

## Deformação Rúptil em Depósitos da Formação Barreiras na Porção Leste da Bacia Potiguar

Francisco César Costa Nogueira<sup>1</sup> (frcezar@geologia.ufrn.br),  
Francisco Hilário Rego Bezerra<sup>1,2</sup>, David Lopes de Castro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN

Av. Senador Salgado Filho s/n - Campus Universitário, CEP 59072-970, Natal, RN, BRA

<sup>2</sup>Departamento de Geologia - CCET - UFRN, Natal, RN, BRA

<sup>3</sup>Laboratório de Geofísica de Prospecção - UFC, Fortaleza, CE, BRA

*Recebido em 03 de fevereiro de 2006; aceito em 20 de junho de 2006*

**Palavras-chave:** Neógeno, Formação Barreiras, Neotectônica.

### RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é a identificação e quantificação da geometria e cinemática de falhas que afetam a Formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar, com ênfase na história evolutiva e na quantificação dos rejeitos das estruturas tectônicas que deformam esta unidade. A costa leste do Estado do Rio Grande do Norte é controlada por falhas com direções NE-SW e NW-SE. As evidências morfotectônicas associadas a dados de poços, sondagens geoeletricas, dados gravimétricos e estruturais indicam movimentos transcorrentes, relacionados a soerguimento e subsidência de blocos falhados. A integração destes dados sugere uma atividade tectônica transtraccional neogênica, com falhamento e basculamento de blocos associados. Estas falhas estão associadas a dois eventos tectônicos com direções de compressão máxima inicial N-S e uma compressão mais recente de direção E-W.

**Keywords:** Neogene, Barreiras Formation, Neotectonics.

### ABSTRACT

This work identifies and quantifies the geometry and kinematics of faults affecting the Barreiras Formation in the eastern part of the Potiguar basin, Brazil. Focus is on the tectonic evolution of the study area and the quantification of fault offsets. Sedimentary rocks along the eastern coast of the State of Rio Grande do Norte are affected by faults that trend mainly NE-SW and NW-SE. Analyses of morphotectonic features, together with borehole, gravimetric, geoelectric, and structural data, indicate that strike-slip movements were associated with uplift and subsidence of fault blocks. The integration of these data suggests Neogene transtensional tectonics related to early N-S and late E-W compression.

## INTRODUÇÃO

A tectônica rúptil neogênica afeta a Formação Barreiras ao longo da costa brasileira, sendo relatada em trabalhos que descrevem evidências de deformação tectônica afetando os depósitos desta unidade, considerada uma unidade estratigráfica ainda pouco conhecida (e.g., Lima et al., 1990; Rossetti, 2003; Nogueira et al., 2005).

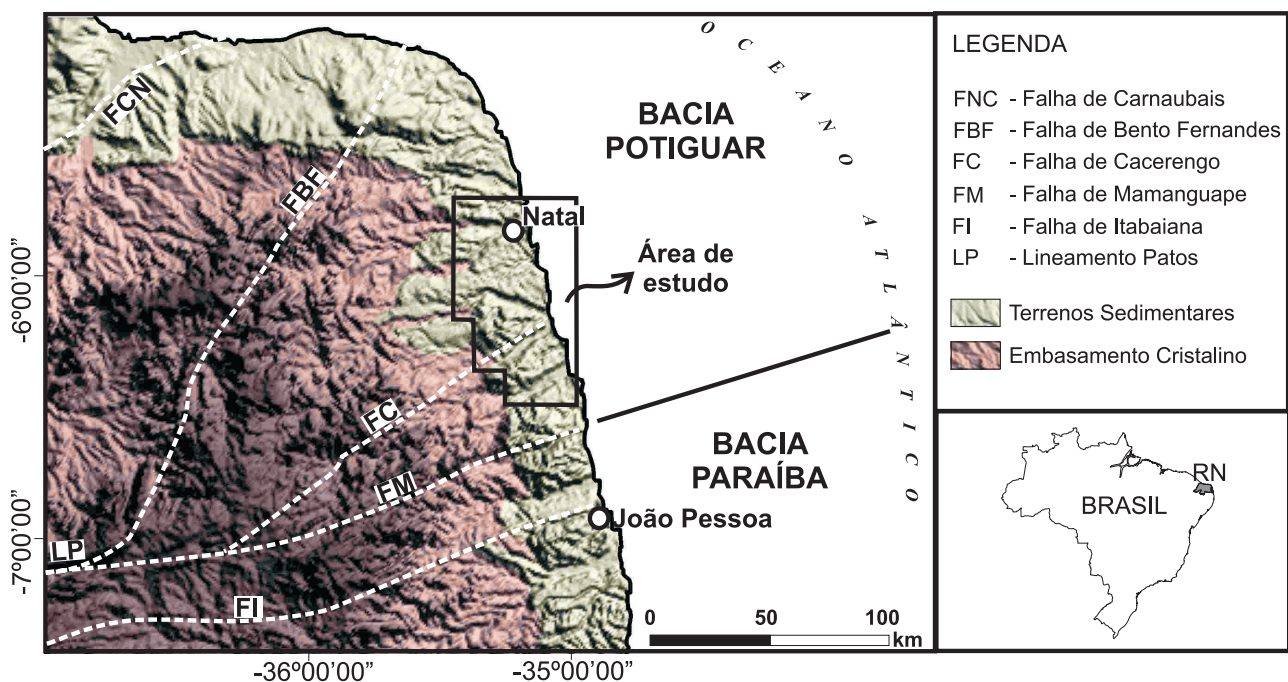
Na Bacia Potiguar, esta deformação rúptil neogênica é marcada por falhas com direções NE-SW e NW-SE, caracterizadas por movimentos transcorrentes e normais (Bezerra e Vita-Finzi, 2000), possivelmente associadas à deformação sin-sedimentar (Souza et al., 1999). Bezerra et al. (2001) deduziram uma compressão horizontal máxima E-W, com início no Neógeno, oblíqua às direções estruturais NE-SW e NW-SE. Esta compressão favoreceu a formação de estruturas transcorrentes dexas e sinistras, respectivamente. Estes autores atribuíram a origem destas estruturas à reativação de zonas de cisalhamento pré-cambrianas.

Na área de estudo (Figura 1), as rochas do embasamento pré-cambriano (gnaisses e migmatitos) são capeadas por rochas sedimentares mesozóicas da Bacia Potiguar, representadas pelas formações Açú e Jandaíra, coberturas continentais da Formação Barreiras e coberturas costeiras neogênicas, formadas por depósitos eólicos e aluvionares quaternários (Figura 2a).

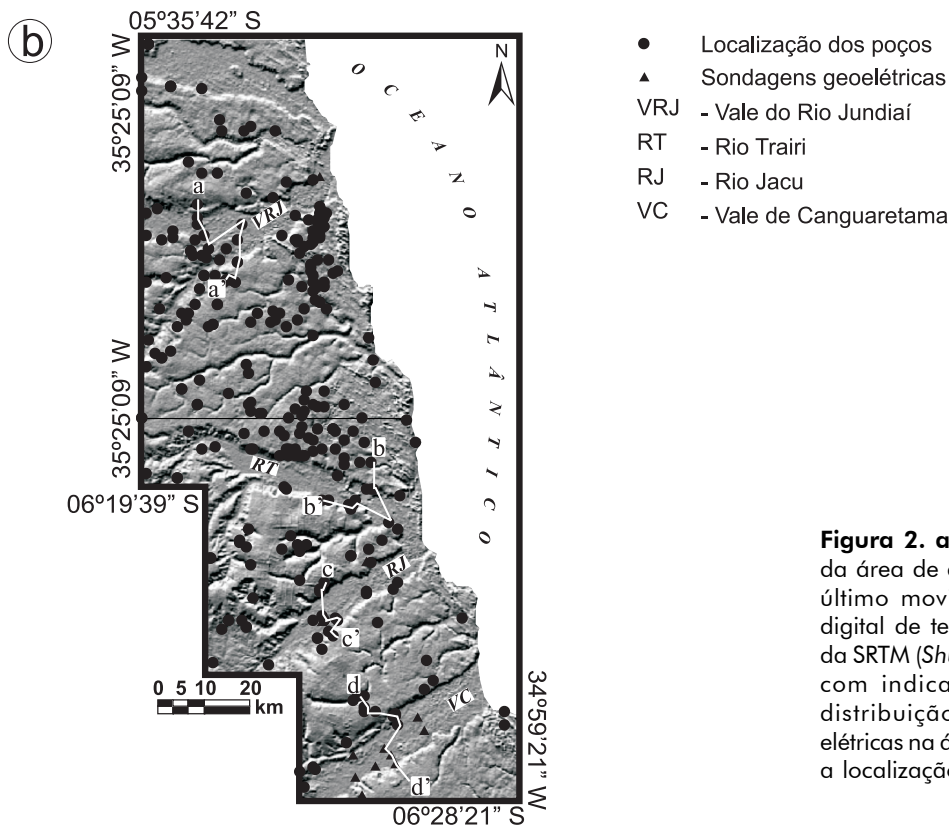
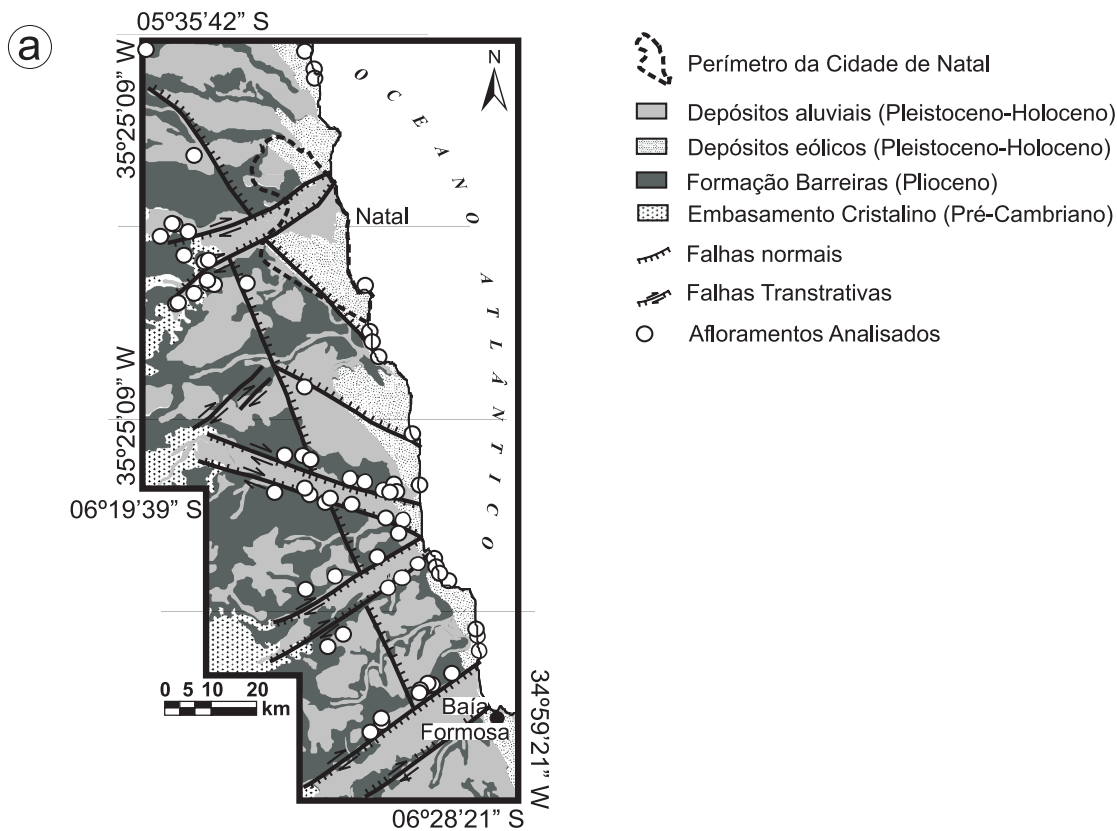
Embora existam trabalhos que descrevam as estruturas tectônicas atuantes na faixa leste do Estado do Rio Grande do Norte (Bezerra et al., 2001; Pereira, 2001), a região, que está inserida no contexto da Bacia Potiguar (Figura 1), ainda carece de estudos neotectônicos mais apurados. Tais estudos devem envolver maior quantidade de dados geológicos, morfológicos e geofísicos. Visto isso, a presente pesquisa, de caráter regional, tem como objetivo principal a identificação e a quantificação da geometria e da evolução cinemática de falhas que afetam a Formação Barreiras. O objetivo final é a elaboração de um modelo evolutivo para os eventos neotectônicos atuantes na área em apreço.

## MÉTODOS UTILIZADOS

Para a confecção do mapa geológico foi realizada compilação de cartas geológicas (Amaro, 1998; Barbosa et al., 1974; Bezerra et al., 2001; Lucena, 1997; Pereira, 2001) e análise de imagens LANDSAT ETM<sup>+</sup>. No mapa geológico final (Figura 2a), foram delineados os principais lineamentos, que são coincidentes com a análise morfotectônica, alinhamentos gravimétricos, e as discontinuidades observadas nos mapas de contorno estrutural da base e de isópacas da Formação Barreiras. Foram também utilizados dados topográficos resultantes de imagens SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (Figura 2b). Estes dados topográficos



**Figura 1.** Modelo digital de terreno com a indicação dos principais lineamentos estruturais (modificado de Lima Filho et al., 2005). A linha preta contínua representa o limite entre os terrenos sedimentares e o embasamento pré-cambriano.



**Figura 2. a.** Mapa geológico e localização da área de estudo, com setas indicativas do último movimento das falhas. **b.** Modelo digital de terreno gerado a partir de dados da SRTM (Shuttler Radar Topography Mission), com indicação dos perfis geológicos e distribuição dos poços e de sondagens elétricas na área. As linhas em branco indicam a localização dos perfis geológicos.

oferecem precisão vertical de 16 m, tendo como referencial o geóide WGS84 EGM96.

As informações topográficas foram integradas a dados de poços e de sondagens geolétricas para confecção de perfis geológicos e do mapa de contorno estrutural da base da Formação Barreiras. As informações dos poços, além de permitirem a confecção destes perfis e mapas, contribuíram para gerar o mapa de isópacas da Formação Barreiras. Os dados de poços foram cedidos pela CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte), SERHID (Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte) e pela empresa Propoço Ltda. As sondagens geolétricas correspondem aos dados de Queiroz et al. (1985) e do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), de 1982.

O banco de dados de poços usado para o desenvolvimento desta pesquisa foi composto de 3.961 poços com perfis litológicos e 12 sondagens elétricas. Deste total, 316 perfis de poços foram selecionados porque atingiram a base da Formação Barreiras e o contato com as unidades subjacentes (arenito calcífero, calcário ou rochas do embasamento pré-cambriano). Destes poços selecionados, a inclusão de 42 poços nas adjacências da área de pesquisa teve por finalidade eliminar possíveis efeitos de borda, provocados pelos métodos de interpolação devido ao truncamento dos dados nos limites do mapa.

Para a confecção do mapa de isópacas da Formação Barreiras, foi feita uma interpolação das informações de espessuras obtidas em cada perfil litológico em uma malha regular de 1 km. Por sua vez, a confecção do mapa de contorno estrutural da base da Formação Barreiras baseou-se nas cotas altimétricas obtidas através da seguinte relação:

$$A_{FB} = A_p - E_{FB}$$

onde ( $A_{FB}$ ) é a cota altimétrica da base da Formação Barreiras; ( $A_p$ ) é a altitude do ponto onde se situa o poço; e ( $E_{FB}$ ) é a espessura da Formação Barreiras no poço. Tanto a geração dos perfis geológicos, quanto dos mapas de contorno estrutural da base e de isópacas da Formação Barreiras objetivaram a reconstituição do paleo-relevo do embasamento nas regiões afetadas por falhas.

Os dados gravimétricos aqui reunidos correspondem a 57.961 estações gravimétricas do banco de dados de exploração e produção da ANP (Agência Nacional do Petróleo) e do banco de dados publicado por Castro et al. (1998). A interpolação destes dados gerou um mapa de anomalias Bouguer, no qual foi aplicado um filtro de separação polinomial para as componentes regional e residual do campo gravimétrico total. Esta separação polinomial permitiu realçar as heterogeneidades crustais mais rasas, que foram expressas pelo mapa de anomalias gravimétricas residuais.

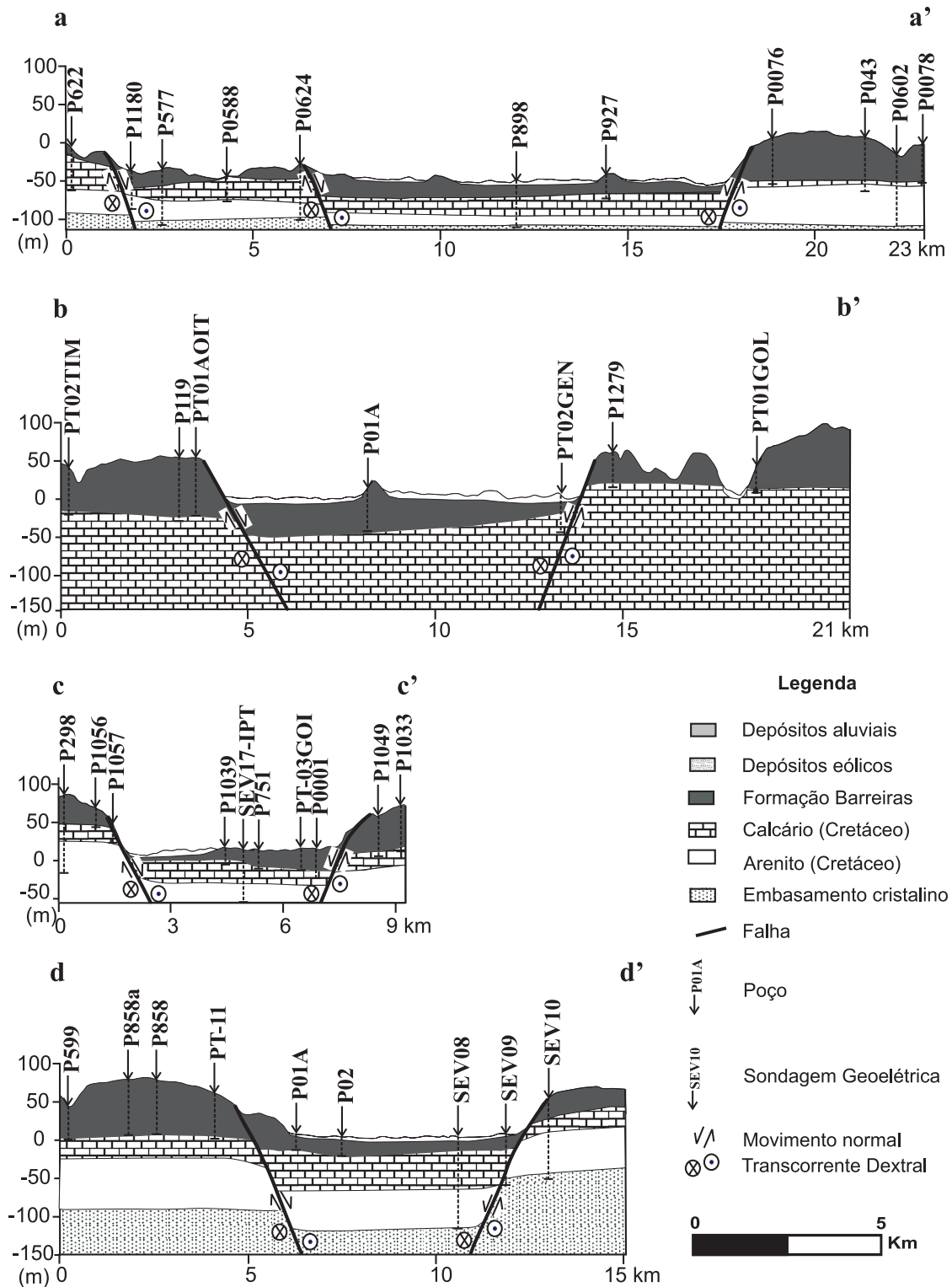
Outra técnica utilizada foi a análise estrutural em afloramentos localizados ao longo das escarpas de falhas, que controlam as principais drenagens da área (Figura 2a). Esta análise constou de medidas de atitudes de estrias e planos de falhas, assim como a identificação de indicadores cinemáticos, para construção de diagramas de paleotensões, através dos *softwares* Stereonett versão 2.4 e *TectonicsFP*.

## RESULTADOS OBTIDOS

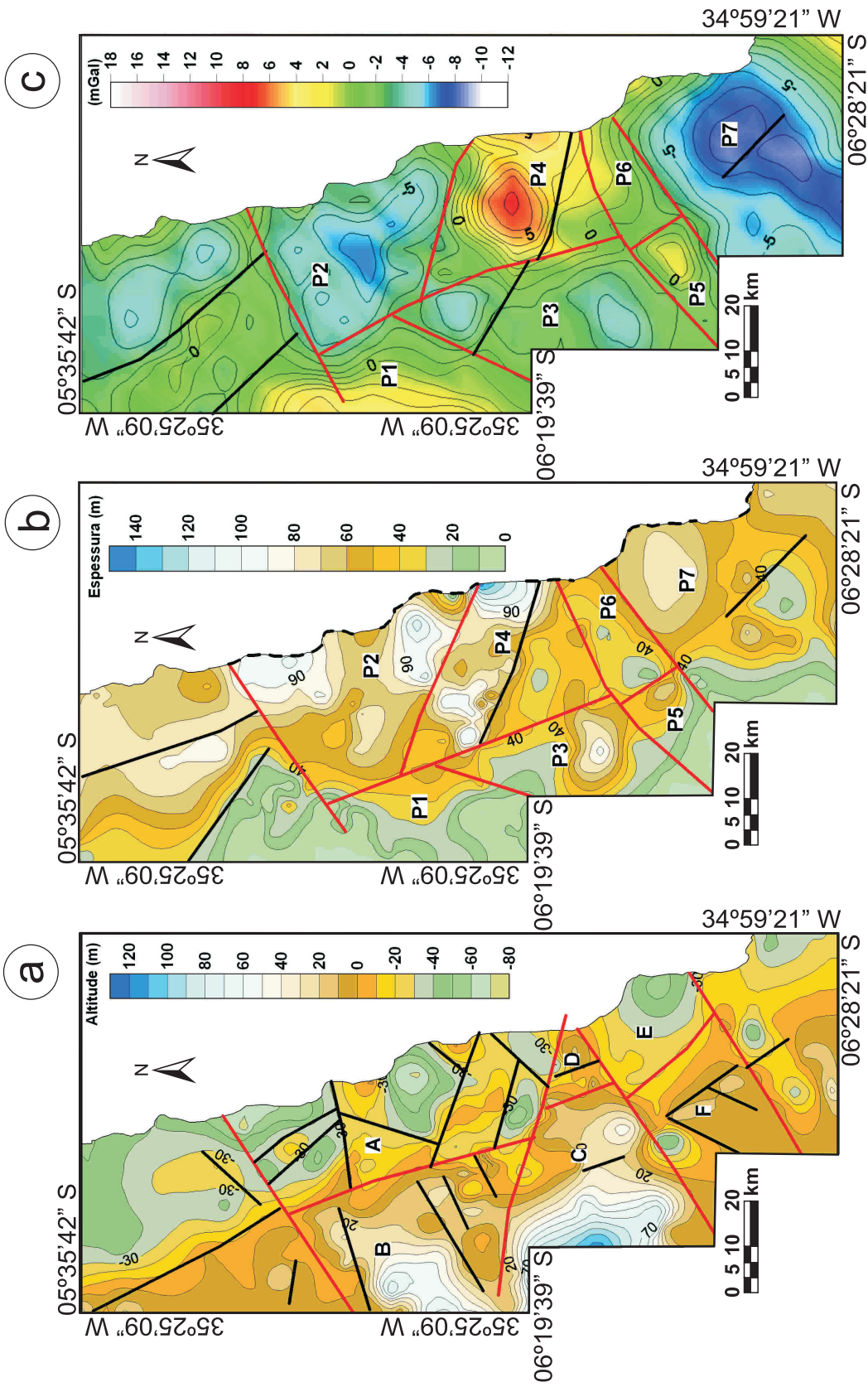
A análise morfotectônica permitiu identificar os principais lineamentos presentes na área, demarcados através do relevo controlado por escarpas de falha e padrão de drenagem. Os perfis geológicos, apresentados na Figura 2b, revelam que os rios Jundiá e Jacu são limitados por falhas de direção NE-SW, em ambas as margens, indicando uma geometria de *Graben* (seções a-a' e c-c', Figura 3). O rio Trairi também apresenta a geometria de *Graben*, porém este está delimitado por estruturas com direção NW-SE (seção b-b', Figura 3). O vale de Canguaretama é caracterizado por uma geometria em *Graben* (seção d-d', Figura 3), limitado por falhas de direções NE-SW.

O mapa de contorno estrutural da base da Formação Barreiras apresenta diferenças de cota de mais de 180 m entre os pontos máximo e mínimo. As discontinuidades identificadas neste mapa permitem reconhecer falhas de direções NE-SW e NW-SE. Estas falhas limitam pelo menos seis blocos tectônicos, que foram individualizados neste trabalho (Figura 4a). Os blocos A, D e E são separados dos blocos B, C e F por lineamentos de direção NW-SE. Os limites entre os blocos A e D, assim como entre os blocos B e C, possuem direção NW-SE, coincidente com aquela direção que controla o vale do rio Trairi. Os blocos F e E são limitados, a norte e a sul, pelas estruturas de direção NE-SW associadas aos lineamentos que controlam o rio Jacu e o vale de Canguaretama (Figura 2b).

No mapa de isópacas da Formação Barreiras (Figura 4b) foram identificados sete blocos tectônicos (P1 a P7). As assinaturas dos blocos P2, P4 e P7 estão associadas às feições do tipo *Graben*, e, por esse motivo, os depósitos são mais espessos e coincidem tanto com as áreas das falésias presentes ao longo do litoral leste Potiguar, como com as áreas de maior profundidade no mapa de contorno estrutural da base da Formação Barreiras (blocos A e E na Figura 4a). A Formação Barreiras no bloco P3 (Figura 4b) apresenta-se espessa, no entanto a sua base encontra-se em altitudes elevadas. No bloco P6 os depósitos da Formação Barreiras são menos espessos (Figura 4b), o que é marcado pelo contato entre a Formação Barreiras e as rochas subjacentes, que apresentam cotas altimétricas mais elevadas que nos blocos adjacentes (Figura 4a). Esta assinatura é interpretada como uma estrutura do tipo *horst*. Em outras



**Figura 3.** Perfis geológicos baseados na descrição de poços e nas sondagens geoelétricas. Os códigos para indicação dos poços e sondagens obedecem às denominações utilizadas pelos órgãos responsáveis pela concessão dos dados.



**Figura 4.** a. Mapa de contorno estrutural da base da Formação Barreiras, com os lineamentos que limitam os blocos tectônicos (A-F) em vermelho, e os lineamentos que deformam estes blocos em preto. As cotas altimétricas (altitudes ortométricas) têm como referencial o geóide WGS 84 EGM96. b. Mapa de isópacas da Formação Barreiras, com a indicação em vermelho dos lineamentos que limitam os padrões de espessura e, em preto, os lineamentos interpretados dentro destes padrões. Os traços pontilhados correspondem às falésias. c. Mapa de anomalias gravimétricas residuais, com indicação dos lineamentos, em vermelho, que separam os padrões de anomalias (P1-P7) e, em preto, os lineamentos interpretados em tais padrões. A cidade de Natal foi omitida por questões de clareza.

regiões, como no extremo leste da área (área de P1 e P5), a Formação Barreiras está ausente.

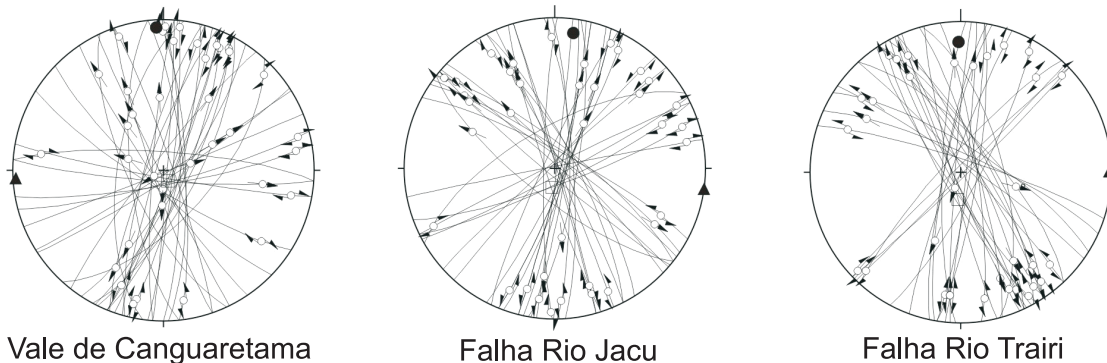
No mapa de anomalias gravimétricas residuais foi realizada uma compartimentação do relevo gravimétrico com base na identificação de altos e baixos gravimétricos. Esta compartimentação permitiu o reconhecimento de sete padrões de anomalias (Figura 4c). Os padrões P2, P3 e P7 são caracterizados por anomalias gravimétricas negativas, com mínimos gravimétricos que atingem -8 mGal. Por outro lado, os padrões P1, P4 e P5 apresentam anomalias gravimétricas positivas da ordem de 10 mGal.

A correlação entre os mapas gravimétrico e o de isópacas da Formação Barreiras (Figura 4) revelou que as anomalias P2, P3, e P7 têm seus mínimos gravimétricos associados a uma maior espessura do pacote sedimentar. Quanto às anomalias P1, P5 e P6, o relevo gravimétrico positivo pode ser

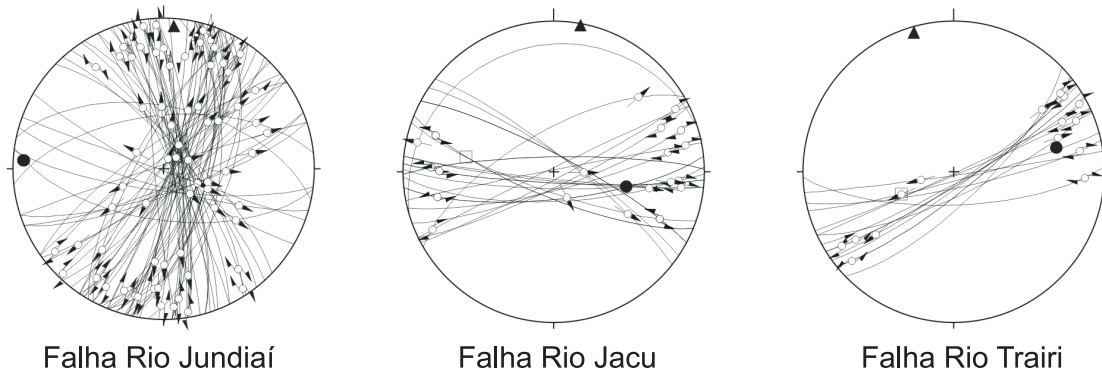
atribuído a uma menor espessura da Formação Barreiras, com maior influência das rochas do embasamento pré-cambriano no campo gravimétrico residual. Todavia, a anomalia P4 pode estar associada a uma variação local de densidade das rochas. Esta variação pode ter influência da alta densidade das rochas do embasamento, que nesta anomalia coincidem com uma área de menor espessura no bloco P4 (Figura 4b).

A análise estrutural ao longo das escarpas de falhas, que deformam as unidades litológicas na área revelou a presença de falhas transcorrentes dextrais e sinistras, com componentes normais associados. No diagrama de paleotensões (Figura 5), é possível confirmar a existência de dois eventos tectônicos transcorrentes: o primeiro com tensão máxima na direção N-S e o segundo na direção E-W. Ambos os eventos já foram identificados na Bacia Potiguar por Souza et al. (2005), com base em dados de paleotensões.

### Evento de compressão N-S



### Evento de compressão E-W



●  $\sigma_1$     □  $\sigma_2$     ▲  $\sigma_3$

**Figura 5.** Diagramas de paleotensões para a área de estudo, subdivididos em dois eventos tectônicos de regime transtracional, com direções de compressão máxima N-S e E-W.

## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A Formação Barreiras, que aflora na porção leste do Estado do Rio Grande do Norte, tem sua estruturação fortemente condicionada por, no mínimo, dois eventos tectônicos transcorrentes. O primeiro apresenta compressão máxima segundo a direção N-S; o segundo apresenta compressão máxima orientada na direção E-W. Tais eventos foram responsáveis pelas estruturas de direções NE-SW e NW-SE, que resultaram em falhas transcorrentes dextrais e sinistras, associadas a uma componente normal.

Estas falhas compartimentam a Formação Barreiras em pelo menos seis blocos estruturais, conforme se observa no mapa de contorno estrutural para a base da Formação Barreiras. Esta compartimentação estrutural está associada às direções NE-SW e NW-SE. Essas direções estruturais (Figura 2a), identificadas em superfície através de análises morfotectônica e estrutural, são correlacionáveis às descontinuidades comuns aos mapas de contorno estrutural da base e de isópacas da Formação Barreiras, e ao mapa de anomalias gravimétricas residuais (Figura 4).

No mapa de isópacas da Formação Barreiras, as áreas mais espessas coincidem com os locais de falésias do litoral leste Potiguar, sugerindo subsidência dos blocos falhados. As áreas menos espessas, sem as falésias, estão associadas a blocos com soerguimento, seguido por erosão.

As idades relativas das falhas podem permitir a determinação da seqüência dos eventos tectônicos aqui estabelecidos. Segundo trabalhos anteriores (e.g., Souza et al., 2005), que enfatizaram a deformação rúptil na Bacia Potiguar, o primeiro evento é sin-sedimentar. Isto é evidenciado, nos perfis geológicos, pela mudança de espessura da Formação Barreiras ao longo de falhas de crescimento. Este evento possui idade que variaria do Paleoceno ao Mioceno segundo Souza et al. (2005). O segundo evento afeta a Formação Barreiras em um estágio pós-sedimentação e apresenta idade que varia do Mioceno ao Holoceno.

Apesar do caráter regional deste estudo, pode-se observar notável progresso no conhecimento das estruturas tectônicas que afetam a Formação Barreiras na faixa leste Potiguar. A grande quantidade de poços permitiu boa descrição da geometria das falhas, representadas em perfis geológicos. A boa correlação entre os mapas gravimétricos, de contorno estrutural da base e de isópacas da Formação Barreiras foi outro fator relevante na pesquisa, pois permitiu identificar os lineamentos que compartimentam a área em blocos estruturais. No entanto, tratamento mais detalhado, principalmente com inclusão de informações sobre possíveis idades dos eventos neotectônicos, faz-se necessário.

## AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos a Kenitiro Suguio (USP, UnG) e Claudio Limeira Mello (UFRJ) pelas críticas construtivas. Agradecemos a Companhia de Águas e Esgotos (CAERN), Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID), as empresas Propoço LTDA e PROSENG LTDA, por cederem gentilmente os dados de sondagem. Este trabalho foi financiado pelo projeto CNPq Nº 4707292004-0 cedido a Francisco Hilário Rego Bezerra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, V. E. *Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da Província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis neoproterozóicas*. 1998. 393 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BARBOSA, A. J. et al. *Mapa geológico do leste da Paraíba e Rio Grande do Norte*. CPRM: 1974. 2 mapas, color., 90 cm x 70 cm. Escala 1:250.000.

BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, v. 28, n. 7, p. 591-594, 2000.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, n. 1, p. 61-75, 2001.

CASTRO, D. L.; MEDEIROS, W. E.; JARDIM DE SÁ, E. F. Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e margem continental adjacente: interpretação com base na hipótese de isostasia. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 16, n. 2-3, p. 115-132, 1998.

IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO). Ensaios geofísicos (sondagens elétricas verticais) em apoio ao estudo hidrogeológico detalhado do Estado do Rio Grande do Norte. p. 1-10, 1982. (Relatório).

LIMA, C. C.; VIVIERS, M. C.; MOURA, J. R. S.; SANTOS, A. A. M.; CARMO, I. O. O Grupo Barreiras na Bacia Potiguar: relações entre o padrão de afloramento, estruturas pré-brasileiras e neotectonismo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG, 1990. p. 607-620. v. 2.



LIMA FILHO, M.; BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; MORENO, E. S. Evolução estrutural comparativa da bacia de Pernambuco e da bacia da Paraíba. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10., 2005, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 2005. p. 45-47.

LUCENA, L. R. F. Unidade Barra de Tabatinga – novas evidências de um paleodepósito quaternário de praia no litoral Potiguar. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17., 1997, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBG, 1997. p. 168-171.

NOGUEIRA, F. C. C.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, D. L.; CASTELO BRANCO, R. M. Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil. *Revista de Geologia*, v. 18, n. 2, p. 139-149, 2005.

PEREIRA, R. *Caracterização hidrológica do sistema lacustre Bonfim* – RN, Brasil. 2001. 226 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

QUEIROZ, M. A.; MACEDO, J. W. P.; ROOY, C. A.; ARAÚJO, T. C. M. Contribuição da geofísica ao mapeamento geológico de Canguaretama-RN. *Boletim do Departamento de Geologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, v. 10, p. 58-67, 1985.

ROSSETTI, D. F. Delineating shallow Neogene deformation structures in northeastern Pará State using Ground Penetrating Radar. *Anais de Academia Brasileira de Ciências*, v. 75, n. 2, p. 235-248, 2003.

SOUZA, D. C.; JARDIM DE SÁ, E. F.; MATOS, R. M. D.; OLIVEIRA, D. C. Deformação sin e pós Formação Barreiras na região de Ponta Grossa (Icapuí, CE), litoral Ocidental da Bacia Potiguar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7., 1999, Lençóis. *Anais...* Bahia: 1999. p. 90-93. v. 4.

SOUZA, M. O. L.; BEZERRA, F. H. R.; AQUINO, M. R. 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., 2005, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 2005. p. 155-157.