


Figura 2 – Estruturas de Liquefação em conglomerados, observados no sul de Alagoas (a) e norte de Sergipe (b) e (c). Essas estruturas são consideradas como resultantes de atividades sísmicas sendo denominadas de sismitos.

Estruturas de fluidificação nos arenitos/lamitos

Outras estruturas dúcteis correspondem às fluidificações que ocorrem entre camadas de arenito e argilito, atingindo mais que dois metros de espessura (Fig. 3) e que foram observadas em vários locais, principalmente no litoral sul do Estado de Sergipe. Lateralmente o conjunto de estruturas de fluidificação pode atingir algumas dezenas de metros. Onde conglomerados estão presentes, pode ocorrer uma associação entre as estruturas de fluidificação nos sedimentos mais finos e as estruturas de deformação nos conglomerados descritos anteriormente. Outras associações observadas a essas estruturas são as falhas sin-deposicionais.



Figura 3 – Estrutura de fluidificação em camadas arenosas e argilosas. As camadas de arenito tendem a subir formando estruturas em chamas com até dois metros de espessura, já os lamitos afundaram nos arenitos.

Dobras

Estruturas sinformes e antiformes foram observadas, tanto no litoral sul do Estado de Sergipe, quanto no extremo norte da Bahia, indicando uma intensa atuação tectônica naquelas regiões. As dobras observadas em Sergipe (Fig. 4) são abertas, aparecendo em uma sequência de dois anticlinais e dois sinclinais, com eixos distando cerca de vinte metros. Já as dobras observadas no extremo norte do

litoral baiano (Fig. 5) são mais fechados, com flancos mais inclinados e dimensões semelhantes às dobras observadas em Sergipe.



Figura 4 – Sucessão de dois sinclinais e dois anticlinais observados no sul do estado de Sergipe. Estratigraficamente, as camadas dobradas estão logo abaixo das estruturas de fluidificação mostradas na Figura 3.



Figura 5 – Sequência de um anticlinal e um sinclinal no extremo norte da Bahia.

Estruturas Rúpteis

Falhamentos

As falhas geológicas observadas foram encontradas nos estados de Sergipe (Figuras 6 e 7) e Bahia (Figura 8). Em Sergipe foi encontrado um *horst* com falhas normais espaçadas em cerca de trinta metros delimitando-o. Os rejeitos variaram de pouco mais que um metro a cerca de dois metros e planos de falha com ângulo variando de baixo a sub-vertical. As sucessivas viagens de campo demonstraram que os planos de falhas em sedimentos friáveis, não são preservados por muito tempo (Figura 7). Por isso, algumas das falhas encontradas em uma viagem, poderiam não mais ser observadas na viagem seguinte. As principais modificações são os desmoronamentos e a película de

lama que corre pela face das encostas encobrendo as estruturas e, muitas vezes, preenchendo os planos de falha, mascarando-os.



Figura 6 – Duas falhas normais separadas por cerca de trinta metros, formando um pequeno *horst* no sul de Sergipe.



Figura 7 – As fotos acima mostram as mesmas falhas mostradas na figura 6, cerca de um anos após o corte da encosta. Observe que uma das falhas, teve seu plano melhor definido pelos processos erosivos, enquanto que na outra falha, o plano da mesma foi completamente destruído.

Juntas tectônicas

As juntas tectônicas (Fig. 8) aparecem em todas as áreas visitadas. De um modo geral, as juntas formam sistemas conjugados (*cross cutting*) e possuem continuidade que varia de alguns decímetros a vários metros. Vale ressaltar, que as juntas observadas, possuem caráter pós-deposicional, já que as mesmas cortam diferentes camadas sem alterar as estruturas sedimentares primárias, ou seja, as juntas não estão associadas a estruturas de deformação sin-deposicionais, tais como, estruturas de liquefação.

As juntas constituem zonas de fraqueza nos afloramentos do Barreiras e, o sistema *cross cutting* faz com que os blocos, que se originem de desmoronamentos possuam faces triangulares ou em forma de losango.



Figura 7 – Falha normal com baixo ângulo, no extremo norte da região costeira da Bahia.

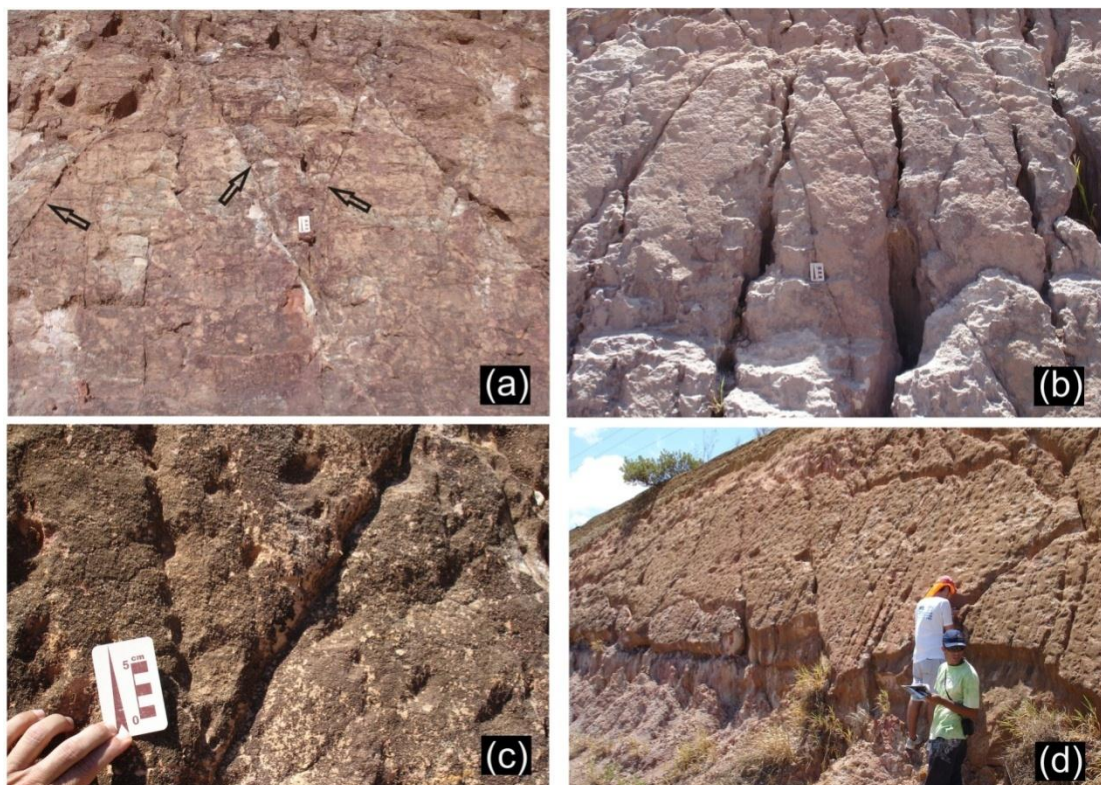


Figura 8 – Juntas tectônicas observadas no extremo norte da Bahia (a) e (b), e Sergipe (c) e (d). A Figura 8b mostra que um dos planos das juntas serve de conduto para escoamento da água da chuva, provocando ravinamento, o que, muitas vezes, dificulta a tomada de medidas. Já o outro plano permanece bem preservado.

Por outro lado, no litoral sul de Alagoas e extremo norte de Sergipe (área 1), o Barreiras aflora em cortes de estrada, adjacentes aos sedimentos do Pleistoceno e Holoceno. Nesses locais, o sistema conjugado não é evidente e as juntas aparecem com espaçamento na ordem de alguns decímetros e possuem ângulos próximos da vertical. Nesse caso, algumas faces das encostas desmoronam em formato planar, paralelo às orientações das juntas presentes nessas regiões.

Em muitos afloramentos as juntas estão bastante alteradas, não permitindo que medidas sejam efetuadas para análise estatística. Mesmo assim, para que se pudesse perceber a tendência geral de esforços que atingiram a região durante a formação das juntas, foi feita uma plotagem em rede estereográfica com o intuito de se obter, em caráter preliminar, o campo de tensões para as quatro áreas visitadas (Fig. 9).

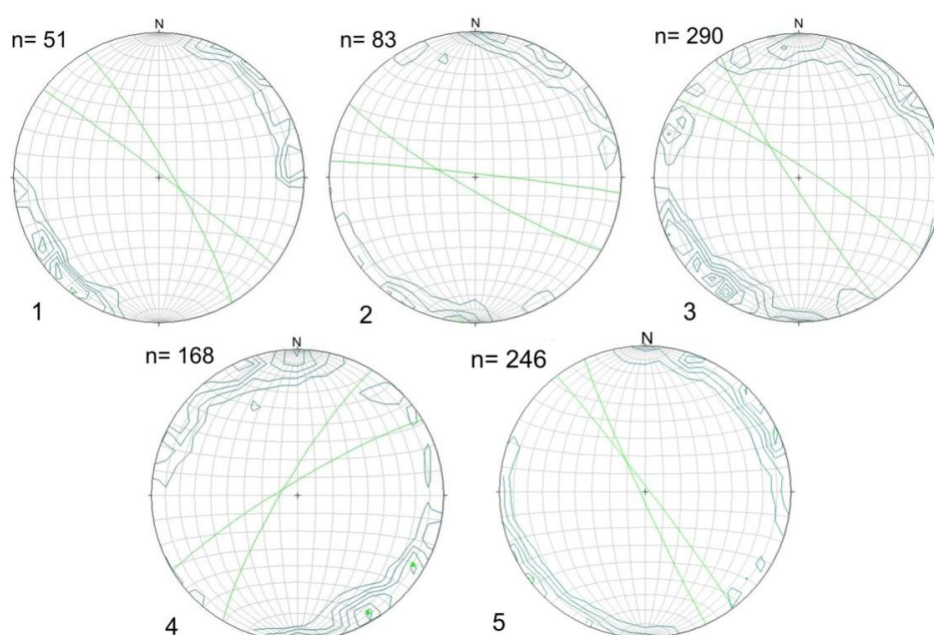


Figura 9 – Sistemas conjugados de juntas tectônicas para as cinco áreas estudadas. A análise feita, aponta para um predomínio do esforço principal máximo (sigma 1) na direção NW-SE (áreas 1, 2, 3 e 5), embora, para o extremo norte do litoral baiano, sigma 1 possua direção NE-SW.

DISCUSSÃO

Várias são as evidências de ação tectônica nos sedimentos da Formação Barreiras, entre o litoral sul de Alagoas e norte da Bahia. As estruturas de liquefação nos conglomerados e na interface entre arenitos e lamitos e, as falhas com pequeno rejeito afetando camadas específicas são evidências de um tectonismo atuante, durante a deposição dos sedimentos que compõem a Formação Barreiras.

Estruturas de liquefação em cascalhos, semelhantes às encontradas na área de estudo do presente trabalho, foram observadas e extensivamente estudadas em depósitos pleistocênicos do Rio Grande do Norte e Ceará, por Bezerra et al. (2005). Essas feições, também foram observadas por Lima e Barbosa (2008) e Silva et al (2004) em depósitos cascalhosos do Pleistoceno, na Planície Costeira do Rio São Francisco, sul de Alagoas, que as interpretaram como sendo resultantes de movimentação

sísmica durante o Pleistoceno. Segundo Bezerra et al (2005), as estruturas de liquefação em conglomerados evidenciariam a ação da sismicidade, corroborando com a interpretação de um tectonismo ativo, durante os processos de deposição dos sedimentos que compõem a Formação Barreiras na região.

A documentação de falhas e, principalmente, dobras no Barreiras é muito escassa e, apesar de King (1956) ter chamado a atenção para a sua existência, a observação dessas estruturas não tem sido bem documentada. Na área de estudo do presente trabalho, algumas dobras estão estratigraficamente inferiores, porém, muito próximos das falhas sin-deposicionais observadas. Isto, a princípio, pode representar que os esforços tectônicos responsáveis pela deformação das camadas, pode ter ocorrido, durante a deposição dos sedimentos pertencentes às unidades superiores do Barreiras. Desta forma, o tectonismo estaria atuando, provocando os dobramentos nas unidades inferiores e, ao mesmo tempo, os sismos originariam as falhas sin-deposicionais e estruturas de fluidificação observadas nas camadas superiores.

Com relação às juntas presentes na área estudada, o fato de não estarem associadas às deformações das camadas, leva a interpretá-las como possuindo um caráter pós deposicional. As análises estatísticas, ainda preliminares, mostram um esforço principal máximo (σ_1) com direcionamento predominante NW-SE, para as áreas 1, 2, 3 e 5, concordando com as informações obtidas por Lima et al. (2006b) no litoral sul da Bahia. Na área 4 (norte da Bahia), o esforço principal máximo possui direcionamento NE-SW. Riccomini & Assumpção (1999) fizeram uma compilação de vários dados do esforço principal máximo, para áreas do território brasileiro e mostram que essas variações podem ocorrer mesmo em áreas relativamente próximas. Apesar dessas diferenças na orientação dos esforços, pode-se estabelecer um *trend* preferencial para uma região estudada. Estudos adicionais serão necessários, para entender como áreas vizinhas podem apresentar resultados tão distintos.

CONCLUSÕES

As centenas de estruturas rúpteis e dúcteis observadas nos depósitos da Formação Barreiras na área estudada, demonstram uma relevante atividade sísmica, tanto durante, como após a deposição daqueles sedimentos. Como registros das atividades concomitantes com a deposição do Barreiras, estão das estruturas de liquefação (sismitos) em muitas camadas de conglomerados; as estruturas de fluidificação de ordem métrica, que aparecem na interface entre os arenitos; e falhas e dobras associadas a essas estruturas. A presença dos sismitos indicam que o tectonismo atuou durante todo o período de deposição do Barreiras, reforçando o significado tectônico desta Formação propagada por Hasui (1990) e Lima (2000).

Representando as estruturas pós-deposicionais, estão as juntas neotectônicas. Para a Formação Barreiras, a presença de um sistema de juntas evidencia que, posterior à deposição daquele complexo

sedimentar, houve a atuação de esforços tectônicos. As medidas preliminares apontam para um esforço principal máximo (σ_1), cuja direção é NW-SE. Além disso, é possível que alguns dobramentos e falhas, possam ter se originado após a deposição dos sedimentos que constituem a Formação Barreiras.

REFERÊNCIAS

- ARAI, M. 2006. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia-USP Ser.Cient. São Paulo* (6)2:1-6.
- BEZERRA, F.H.R. & VITA-FINZI, C. 2000. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*. (28)7: 591-594.
- BEZERRA, F.H.R., AMARO, V.E., VITA-FINZI, C., SAADI, A. 2001. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 14: 61-75.
- BEZERRA, F.H.R., FONSECA, V.P., VITA-FINZI, C., LIMA-FILHO, F.P. & SAADI, A. 2005. Liquefaction-induced structures in Quaternary alluvial gravels and gravelly sediments. *Engineering Geology*, 76:191-208.
- BIGARELLA, J.J. 1975. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. *Anais da Acad. Bras. Ciências (Suplemento)*, 47: 365-393.
- COELHO, M.G.A. & LIMA, C.C.U. 2006. Análise tectônica preliminar do Grupo Barreiras no litoral norte do estado de Sergipe. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6: 1-7.
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: SBG/MG. Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro, Belo Horizonte. *Boletim* 1:1-31.
- KING, Lester C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geogr.*, 2: 147-265.
- LIMA, C.C.U. 2000. O Neotectonismo na costa do Sudeste e do Nordeste brasileiro. *Revista de Ciência & Tecnologia.UNIMEP*, 15: 91-101.
- LIMA, C.C.U. 2002. Caracterização Sedimentológica e aspectos neotectônicos do Grupo Barreiras no Litoral Sul do estado da Bahia. Tese de Doutorado, UFBA. 141p.
- LIMA, C.C.U. & BARBOSA, L.M. 2003. O neotectonismo e a origem dos depósitos pleistocênicos na planície costeira do rio São Francisco. In: Congresso da ABEQUA, 9, Recife. Anais.
- LIMA, C.C.U. & VILAS BOAS, G.S. 2004. Morphotectonic analysis in the Barreiras Group, south coast of state of Bahia, based on the square over radar image approach. *Revista Ciência e Natura*, Edição Especial: 101-115.
- LIMA, C.C.U. & BARBOSA, L.M. 2008. O Neotectonismo e a origem da Planície Costeira do Rio São Francisco. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7: 1-10.

- LIMA, C.C.U., VILAS BOAS, G.S., SILVA, A.B. 2006a. Tectonic modeling in the Barreiras Group, south coast of the state of Bahia, Brazil, based on hypsometric digital map. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6: 1-9.
- LIMA, C.C.U.; VILAS BOAS, G.S.; BEZERRA, F.H.R. 2006b. Faciologia e análise tectônica preliminar da Formação Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia, Brasil. *Geologia-USP Ser.Cient. São Paulo*, (6)2: 71-80.
- NOGUEIRA, F.C.C., BEZERRA, F.H.R., CASTRO, D.L. 2006. Deformação rúptil em depósitos da Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. *Geologia-USP Ser.Cient. São Paulo*, (6)2, p. 51-59.
- OBERMEIER, S.F., OLSON, S.M., GREEN, R.A. 2005. Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking. *Eng. Geol.* 76: 209-234.
- PONTE, F.C. 1969. Estudo Morfo-estrutural da Bacia Sergipe-Alagoas. *Bol. Tec. Petrob.*, 12: 439-474.
- RICCOMINI, C. & ASSUMPÇÃO, M. Quaternary Tectonics in Brazil. 1999. *Episodes*, (22)3: 221-225.
- ROSSETTI, D.F. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Geologia-USP Ser.Cient. São Paulo*, (6)2: 7-18.
- SILVA, C.L.F.; LIMA, C.C.U.; BARBOSA, L.M. 2004. Os depósitos pleistocênicos e a neotectônica na planície costeira do rio São Francisco. In: V Simp. Nac. de Geomorfologia – I Enc. Sul-Am. De Geomorfologia, Anais: 1-14.
- SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. 1999. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. *Geociências*, São Paulo, (18)2: 439-460.