

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/228928258>

Radarm de penetraçãno solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar-NE do Brasil

Article · January 2006

CITATIONS

5

READS

561

4 authors, including:



Francisco Nogueira

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

32 PUBLICATIONS 226 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Francisco Hilario Bezerra

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

326 PUBLICATIONS 4,894 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mariano Castelo Branco

Universidade Federal do Ceará

68 PUBLICATIONS 336 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Studies on Climate and Geotectonics Change in Some Brazilian Ocean Islands Based on Physical and Chemical Integrated Analysis in Sediments and Fossils (Cnpq: 442805/2015-2) [View project](#)



Brazilian Equatorial Margin: a new exploration frontier [View project](#)



Radar de Penetração no Solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na Bacia Potiguar – NE do Brasil

**Francisco César C. Nogueira^a, Francisco Hilário R. Bezerra^{a,b}, David L. Castro^c
 & Raimundo Mariano G. Castelo Branco^c**

Recebido em 13 de janeiro de 2005 / Aceito em 23 de maio de 2005

Resumo

As estruturas resultantes da deformação tectônica, em depósitos sedimentares, podem ser detectadas através do método de Radar de Penetração no Solo (GPR), embora na literatura seja rara a utilização do GPR no mapeamento da deformação estrutural em depósitos neógenos (Terciário Superior e Quaternário). No Brasil, poucos são os trabalhos que aplicam a investigação GPR de alta resolução na identificação de estruturas tectônicas neógenas em unidades sedimentares costeiras. Os estudos envolvendo a tectônica atuante em rochas cenozóicas na Bacia Potiguar são restritos a levantamentos sísmicos, que não promovem resolução suficiente na identificação de falhas em pequena escala (centimétrica e métrica).

O presente trabalho tem o objetivo principal de investigar a geometria de falhas neógenas, em duas áreas na Bacia Potiguar, através da integração de dados geológico, estrutural e GPR. As áreas de estudo estão localizadas próximas às cidades de João Câmara e Afonso Bezerra, onde as estruturas em flor negativa e *Horst* foram identificadas, respectivamente. Este estudo promoveu o imageamento da geometria de estruturas rúpteis em sub-superfície. O dado GPR revelou excelentes resultados no mapeamento da geometria interna de depósitos neógenos na Bacia Potiguar.

Palavras-Chaves: Reativação estrutural, Estruturas rúpteis, Falhas neógenas, Neotectônica

Abstract

The deformation of sedimentary deposits can be detected by the Ground Penetrating Radar (GPR) method, although examples in the literature about the use of GPR for mapping deformation structures in Neogene deposits (late Tertiary and Quaternary), are rare. In Brazil, a few works have applied high-resolution GPR investigations to identify Neogene tectonic structures in coastal sedimentary units. Tectonic studies of the Cenozoic rocks from the Potiguar Basin are based solely on seismic mapping, which does not provide the necessary resolution for identifying small-scale (centimetric and metric) faults.

The present work aims to investigate the geometry of Neogene faults at two sites in the Potiguar Basin; through the combination of geologic, structural, and GPR data. The study area is located near the towns of João Câmara and Afonso Bezerra, state of Rio Grande do Norte, where the negative flower and horst structures were identified, respectively. The study provided insight into the geometry of brittle structures in sub-surfaces. The GPR data revealed excellent results for mapping internal geometries of Neogene deposits in the Potiguar Basin.

Keywords: Structural reactivation, Brittle structures, Neogene fault, Neotectonic

^a Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN, e-mail: frcezar@geologia.ufrn.br

^b Depto de Geologia - UFRN, bezerrafh@geologia.ufrn.br

^c Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – LGPSR/UFC, david@ufc.br, mariano@ufc.br

1. Introdução

A Bacia Potiguar (BP) é uma típica bacia rifte de margem passiva, situada na Província Borborema (Mantesso Neto *et al.*, 2004), sendo sua origem associada à abertura do oceano Atlântico no Neocomiano (Matos, 1992). Há fortes indícios de reativação cenozóica na BP (e.g., Bezerra & Vita Finzi, 2000; Bezerra *et al.*, 2001), que pode ser associada a estruturas pretéritas que controlam o seu arcabouço estrutural, dando origem a uma complexa estruturação neotectônica, ainda pouco conhecida.

Estas estruturas neotectônicas são caracterizadas, principalmente, por falhas e juntas em escala mesoscópica (< 20 m). Tais estruturas estão associadas aos depósitos neógenos em sub-superfície rasa, cuja geometria interna pode ser imageada utilizando técnicas de alta resolução, como é o caso do método Radar de Penetração no Solo (GPR). Além disso, a reconstituição da geometria e atitude de feições deformacionais pode representar uma importante contribuição para evolução neotectônica de uma região, assim como fornecer parâmetros para caracterização de aquíferos e reservatórios petrolíferos.

No entanto, poucos são os trabalhos que atestam o grande potencial do método GPR aplicado à caracterização de depósitos sedimentares (Guimarães Júnior & Baptista Filho, 2001; Reyes-Peres *et al.*, 2003), e principalmente, ao imageamento de estruturas tectônicas (Meschede *et al.*, 1997; Miranda *et al.*, 2003; Marchal & Peralta, 2003; Ferry *et al.*, 2004; Nogueira, 2004).

O objetivo principal deste trabalho reside em estudar a geometria e entender a dinâmica deformacional de estruturas tectônicas, que afetam depósitos neógenos na Bacia Potiguar. Os afloramentos selecionados, para o levantamento de GPR e análise estrutural, estão localizados próximos às cidades de João Câmara, representados pelos afloramentos de Queimadas e Riacho

Seco, e Afonso Bezerra (Fig. 1), no Estado do Rio Grande do Norte.

2. Contexto Neotectônico

O sistema de tensões atuais no Nordeste brasileiro tem sido investigado através de *Breakouts* e mecanismos focais de sismos (Lima *et al.*, 1997; Assumpção, 1992). Ambos os métodos indicam um regime *strike-slip* com compressão paralela à linha de costa (*trend* E-W a E-W/NW-SE). Esta orientação do stress, que é paralelo a linha de costa, acompanha a variação em 90° da direção da linha de costa no nordeste brasileiro.

Os principais sistemas de falhamentos atuantes na Bacia Potiguar são caracterizados por estruturas NE-SW, representadas principalmente pelas falhas de Samambaia e Carnaubáis, e NW-SE, pela Falha de Afonso Bezerra (Fig. 1). Tanto as estruturas NE-SW como as NW-SE estão presentes nas rochas e sedimentos neógenos, constituindo-se em importantes marcadores da deformação tectônica.

3. Análise Estrutural dos Afloramentos

As áreas-alvo definidas foram inicialmente investigadas utilizando técnicas de cartografia geológica básica e estrutural. Nestas áreas foram investigadas as estruturas contidas nos depósitos neógenos.

Na análise estrutural realizada em Queimadas, mapeou-se as falhas principais (F) e as fraturas do tipo Reidel (R e T), que afetam as unidades quaternárias (Fig. 2). Isso foi possível através da identificação e representação cartográfica dos planos de falhas, com a utilização de uma malha retangular regularmente espaçada em 0,5 m, situadas na projeção horizontal do afloramento (Fig. 3). A relação geométrica entre esses planos de falhas permitiram definir a evolução cinemática das estruturas.

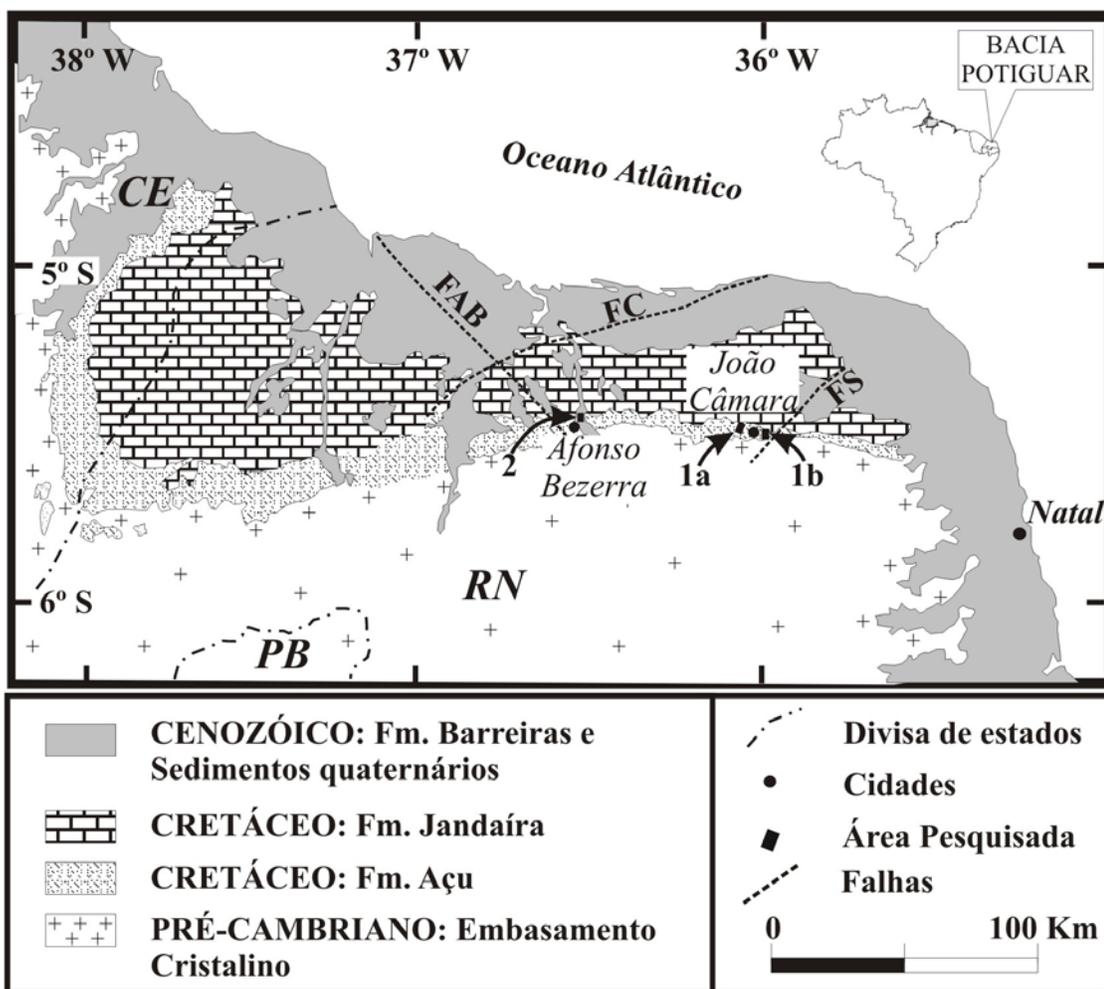


Fig. 1. Mapa de localização das áreas-alvo deste estudo na Bacia Potiguar. As principais estruturas são representadas pelas Falhas de Samambaia (FS), Carnaubais (FC) e Afonso Bezerra (FAB), próximas aos afloramentos de Queimadas (1a), Riacho Seco (1b) e Afonso Bezerra (2).

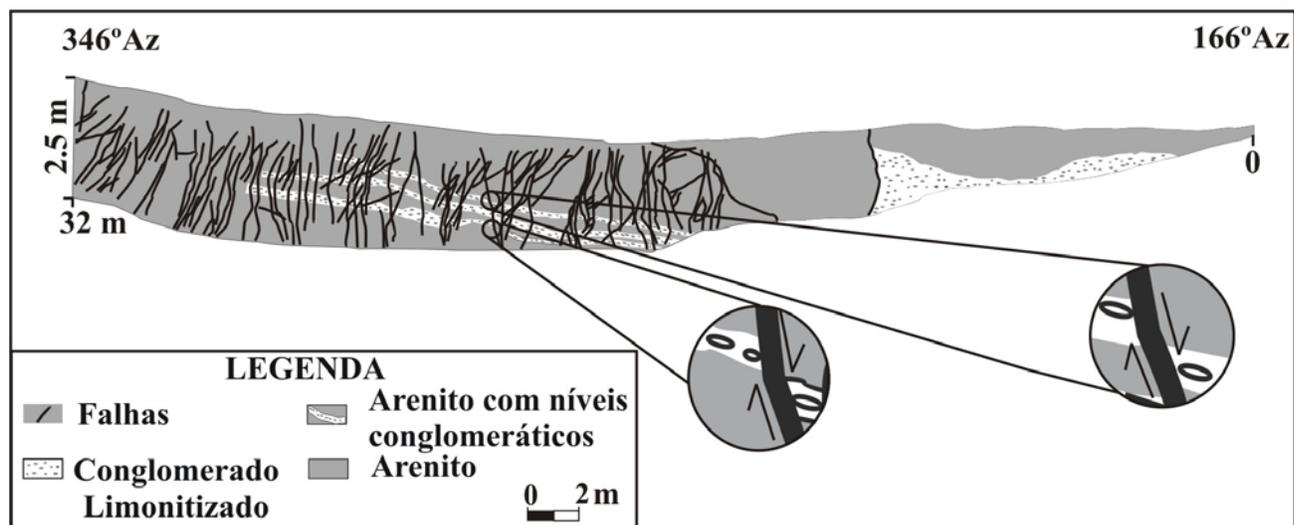


Fig. 2. Seção geológica gerada a partir do mapeamento estrutural e análise de fotomosaico em Queimadas. Ver localização 1a na Fig. 1.

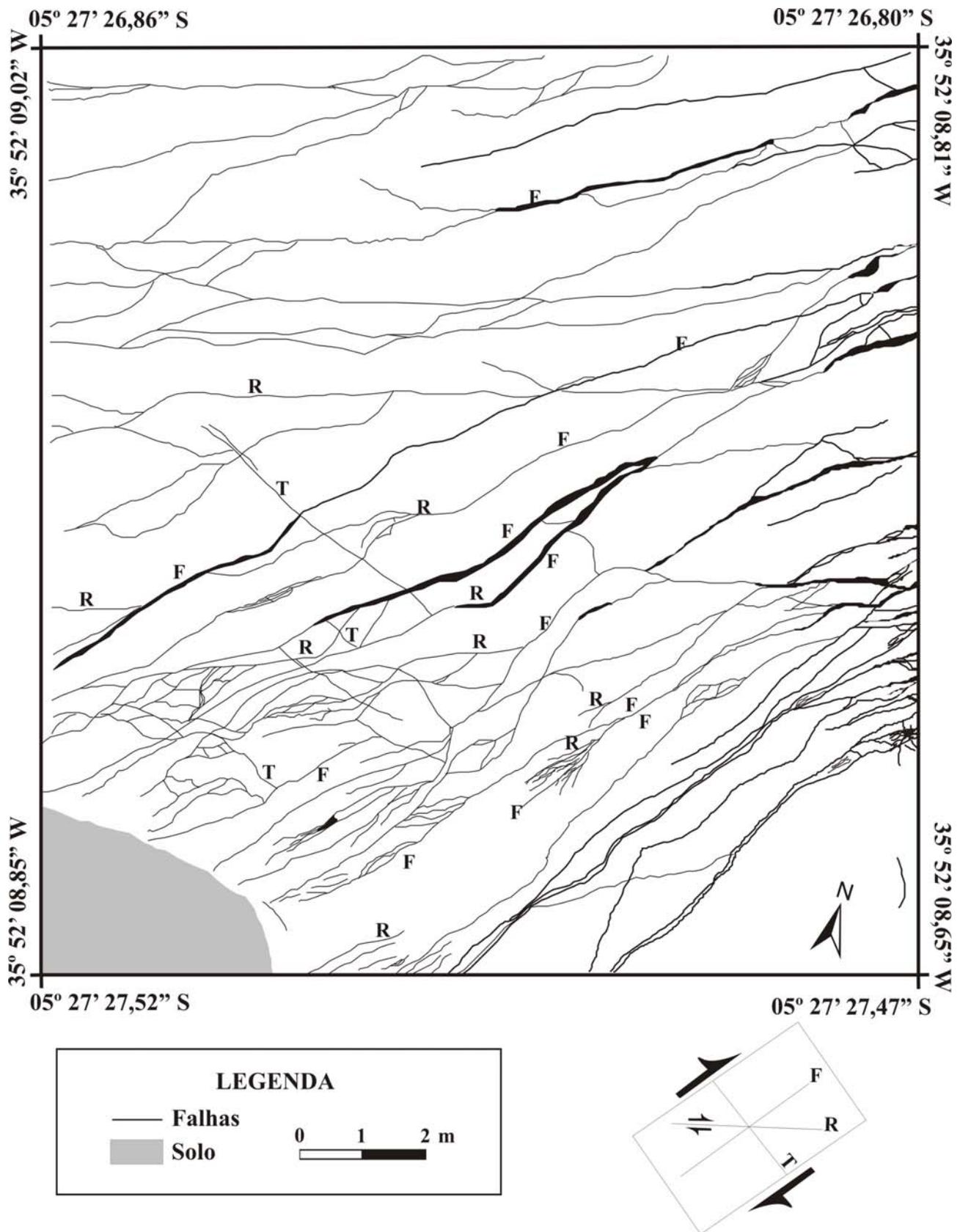


Fig. 3. Mapa de localização dos planos de falhas inseridos na projeção horizontal do afloramento de Queimadas (RN), com a indicação do movimento de falha.

Com base nestas análises, pôde-se identificar uma família de falhas de direção principal 40°-50°Az (Fig. 4) associada à Falha de Samambaia (Fig. 1). A relação geométrica entre as falhas principal (F) e fraturas do tipo Reidel (R) indicam movimento transcorrente dextral da falha (Fig. 5). Nos planos de falhas, observou-se o predomínio de estrias sub-horizontais, salvo algumas exceções, onde foram encontradas estrias sub-verticais.

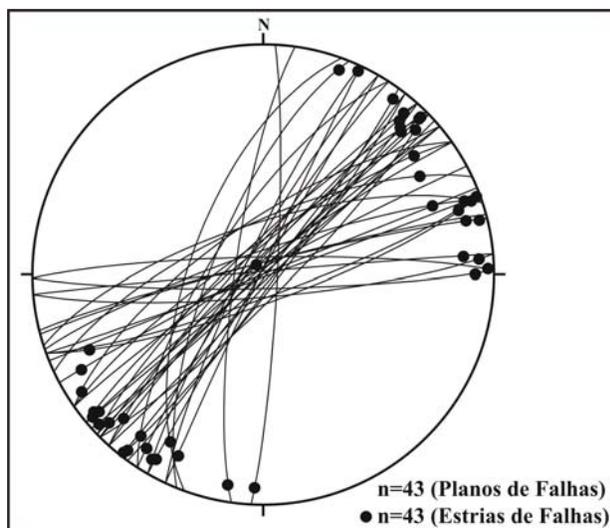


Fig. 4. Estereograma das falhas da área de Queimadas.

Em Afonso Bezerra, realizou-se o estudo de um segmento do Sistema de Falhas de Afonso Bezerra (Fig. 1). Este estudo revelou a existência de dois falhamentos principais, de direção NW-SE, afetando os arenitos da Formação Barreiras e conglomerados aluvionares Quaternários da região. A geometria dos conglomerados, representados pela presença de seixos imbricados que mergulham suavemente em direção às falhas em ambos os lados (Fig. 6), foi o principal indicador cinemático observado na área. Tal abatimento dos blocos indica movimento de falha normal, marcado pelo deslocamento da camada de arenito com relação ao conglomerado aluvionar.

4. Levantamento GPR

4.1. Método

O equipamento GPR empregado no levantamento de campo foi o modelo SIR-2000, fabricado pela empresa *Geophysical Survey Systems, Inc* (GSSI). O sistema de antenas mono e biestáticas, nas frequências de 80, 200 e 400 MHz, foi testado e aplicado em 107 seções, perfazendo

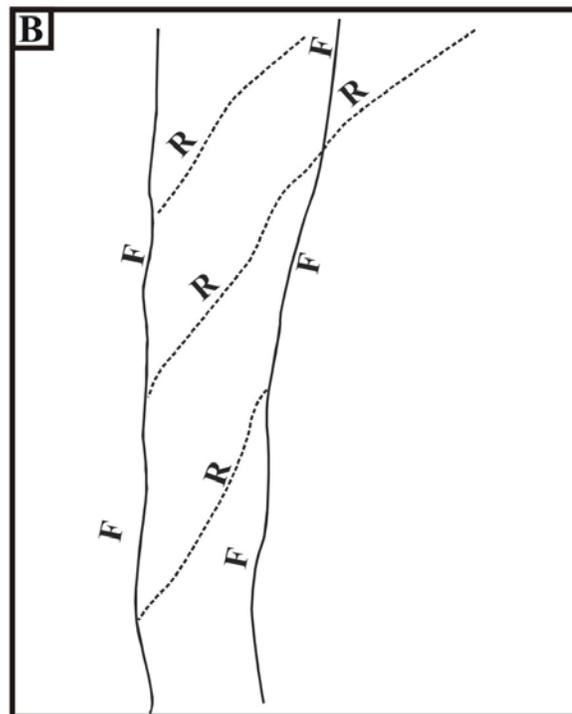


Fig. 5. Detalhe de falhas principal (F) e fraturas Reidel (R) cortando os depósitos quaternários (a), juntamente com a interpretação estrutural (b), ao longo do perfil geológico na área de Queimadas.

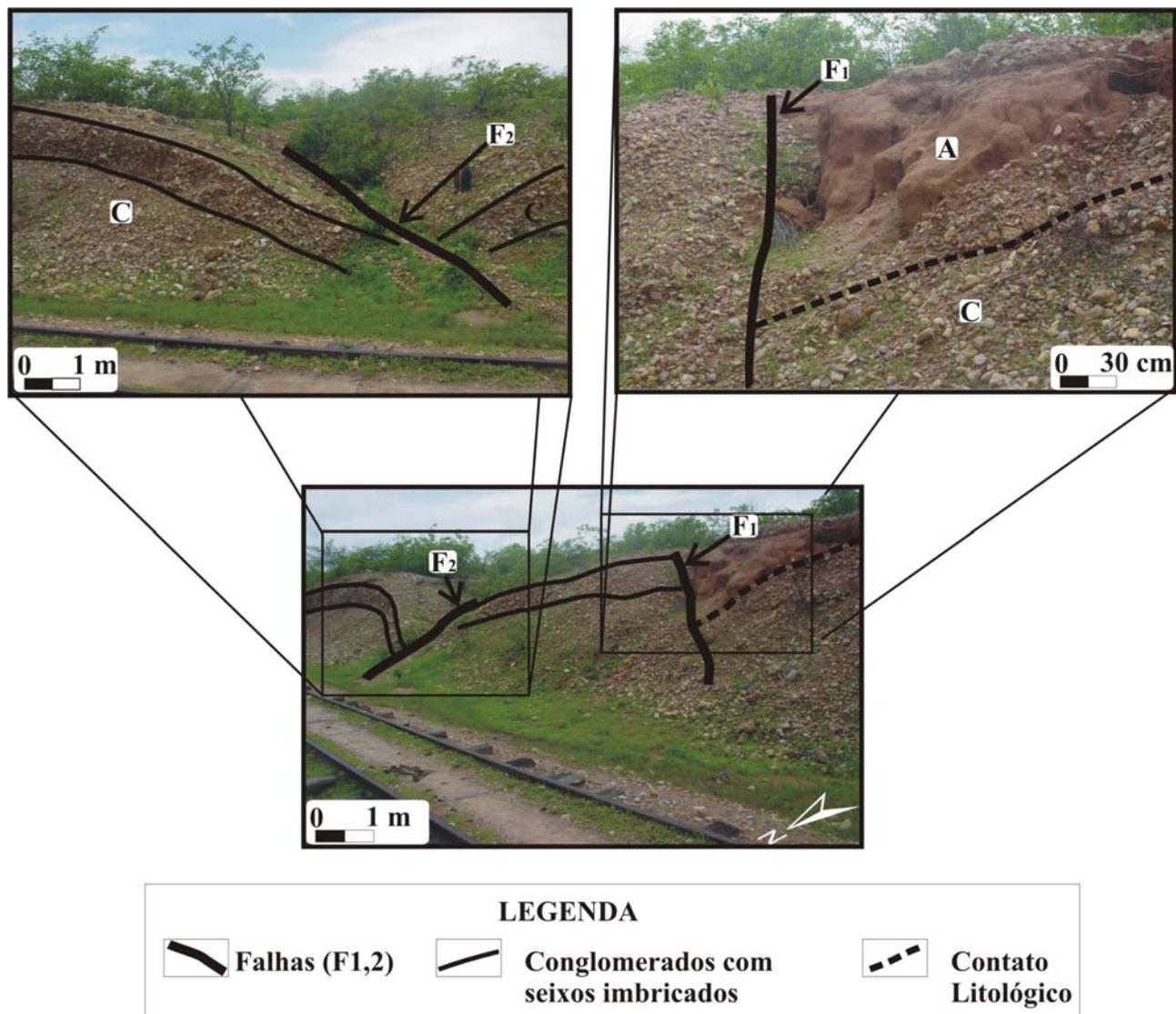


Fig. 6. Falhas que afetam conglomerados aluvionares (C) e arenitos Quaternários (A), na área de Afonso Bezerra. Ver localização 2 na Figura 1.

um total de 2.695 m de amostragem. Os levantamentos compreenderam perfis de extensões médias superior a 50 m, enquanto que as seções paralelas, que compõem o levantamento GPR no modo 3D, possuem extensões médias de 20 m, e espaçamento de 0,5 m entre seções.

Os melhores resultados foram obtidos com antenas de 200 e 400 MHz e janela temporal de 70 ns, que permitiu investigação em profundidades médias de 3,5 m. Tal estimativa de profundidade, para os afloramentos de Queimadas e Riacho Seco, foi obtida com base na medida em laboratório da constante dielétrica de amostras de rocha e solo através de um impedancímetro de alta frequência. Tal equipamento, que forneceu a componente real da permissividade dielétrica,

pode ser amplamente aplicado nos mais diversos materiais encontrados na natureza (Shen, 1985; Coutanceau-Monteil & Jacquin, 1993). Em Afonso Bezerra, a profundidade máxima de investigação foi estimada através de um balizamento do tempo de percurso das ondas eletromagnéticas para uma profundidade conhecida. Por este método, tenta-se produzir uma reflexão, de preferência uma hipérbole, a partir de um objeto metálico posicionado em sub-superfície, de forma a indicar na seção GPR, medida em tempo duplo de percurso em nano-segundos (ns), a profundidade em metros onde o objeto está localizado.

No processamento dos dados GPR foi utilizado o software RADAN for Windows NT (GSSI, 2001),

obedecendo à seguinte seqüência de processamento: normalização da distância entre os traços, correção da escala horizontal, normalização da distância dos traços, filtros controladores de frequência, aplicação de ganho, filtro espacial, edição de dados topográficos e geração de blocos 3D.

4.2. Resultados

Nos dados GPR no modo 3D (Fig. 7), foram identificadas estruturas principais (F) com *trend* NE-SW e ramificações interpretadas como sendo estruturas secundárias ou do tipo *Reidel* (R e T). Esta relação geométrica, que funciona como um importante indicador cinemático, sugere tanscorrência dextral, que é compatível com a interpretação do mapeamento da projeção horizontal realizado no mesmo local (Fig. 3).

Nas seções levantadas na área de João Câmara, foi observada a existência de padrões de

reflexões (PR), marcados por variação litológica ou composicional das unidades quaternárias sub-aflorantes. A análise estrutural realizada nesta área revelou que o contato entre PR1 e PR2 é marcado pela existência de paleocanais (Fig. 8). Este mapeamento estrutural também revelou que o PR1 observado na porção central da seção GPR (Fig. 8) é limitado por dois planos de falhas, caracterizando-se como uma zona de falha que deforma os depósitos quaternários. Esta região foi identificada também no bloco diagrama 3D, gerado a partir das seções GPR no modo 3D (Fig. 9a). Esta região, tende a estreitar-se e torna-se menos profunda segundo a direção NE. Tal geometria tridimensional, associada aos indicadores cinemáticos, sugere uma estrutura em flor negativa (Fig. 9b). Tal estrutura em flor associada à existência de estria sub-vertical (Fig. 4), bem como o deslocamento de níveis conglomeráticos (Fig. 2), revela componente de falha normal associada à

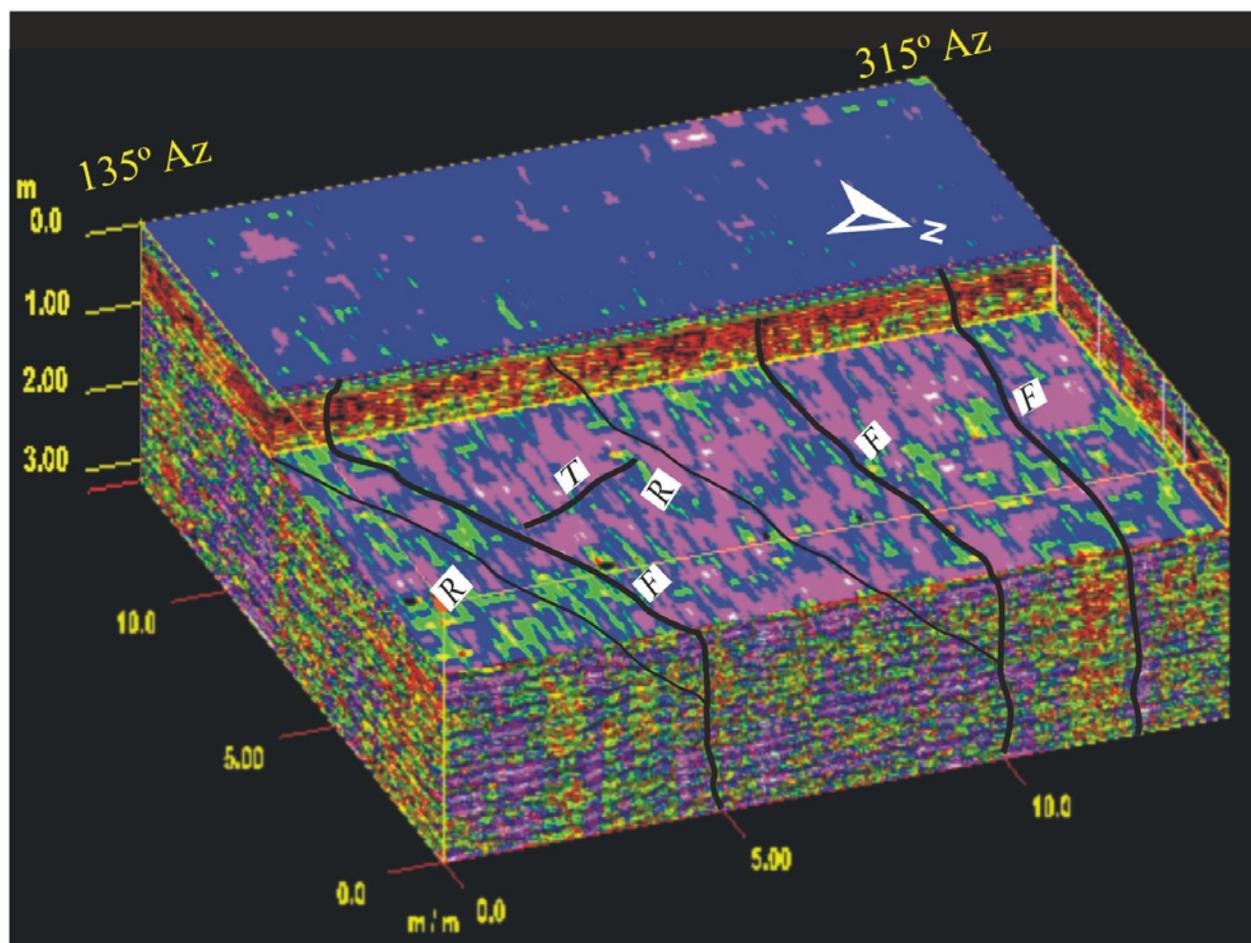


Fig. 7. Visualização 3D das seções GPR, com identificação das falhas principais (F) e fraturas do tipo Reidel (R e T).

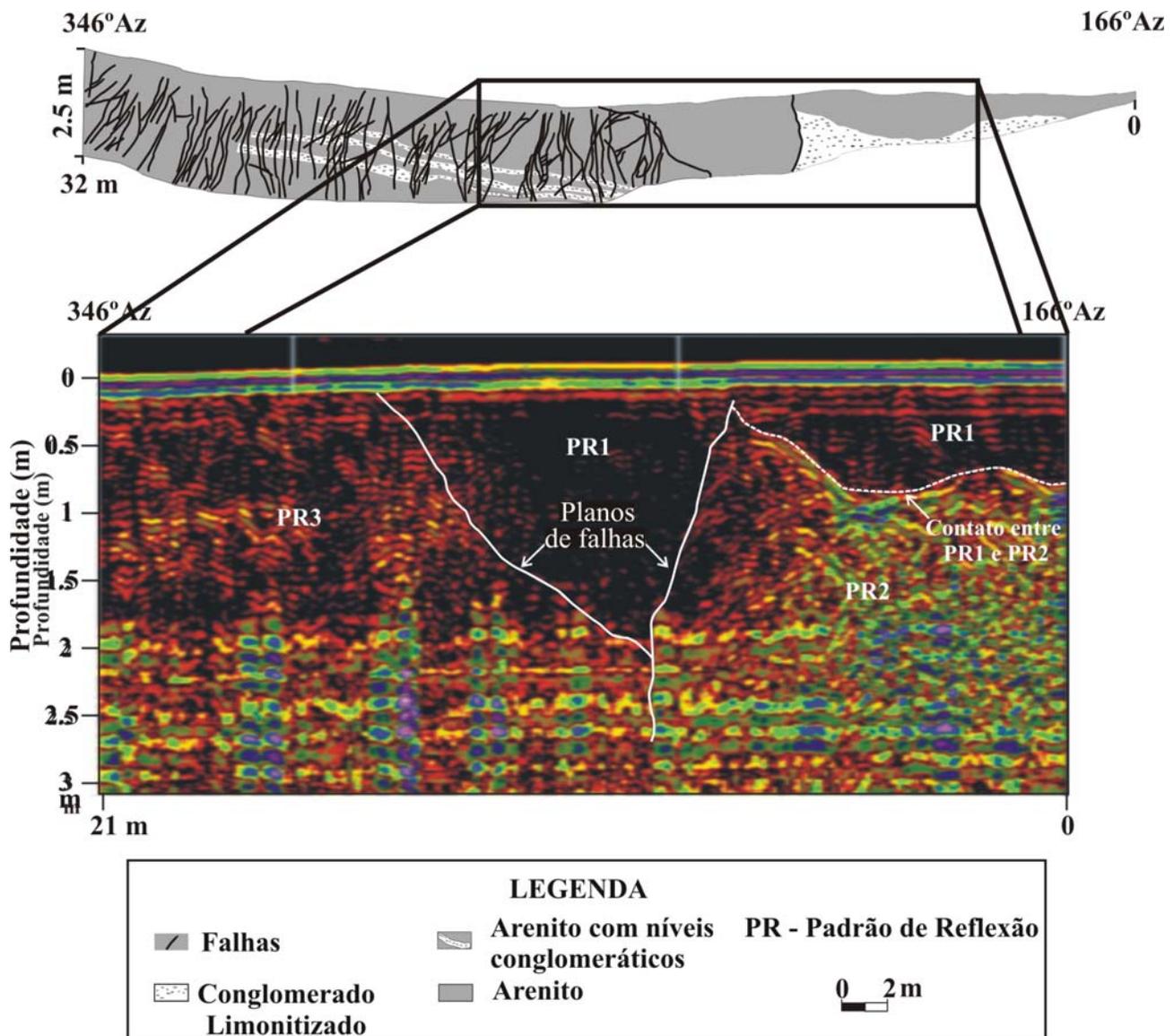


Fig. 8. Seção GPR levantada em Queimadas, com antena de 400 MHz, juntamente com a seção geológica. PR1 corresponde ao arenito e PR2 ao conglomerado limonitizado, ambos representando os depósitos quaternários, e PR3 representa a intercalação entre estes depósitos.

transcorrência. Esta cinemática é bastante condizente com a estruturação regional, evidenciada pela falha de Samambaia.

Em Afonso Bezerra, a distensão sugerida através do abatimento dos blocos (Fig. 6) foi identificada na porção inicial do perfil, devido ao truncamento e deslocamento de refletores que é bem marcada pela presença do arenito preenchendo o espaço gerado durante o movimento (Fig. 10). Na porção central da seção, são observadas as mesmas características dos refletores sugerindo o movimento normal. Essas estruturas distensivas mostram um fechamento na

direção transversal ao corte, cuja geometria assemelha-se a um *Horst* de pequenas dimensões (Fig. 11).

5. Conclusões

O estudo integrado resultou na visualização tridimensional da geometria de estruturas tectônicas neógenas. Tal integração também pôde atestar a boa correlação dos dados estruturais e geofísicos, bem como a excelente resposta do sinal GPR nas áreas onde as rochas da Formação Barreiras e conglomerados aluvionares quaternários

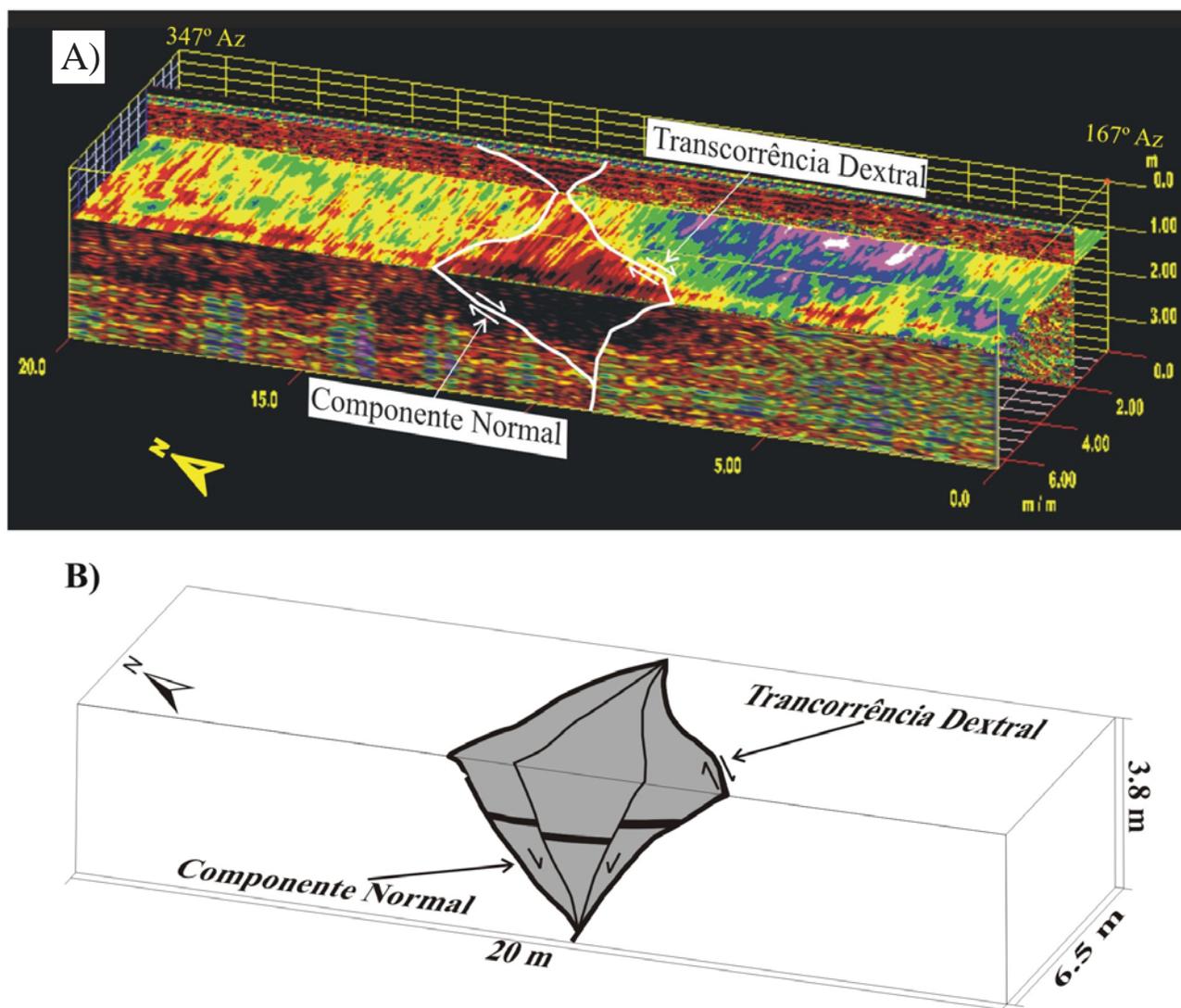


Fig. 9. Interpretação de dados GPR 3D levantados em Queimadas (a), juntamente com um bloco diagrama interpretativo (b), representando uma estrutura em flor negativa.

são sub-aflorantes, revelando assim a potencialidade do método geofísico na identificação da geometria de estruturas neógenas.

Em termos da relação entre resolução e profundidade de investigação, o levantamento GPR que melhor resposta ofereceu, na caracterização dos litotipos e feições estruturais nas áreas investigadas da Bacia Potiguar, foram feitos com antenas de 200 e 400 MHz e range de 70 ns. O espaçamento entre as seções de 0,5 m, utilizado na aquisição 3D, mostrou-se bastante eficiente na geração dos blocos GPR tridimensionais, livres de problemas típicos de métodos de interpolação de dados, tais como a dispersão ou concentração artificial do sinal GPR. A continuidade

dos principais refletores atesta a boa qualidade do produto final da visualização 3D. As falhas estudadas cortam tanto as rochas da Formação Barreiras, quanto os depósitos aluvionares subjacentes, provavelmente de idade Quaternária.

Agradecimentos

À Fundação Cearense de Amparo a Pesquisa (FUNCAP) pela concessão da bolsa ao atualmente Mestre F.C.C. Nogueira. Ao CNPq, pelo financiamento do projeto de pesquisa N° 461450/01-1. Agradecemos à Dra. Dilce de Fátima Rossetti (INPE) e ao Dr. Wellington Ferreira S. Filho (UFC) pela revisão deste artigo.

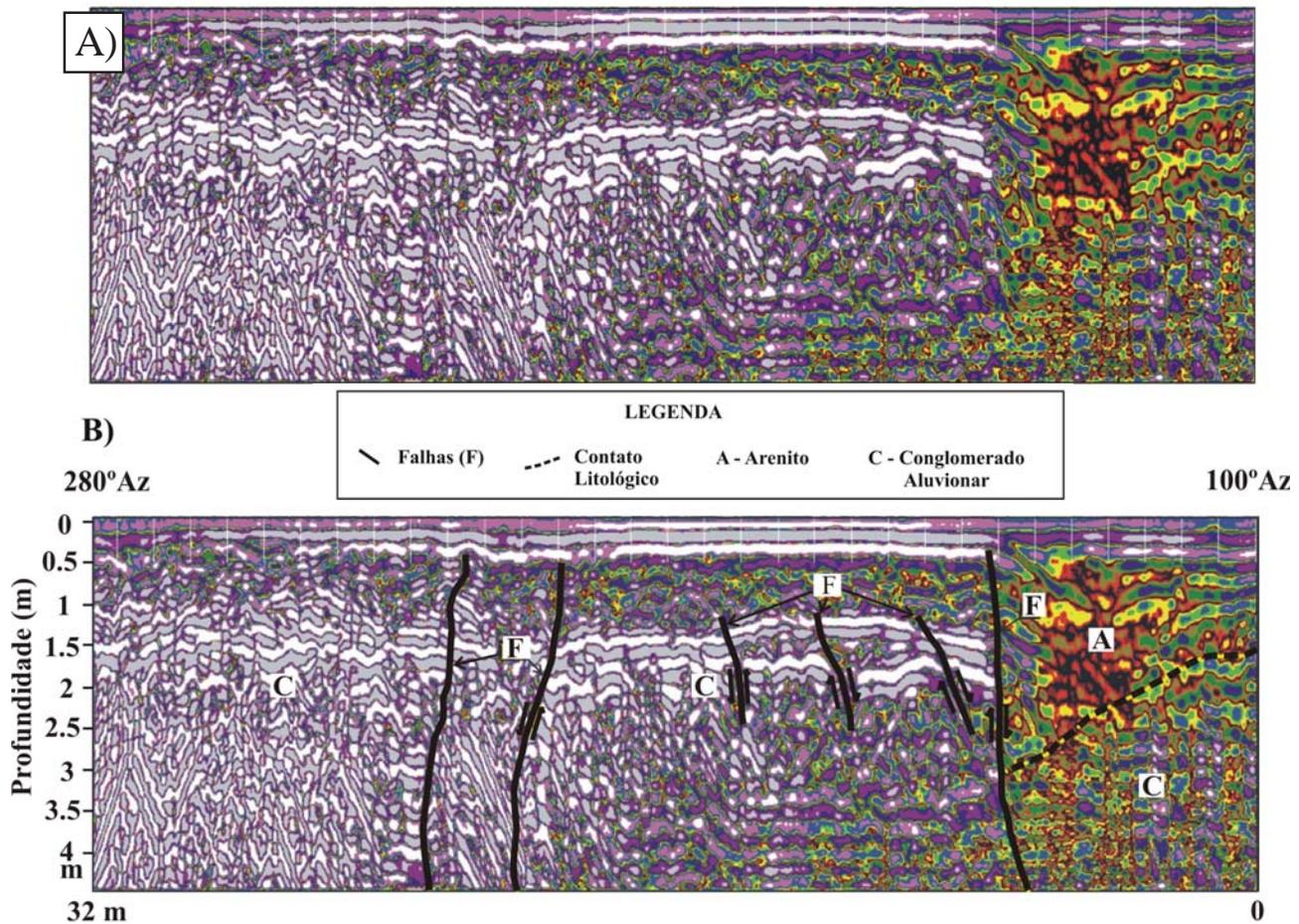


Fig. 10. Seção GPR com antena de 200 MHz levantada em Afonso Bezerra, juntamente com as interpretações geológicas.

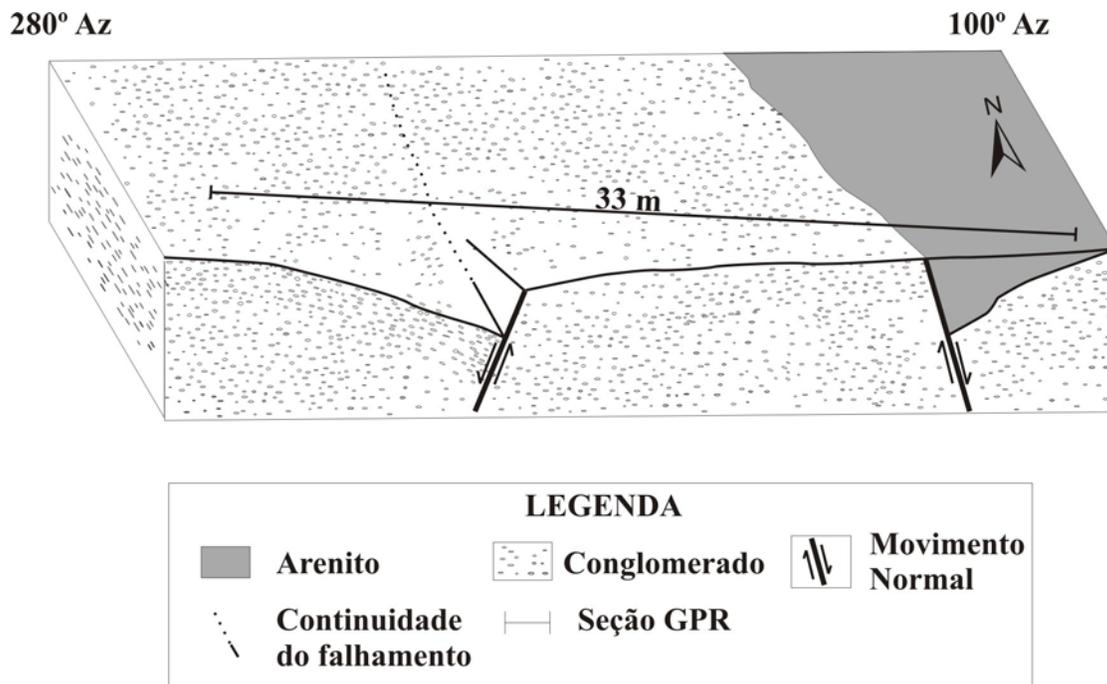


Fig. 11. Modelo proposto para exemplificar a distensão atuante na área-alvo em Afonso Bezerra, com a indicação do local onde foi realizado o perfil GPR.

Referências Bibliográficas

- Assumpção, M., 1992, The regional intraplate stress field in South America. *Journal Geophysical Research*, **97** (138): 11889-11903.
- 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. *Journal of South American Earth Sciences*, **14**: 61-75.
- Bezerra, F.H.R. & Vita-Finzi, C., 2000, How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology* **28**: 591-594.
- Coutanceau-Monteil, N. & Jacquin, C., 1993, Improvement of the coaxial line technique for measuring complex dielectric permittivities of centimetric sample in the 20 to 1000 MHz range. Application to sedimentary rocks. *Log Analyst*, 21-33.
- Ferry, M., Meghraoui, M., Girard, J.F., Rockwell, T.K., Kozaci, O., Akyuz, S. & Barka, A., 2004, Ground-penetrating radar investigations along the North Anatolian fault near Izmit, Turkey: Constraints on the right-lateral movement and slip history. *Geology*, **32** (1): 85-88.
- GSSI, 2001, Geophysical Survey Systems, Inc., RADAN for Windows NT, 22p.
- Guimarães Júnior, A. & Baptista Filho, R.M., 2001, Estudo geológico e geofísico das unidades Cenozóicas da região de Lagoinha – Paraipaba – CE. Relatório de Graduação, UFC, 85p.
- Lima, C., Nascimento, E. & Assumpção, M., 1997, Stress orientation in Brazilian sedimentary basins from breakout analysis: Implication for force models in the South American plate. *Geophysical Journal International*, **130** (1): 112-124.
- Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., & Brito Neves, B.B. 2004, Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, 1ª edição, São Paulo.
- Marchal, D. & Peralta, E., 2003, A Cretaceous carbonate reservoir in transpressional structures producing from fault-associated fracture systems, La Concepción Field (Maracaibo Basin). 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.
- Matos, R.M.D. 1992, The Northeast Brazilian rift system. *Tectonics*, **11** (4): 766 – 791.
- Meschede, M., Asprien, U. & Reicherter, K., 1997, Visualization of tectonic structure in shallow-depth high-resolution ground-penetrating radar (GPR) profiles. *Terra Nova*, **9** (4): 167-170.
- Miranda, H.C.B., Moreira, J.A.M, Andrade, P.R.O., Guedes, I.M.G., Medeiros, W.E. & Matos, R.M.D., 2003, Caracterização geométrica de falhas com o GPR. 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.
- Reyes-Peres, Y.A., Lima Filho, F.P., Menezes, L., Porsani, J.L., Appi, C.J., Araújo, V.D. & Souza, A.M., 2003, Caracterização da geometria de depósitos sedimentares da Formação Açú na borda sudoeste da Bacia Potiguar, NE do Brasil. *Revista de Geologia*, 16 (1), 19-34.
- Nogueira, F.C.C., 2004, Ground Penetrating Radar (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas cenozóicas na Bacia Potiguar – NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, UFC, 78p.
- Shen, L.C., 1985, A laboratory technique for measuring dielectric properties of core sample at ultrahigh frequencies. *Soc. Petroleum Engineers*, **1**: 502-514.