

EVIDÊNCIAS NEOTECTÔNICAS EM DEPÓSITOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA BACIA PARAÍBA

*Franklyn Macedo de Souza*¹; *Francisco César Costa Nogueira*²

RESUMO - A Formação Barreiras, de idade miocênica, é fortemente deformada por falhas e pode ser considerado um importante indicador de deformação neotectônica, em bacias sedimentares costeiras do nordeste do Brasil. O estudo da deformação atuante nesta formação é importante para o entendimento do efeito neotectônico na deformação das unidades cretáceas e cenozoicas, preenchendo a Bacia Paraíba, assim como as possíveis reativações neotectônicas de zonas de falhas do embasamento. A Bacia Paraíba é controlada por falhas de direção NE-SW, com rejeito máximo de 70 m, possivelmente associadas a processos de reativação. As evidências morfotectônicas quando correlacionadas a perfis geológicos revelam a existência de zonas de cisalhamento no embasamento com mesma orientação aos grandes vales controlados por falhas na bacia, assim como a continuidade em profundidade destas falhas em direção ao embasamento. Tais evidências mostram indícios do controle na formação e evolução de estruturas neotectônicas na Bacia Paraíba associadas a processos de reativações de estruturas no embasamento.

Palavras-chave: Formação Barreiras; reativação de falhas; deformação rúptil.

NEOTECTONIC EVIDENCE IN DEPOSITS OF BARREIRAS FORMATION IN THE PARAÍBA BASIN

ABSTRACT – The Barreiras Formation, Miocene aged, is strongly deformed by faults that might be considered an important indicator of neotectonic deformation in sedimentary basins of the coastal northeastern Brazil. The study of the active strain in this formation is important for understanding the neotectonic deformation effect on the Cretaceous and Cenozoic units of the Paraíba Basin, as well as possible neotectonic reactivation of basement fault zones. The Paraíba Basin is controlled by faults in the NE-SW, with maximum fault offset 70 m, possibly associated with reactivation processes. Evidence morphotectonic when correlated with borehole reveal the existence of shear zones in the basement with the same orientation to the major fault-controlled valleys in the basin, as well as continuity in depth these faults into the basement. Such evidence suggests control in the formation and evolution of neotectonic structures in the Paraíba Basin, associated with processes of reactivation of structures in the basement.

Keywords: Barreiras Formation; fault reactivation, brittle deformation.

¹Aluno Mestrando em Exploração Petrolífera e Mineral, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, UAMG/CCT/UFCG. E-mail: franklyn.msouza@gmail.com

²Professor adjunto III, D.Sc, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, UAEM/CCT/UFCG. E-mail: frcezar@dem.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

A Bacia Paraíba (Figura 1) é considerada uma típica bacia de margem passiva. Durante o Cenozóico ocorreu a deposição de uma sequência continental siliciclástica denominada de Formação Barreiras, que bordejia particularmente a costa atual. Ao longo da evolução pós-rifte, tal bacia foi palco de vários eventos tectônicos propulsores da instalação de estruturas rúpteis que deformaram todas as sequências sedimentares.

Alguns autores relatam a atuação de tensores neotectônicos na deformação de rochas sedimentares pertencentes à Formação Barreiras, ao longo do litoral nordeste do Brasil (Barreto *et al.*, 2002; Bezerra *et al.*, 1998; Bezerra *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2006; Nogueira, 2008; Sousa *et al.*, 2008; Bezerra *et al.*, 2011). Na porção leste da Bacia Potiguar, esta deformação rúptil neogênica, que deforma depósitos desta formação, é marcada por falhas com direções NE-SW, E-W e NW-SE, caracterizadas por movimentos transcorrentes e normais (Bezerra e Vita-Finzi, 2000). Estas falhas foram condicionadas a dois eventos tectônicos transcorrentes, sendo o primeiro N-S e o segundo E-W (Nogueira *et al.*, 2006). Segundo trabalhos anteriores (e.g., Souza *et al.*, 2005), o evento N-S possui características sin-sedimentares, com idade variando do Paleoceno ao Mioceno e o E-W associado ao estágio pós-sedimentação, apresenta idade que varia do Mioceno ao Holoceno. Todos estes autores atribuíram a gênese e evolução destas estruturas neotectônicas à reativação de zonas de cisalhamento pré-cambrianas.

Embora existam trabalhos que descrevam as estruturas tectônicas atuantes nas rochas da Formação Barreiras na faixa litorânea do nordeste brasileiro, a região, que está inserida no contexto geológico da Bacia Paraíba, ainda carece de estudos neotectônicos mais apurados. Tais estudos devem envolver uma maior quantidade de dados geológicos, geomorfológicos e geofísicos. A região proposta para o presente estudo envolve as sub-bacias de Alhandra e Miriri na Bacia Paraíba, e uma pequena porção na sub-bacia Canguaretama, na Bacia Potiguar (Figura 1). O acervo dos dados de poços, associados com a aquisição de novos dados nesta área de estudo permitirá a obtenção de novas correlações, essenciais para o entendimento das estruturas tectônicas que deformam depósitos neógenos-quadernários. Tal estudo poderá ser correlacionado ao longo das bacias costeiras, para o conhecimento da deformação cenozóica, que deforma os reservatórios petrolíferos e de águas subterrâneas.

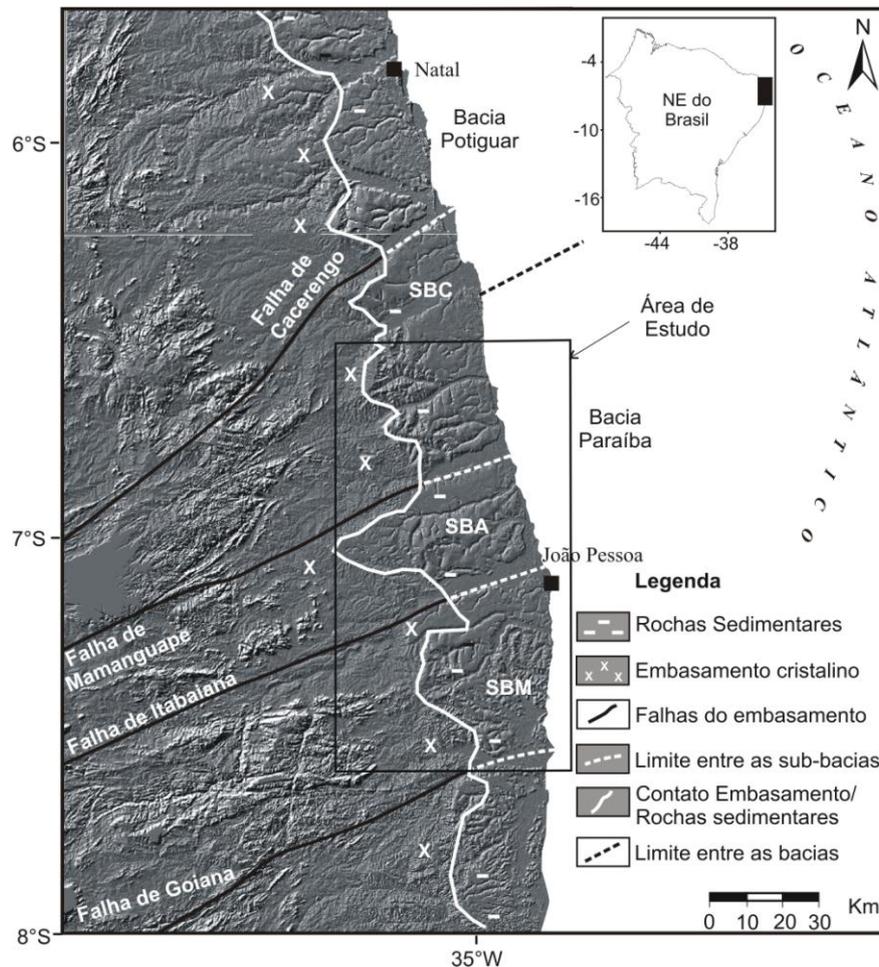


Figura 1- Localização da área de estudo, com indicação do contato do embasamento com as rochas sedimentares. A área de estudo é composta pelas sub-bacias de Alhandra (SBA) e Miriri (SBM), na Baía Paraíba e parte da sub-bacia de Canguaretama (SBC) na Baía Potiguar.

METODOLOGIA

Na etapa inicial de trabalho foi elaborado um levantamento bibliográfico acerca dos trabalhos realizados na Baía Paraíba (e.g. Asmus e Carvalho, 1978; Alheiros e Lima Filho, 1991; Silva, 2006), juntamente com a elaboração do mapa geológico da área de estudo (Figura 2). Tal mapa foi confeccionado a partir da compilação de trabalhos prévios (Bezerra, 1998; Barbosa, 2004; Lima Filho, 2005; Nogueira *et al.*, 2006), integrados a interpretação de imagens LANDSAT ETM⁺.

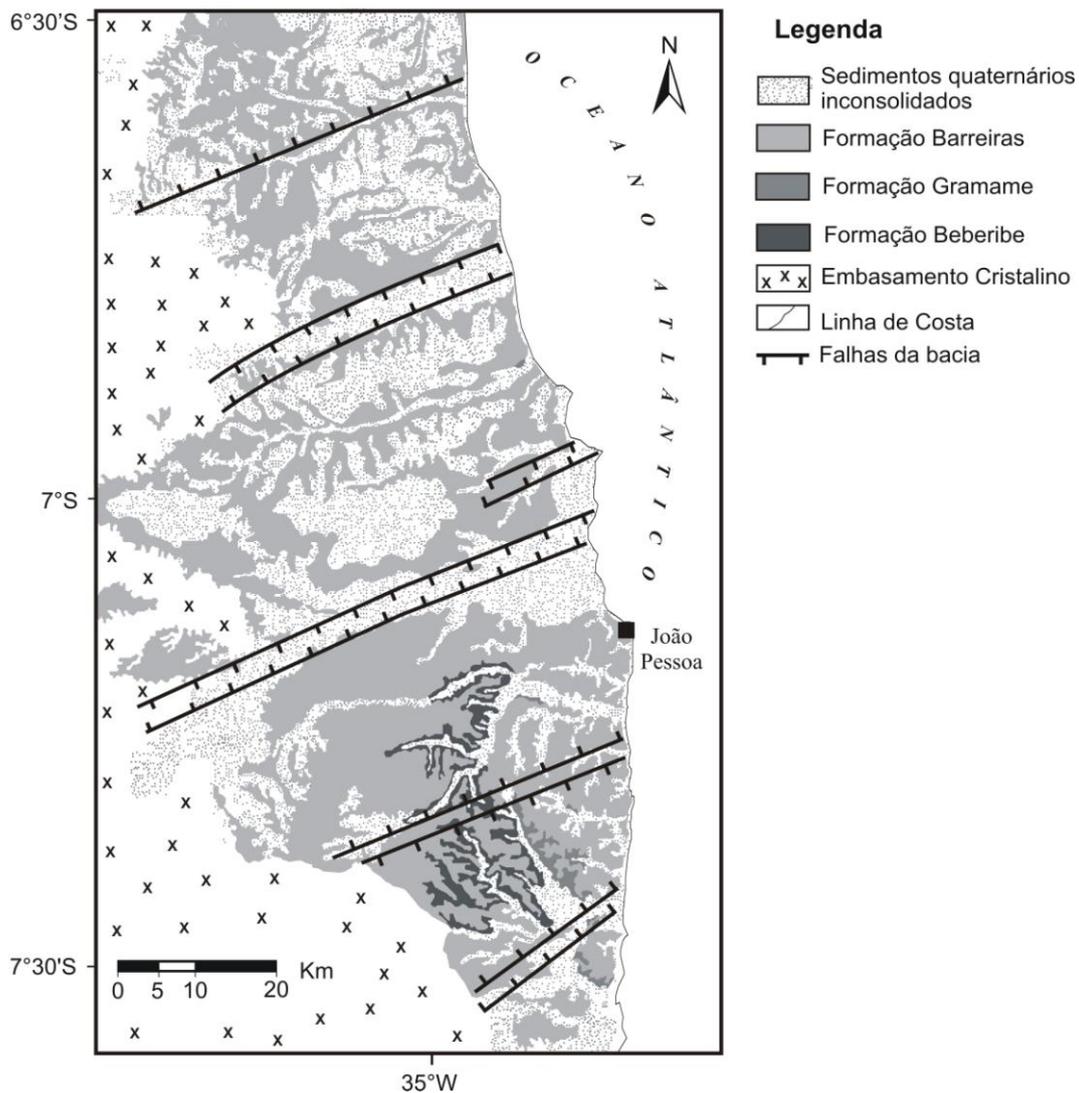


Figura 2- Mapa geológico da Bacia Paraíba, com as principais zonas de cisalhamento deformando o embasamento cristalino e as falhas interpretadas para sub-bacias na área de estudo.

Na etapa do processamento digital de imagens foram utilizados imagens de SRTM. Essas imagens oferecem uma precisão vertical de 16m, tendo como referencial o geóide WGS84 EGM96. O tratamento realizado em tais imagens permitiu realçar as estruturas tectônicas que deformam as rochas sedimentares e do embasamento, através do sombreado artificial (Figura 3). Este tratamento visa identificar a expressão em superfície de falhas representadas pelo relevo escarpado e os padrões de drenagens. Estas imagens também permitiram a extração de cotas altimétricas, utilizadas na confecção de perfis geológicos, assim como mapas de isópacas e de contorno estrutural para a base da Formação Barreiras.

Posteriormente, foi realizado o levantamento dos dados de poços para água subterrânea, objetivando a confecção de perfis geológicos (Figura 4) e dos mapas de isópacas e de contorno estrutural para a Formação Barreiras (Figura 5a e 5b). Os dados de poços foram adquiridos por meio de cooperação de empresas privadas e instituições públicas, representadas pela Companhia e Desenvolvimento de Recursos Naturais da Paraíba (CDRM), Hidrotec e a Companhia de pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), através dos Projetos Fosfato e Miriri. O conjunto de dados reunido nesta pesquisa corresponde a um acervo de 5.261 poços, porém somente 549 poços (Figura 3) foram utilizados na confecção de perfis geológicos e mapas de isópacas e contorno estrutural para a base da Formação Barreiras. Os poços utilizados nesta pesquisa obedeceram aos seguintes critérios: atingir a base da Formação Barreiras ou unidades subjacentes (arenito calcífero, calcário ou rochas do embasamento pré-cambriano), possuir coordenadas geográficas e estar localizado dentro da área de estudo.

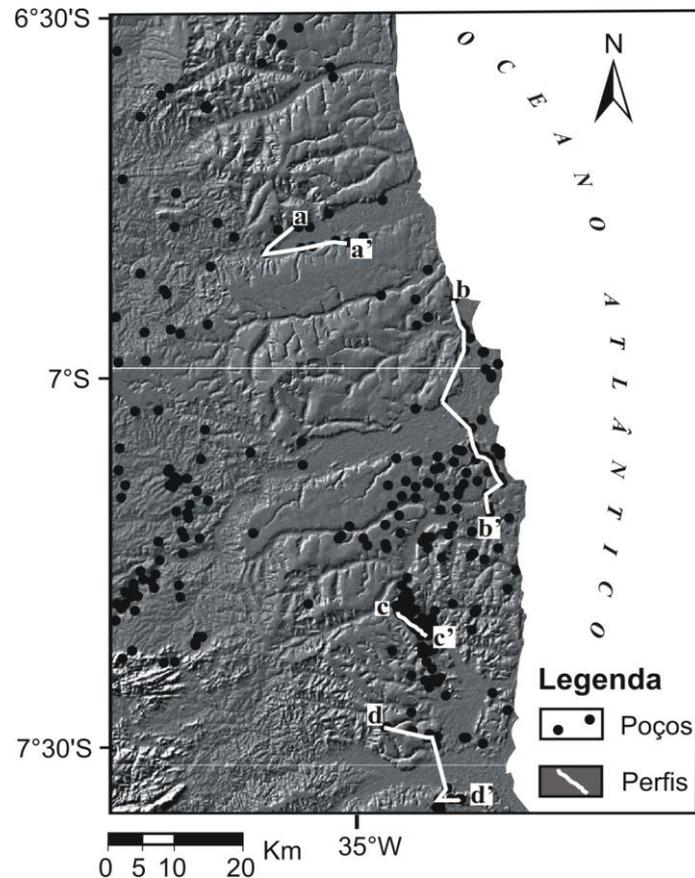


Figura 3 - Modelo digital de elevação para a área de estudo, com indicação dos perfis geológicos e distribuição dos poços na área de estudo. As linhas em branco indicam a localização dos perfis geológicos.

A descrição litológica dos perfis de poços de água subterrânea permitiu a geração de quatro perfis geológicos (Figura 4), orientados perpendicularmente aos grandes vales incisos drenados por sobre a área de estudo. Para a confecção do mapa de isópacas (Figura 5a) foi utilizado um acervo contendo valores de espessuras das camadas da formação, obtidos através da descrição dos perfis litológicos obtidos para a área de estudo. No mapa de contorno estrutural (Figura 5b) foi considerado os valores de cota altimétrica para o contato basal entre a Formação Barreiras e as unidades subjacentes, representadas pelo arenito calcífero e embasamento cristalino, calculado pela seguinte formulação:

$$AFB = AP - EFB$$

Onde AFB representa o valor da cota altimétrica para a base da Formação Barreiras, AP corresponde a cota altimétrica do ponto onde o poço está situado e EFB é a espessura da Formação Barreiras no poço. Com a obtenção dos valores da cota altimétrica para a base da formação em cada poço, estes valores foram submetidos a testes empíricos na escolha do método de interpolação a ser utilizado, sendo considerado a Krigagem, que é definido como método de regressão usado para interpolar ou aproximar dados, que melhor se ajustou aos interesses da pesquisa.

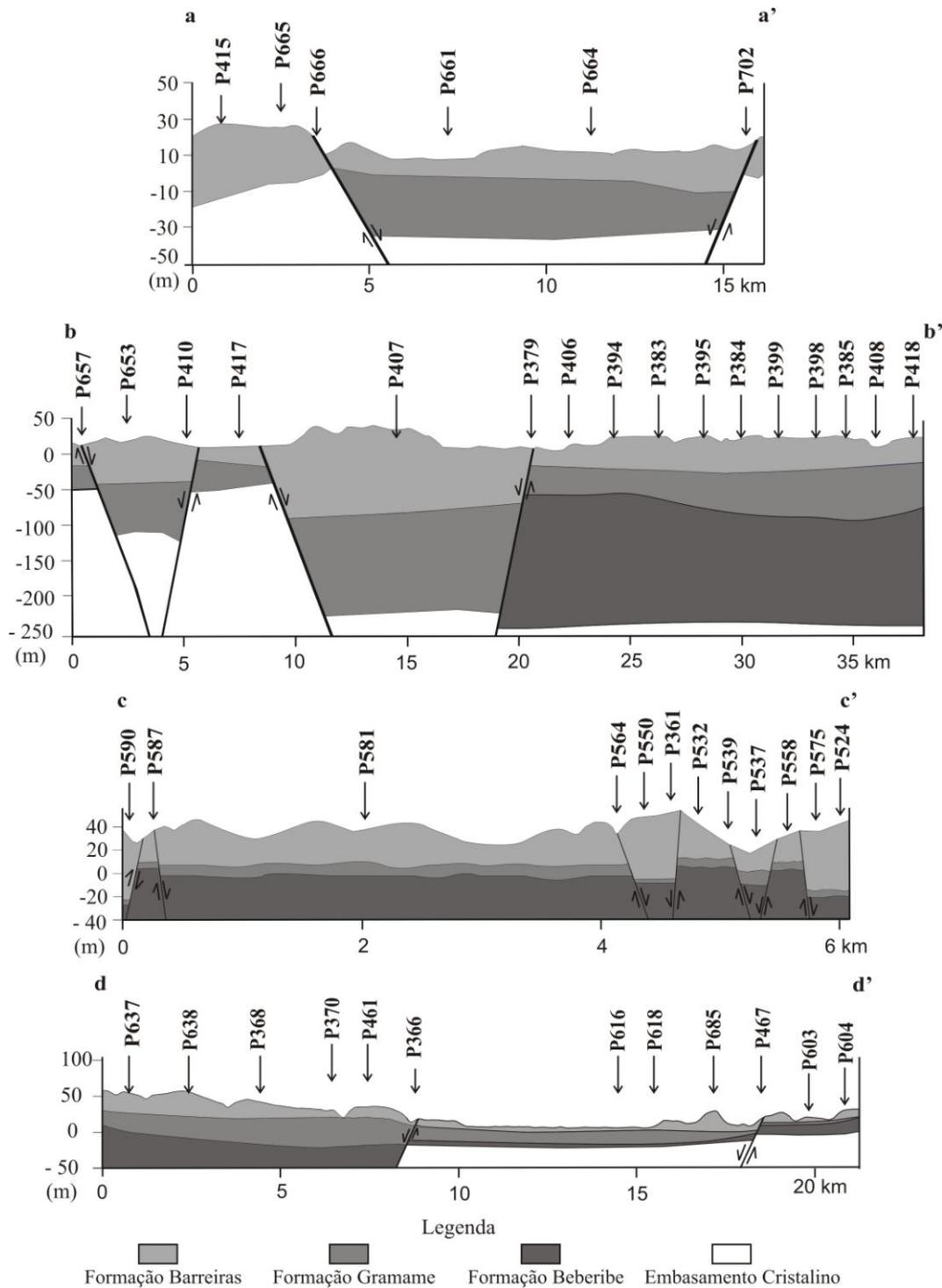


Figura 4 - Perfis geológicos realizados na área de estudo, com base em dados de poços reunidos no acervo de dados da área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise morfotectônica, através das imagens SRTM, permitiu identificar os principais lineamentos presentes na área, extraídos através do relevo controlado por escarpas de falha e padrão de drenagem. Estas estruturas revelaram *trend* NE-SW, iniciadas no embasamento, com fortes indícios de propagação em direção ao interior das sub-bacias na área de estudo, através da correlação entre estes lineamentos e a direção de grandes vales, cuja drenagem é controlada por falhas. A principal evidência em superfície dessas estruturas tectônicas que afetam as rochas sedimentares da Formação Barreiras é representada pela deformação rúptil e dúctil impressas principalmente nas falésias ao longo do litoral paraibano (Figura 6).

Ambos os regimes deformacionais foram gerados em níveis cristais semelhantes, entretanto o comportamento reológico dos materiais presentes nas fácies sedimentares da formação, arenitos inconsolidados e argilitos, afetados pela presença de fluidos, foi o que condicionou a atuação do regime deformacional afetando esta unidade. Os perfis geológicos (Figura 4) confeccionados para a área de estudo mostraram a presença de falhas normais deslocando a Formação Barreiras com rejeito máximo igual a 70 m, com assinaturas de *grabens* e *horsts* controlando esta estruturação. Em alguns perfis (perfil d-d' na Figura 4) estas estruturas atravessam todas as seqüências cretáceas e cenozóicas da Bacia Paraíba, e deslocam com a mesma cinemática distensional, orientação e rejeito, as rochas do embasamento. No perfil b-b' (Figura 4) é possível observar a variação de espessura das rochas carbonáticas da Formação Gramame, podendo tal variação de espessura indicar uma componente de falha transcorrente associada ao sistema distensional principal.

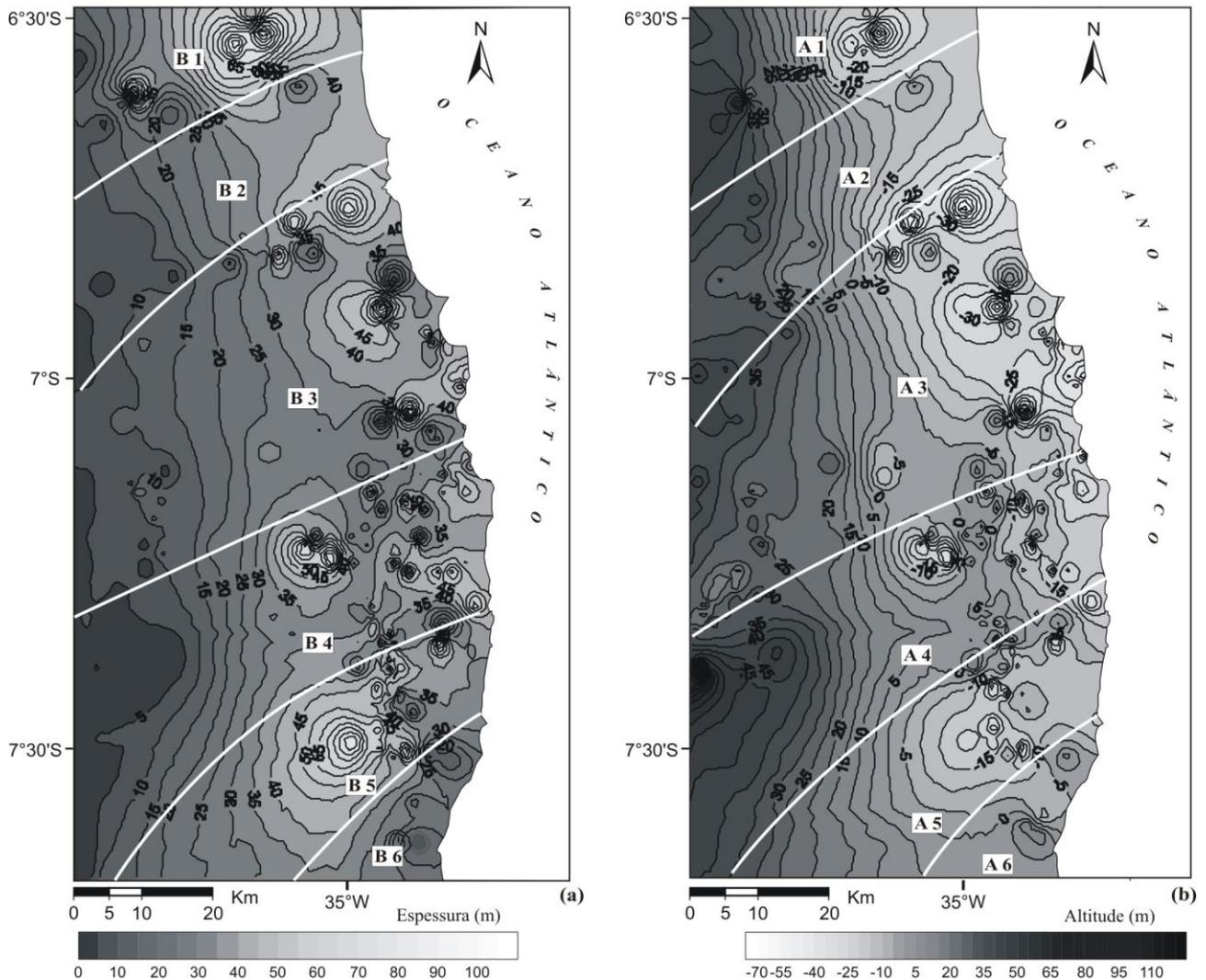


Figura 5 - Mapas de isópacas (a) e contorno estrutural para a base da Formação Barreiras (b), com a interpretação dos principais blocos tectônicos.

No mapa de isópacas da Formação Barreiras (Figura 5a) foram individualizados 6 blocos estruturais (B1 a B6), que estão limitados por grandes zonas de falha orientadas segundo a direção NE-SW. Os blocos B1, B3 e B5 foram interpretados como estruturas do tipo *graben*, e por esse motivo apresentam as regiões de maior espessura na área de estudo, coincidindo com as áreas de maior profundidade no mapa de contorno estrutural para a base da Formação Barreiras. Destes blocos interpretados como estruturas do tipo *grabens*, o bloco B1 apresenta a maior profundidade média observada na área de estudo. Nos blocos B2 e B4 o pacote sedimentar pertencente à Formação Barreiras apresenta-se espesso, no entanto a sua base encontra-se em altitudes elevadas. No bloco B6 a Formação Barreiras encontra-se menos espessa, revelando uma assinatura interpretada como uma estrutura do tipo *Horst*.

No mapa de contorno estrutural (Figura 5b) da base da Formação Barreiras é possível evidenciar as diferenças de cota de até 70 m entre os pontos máximos e mínimos. As descontinuidades identificadas neste mapa permitem reconhecer falhas de direção NE-SW, limitando pelo menos em 6 blocos estruturais (Figura 5b). Os blocos A1, A3 e A5 revelam valores negativos de cotas altimétricas, chegando a assumir valores da ordem de -70 m, sendo interpretados como estruturas tectônicas do tipo *grabens*. Destes, o bloco A3 assume o maior valor médio altimétrico para a base da Formação Barreiras. Os demais blocos (A2, A4 e A6 na figura 5b) revelam valores máximos de cota altimétrica para a base da formação, revelando regiões onde o contato entre esta formação e as demais unidades subjacentes encontra-se próximas da superfície. No bloco A6 este contato é localizado, em média, a 15 m de profundidade, o que caracteriza uma assinatura relacionada a uma estruturação do tipo *Horst*, que também foi identificada no mapa de isópacas da Formação Barreiras.

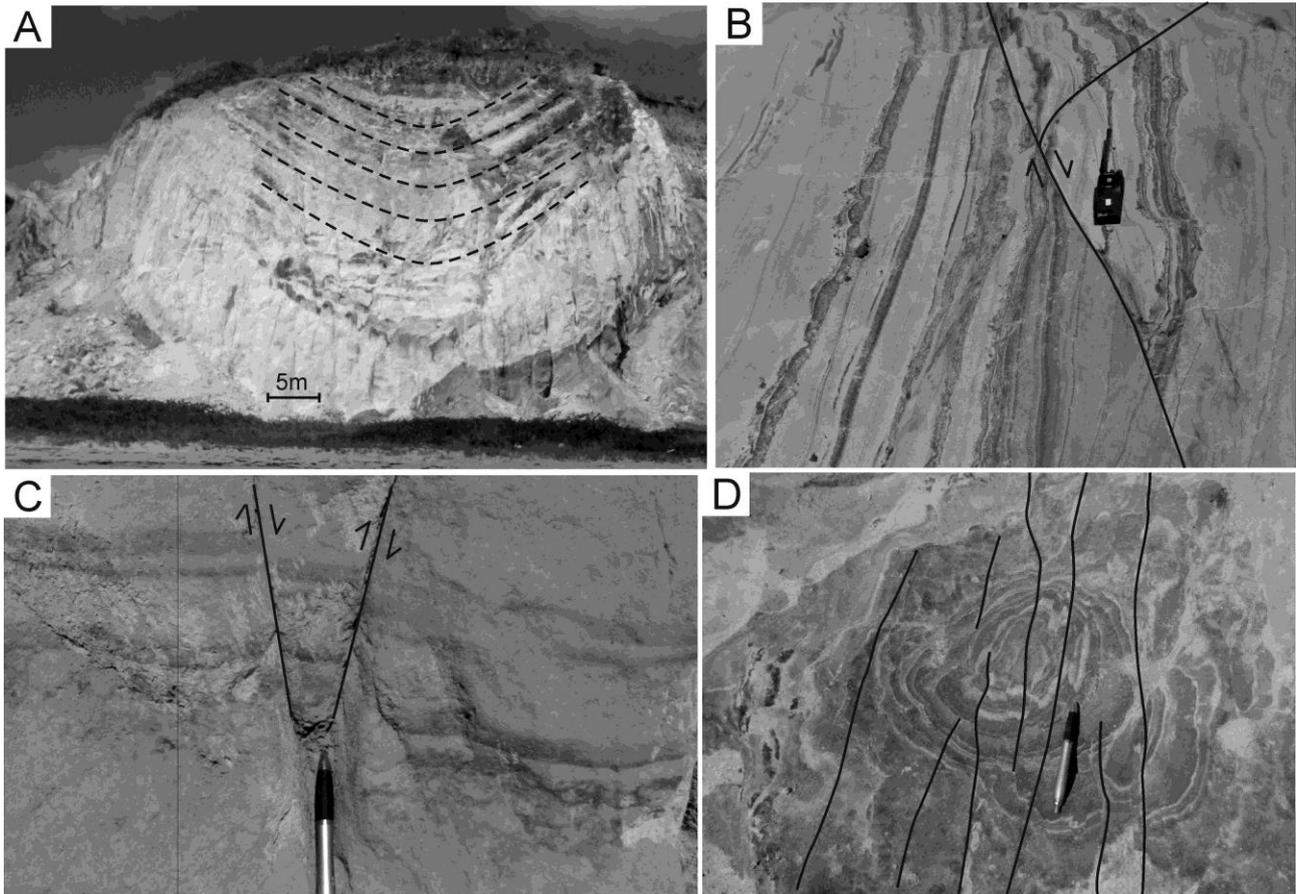


Figura 6 - Estruturas tectônicas, do tipo dobras (A) e falhas (B,C e D), deformando afloramentos da Formação Barreiras na Bacia Paraíba.

CONCLUSÃO

Na área de estudo, a Formação Barreiras tem sua estruturação orientada segundo a direção NE-SW, que de acordo com o deslocamento e a variação na espessura das camadas sedimentares, observadas nos perfis geológicos, sugere uma cinemática distensional. Estes *trends* estruturais e o padrão cinemático para as falhas na área de estudo se assemelham com as da Bacia Potiguar, principalmente na porção leste, onde as mesmas estão separadas pelo vale de Canguaretama.

Os *trends* estruturais e a cinemática observada nas zonas de cisalhamento do embasamento revelam forte correlação com as estruturas que deformam esta formação, sugerindo a geração e evolução destas falhas associadas a processos de reativação de estruturas do embasamento. Outra evidência de reativação esta relacionada ao comportamento similar envolvendo os rejeitos entre as falhas deformando o embasamento e as unidades cretáceas e cenozóicas.

Essas falhas compartimentam a área de estudo em pelo menos seis blocos estruturais, conforme se observa nos perfis geológicos, e nos mapas de isópacas e contorno estrutural para a base da Formação Barreiras. Esta compartimentação estrutural está limitada por falhas de direções NE-SW. Esse *trend* estrutural foi identificado tanto nos mapas de isópacas e contorno estrutural da base da Formação Barreiras, quanto em superfície através da análise morfotectônica. No mapa de isópacas da Formação Barreiras, os blocos espessos estão relacionados a processos de subsidência, controlados por falhamentos. As áreas de menor espessura da Formação Barreiras indicam soerguimento dos blocos falhados, seguidos de erosão.

Com base no exposto acima, pode-se observar notável progresso no conhecimento das estruturas neotectônicas que afetam a Formação Barreiras na Bacia Paraíba, considerando a grande quantidade de poços, que permitiram obter boa descrição da geometria das falhas e correlação com estruturas do embasamento, além da confecção de perfis geológicos e mapas de isópacas e isolinhas para a base da Formação Barreiras. A boa correlação entre os perfis geológicos, mapas de isópacas e de contorno estrutural da Formação Barreiras e a análise morfotectônica de superfície, foi outro fator relevante, tendo em vista a identificação dos lineamentos que compartimentam a área de estudo em blocos estruturais, e a existência de indícios de reativação de estruturas do embasamento cristalino.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo projeto CNPq nº. 4707292004-0 concedido a Francisco H. R. Bezerra e ao INCT concedido a Reinhart A. Fuck. Os autores agradecem as empresas CDRM, CAERN, CPRM e Hidrotec pela concessão dos dados de poços utilizados na pesquisa, e ao CNPq pela concessão da bolsa PIBIC ao graduando Franklyn Macedo de Souza.

REFERÊNCIAS

Alheiros, M. M.; Lima Filho, M. F. 1991. A Formação Barreiras. Revisão da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Geologia. Série Estudos Geológicos, v. 10. p.77-88.

Asmus, H. E.; Carvalho, J. C. 1978. Condicionamento Tectônico da Sedimentação nas Bacias Marginais do Nordeste do Brasil (Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba). PROJETO REMAC – Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil. Rio de Janeiro, PETROBRAS/CENPES. 4, p.1-24.

Barbosa J. A. 2004. Evolução da Bacia Paraíba Durante o Maastrichtiano-Paleoceno Formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Recife-PE. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 229p.

Barreto, A. M. F.; Bezerra, F. H. R.; Suguio, K.; Tatumi, S. H.; Yee, m.; Paiva, R. P.; Munita, C. S. 2002. Late Pleistocene Marine Terrace Deposits in Northeastern Brazil: Sea-level Change and Tectonic Implications. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 179, p.57-69.

Bezerra, F. H. R.; Lima Filho, F. P.; Amaral R. F.; Caldas, L. H. O.; Costa Neto, L. X. 1998. Holocene Coastal Tectonics in NE Brazil. In: Stewart, I. S.; Vita-Finzi, C. (Coord.). *Coastal Tectonics*. Geologic Society London. v. 146. p.279-293.

Bezerra, F. H. R.; Vita-Finzi, C. 2000. How Active is a Passive Margin? Paleoseismicity in Northeastern Brazil. *Geology*, v. 28, n. 7, p.591-594.

Bezerra, F. H. R.; Amaro, R. F.; Vita-Finzi, C.; Saadi, A. 2001. Pliocene-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain Morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Science*, v. 14, n. 1, p.61-75.

Bezerra, F.H.R.; Nascimento, A. F.; Ferreira, J. M.; Nogueira, F. C. C.; Fuck, R.A.; Brito Neves, B.B.; Sousa, M. O. L. 2011. Review of Active Faults in the Borborema Province, Intraplate South America

Integration of Seismological and Paleoseismological Data. *Tectonophysics* (Amsterdam), v. 510, p.269 - 290.

Lima Filho, M.; Barbosa, J. A.; Neumann, V. H.; Moreno, E. S. 2000. Evolução Estrutural Comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 10, 2005, Curitiba: SBG. p.45-47.

Lima, C. C. U.; Vilas Boas, G. S.; Bezerra, F. H. R. 2006. Faciologia e Análise Tectônica Preliminar da Formação Barreiras no Litoral Sul do Estado da Bahia, Brasil. *Geologia-USP Ser.Cient.* São Paulo, (6)2: p. 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. *Revista do Instituto de Geociências – USP.* 6 (2), p.51-59.

Nogueira, F.C.C. 2008. Estruturas Tectônicas Cenozóicas na Porção Leste da Bacia Potiguar – RN. Natal-RN. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 168p.

Silva. E. P. 2006. Mapeamento Gravimétrico e Cintilométrico das Estruturas da Bacia Paraíba (Parte Oriental) entre os Paralelos Ponta do Funil (PE) e Pitimbu (PB). (Relatório de Graduação) Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 76p.

Sousa, M.O.L., Bezerra, F.H.R. e Aquino, M.R. 2005. Reativação de Falhas Sísmicas Associadas à Alta Pressão de Fluidos nas Regiões de João Câmara e São Rafael – RN. In: *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 10. Curitiba, SBG. 2005. p.155-157.

Sousa, D.C., Jardim de Sá, E.F. e Antunes, A.F., 2008. Deformação Neógena e suas Implicações na Estruturação dos Campos de Petróleo na Região de Icapuí-Ponta Grossa (CE), Bacia Potiguar Emersa. *Revista Brasileira de Geociências.* 38 (2), p.97-110.