



Reativação rúptil de zonas de cisalhamento durante o Cretáceo-Cenozoico e seu papel na evolução da margem do Nordeste brasileiro: Dados preliminares

David L. Vasconcelos¹, Francisco H. R. Bezerra^{1,2}, David L. de Castro^{1,2}, Walter E. de Medeiros^{1,3}, Jean C. F. de Lima¹, Renata E. B. de Araújo⁴

1 - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN

2 - Departamento de Geologia - UFRN

3 - Departamento de Geofísica - UFRN

4 - Curso de Graduação em Geologia - UFRN

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This research integrates interpretation aeromagnetic data and remote sensing with field geological data to identify possible brittle reactivations of shear zones in the continental margin Northeastern Brazilian. Interpretation of aeromagnetic data allowed the identification of continuities of shear zones for the portion of the marginal basins. In the basement, the magnetic lineaments are interpreted as Precambrian ductile shear zones. However, in marginal basins, these lineaments are interpreted as faults associated with brittle reactivations of the basement.

Introdução

Compreender os fatores controladores e mecanismos envolvidos nos padrões de estruturas rúpteis em margens continentais é fundamental para entender a evolução de margens de uma maneira geral (Eig e Bergh, 2011). Alguns estudos têm apontado o desempenho das estruturas do embasamento como um dos principais fatores na evolução de margens continentais, tais como Kinabo et al. (2008) no sudoeste da África, Eig e Bergh (2011) no norte da Noruega e Pereira e Alves (2013) no sudoeste da península Ibérica.

A margem continental do Nordeste brasileiro é responsável por registrar uma das atividades sísmicas mais intensas da porção intraplaca da América do Sul (Bezerra et al., 2014). Essa sismicidade ocorre geralmente como falhas transcorrentes nos primeiros 12 quilômetros da crosta, concentradas principalmente nas bacias Paraíba, Potiguar e Ceará (Bezerra et al., 2011), bem como ao longo da zona de cisalhamento Pernambuco (Lima Neto et al., 2013).

Algumas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre o papel das estruturas do embasamento cristalino na evolução das bacias de margem continental (p.ex., De Castro et al., 2012). No entanto, a ênfase é dada somente a fase rifte,

não levando em consideração que a instalação do sistema petrolífero de várias bacias sedimentares ocorreu no Cenozoico, mesmo sendo a fonte de hidrocarboneto da fase rifte.

A margem do Nordeste brasileiro está inserida no contexto geológico/estrutural da Província Borborema. Bizzi et al. (2003) integraram modelos de compartimentação e definiram que esta província é individualizada em três segmentos tectônicos fundamentais, limitados por zonas de cisalhamento de idade Brasileira, denominadas Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transversal e Subprovíncia Meridional (Figura 1). O último grande evento tectônico que afetou a Província Borborema ocorreu com a fragmentação do Pangea durante o Mesozoico, o qual evoluiu para uma margem passiva (Bezerra et al., 2008). Este processo teve como resultado o desenvolvimento das bacias marginais (Matos, 1992), tais como a Bacia Paraíba, Pernambuco e Sergipe-Alagoas.

A margem leste do Brasil possui bacias sedimentares provenientes de reativações de zonas de cisalhamento ocorridas durante o Cretáceo, por exemplo, a Bacia Paraíba (Córdoba et al., 2007) e a Bacia Potiguar (De Castro et al., 2012). Vários estudos têm investigado a existência de reativações rúpteis dessas zonas de cisalhamento na fase pós-rifte (Rossetti et al., 2011; Bezerra et al., 2014; Lima et al., 2014).

Tem se tornado frequente o emprego de dados aeromagnéticos com intuito de compreender a influência de estruturas do embasamento na evolução de bacias sedimentares (p.ex., Jacques et al., 2014; De Castro et al., 2014; De Castro e Bezerra, 2015). O principal objetivo deste trabalho é exibir os dados preliminares sobre a identificação de reativações rúpteis de zonas de cisalhamento nas bacias da margem continental do Nordeste brasileiro. Pretende-se ainda expor as abordagens futuras desta pesquisa.

A área selecionada para esta pesquisa está localizada na margem continental do Nordeste brasileiro, mais precisamente entre as latitudes 5°S/10°S" e longitudes 34°30'W/36°W (Figura 1). Um mapa geológico da área de estudo (Figura 2) foi compilado a partir de mapas preexistentes (Santos et al., 2002; Angelim et al., 2006; Barbosa et al., 2006) e diferenciado em três unidades principais: embasamento cristalino pré-cambriano, rochas mesozoicas e depósitos quaternários.

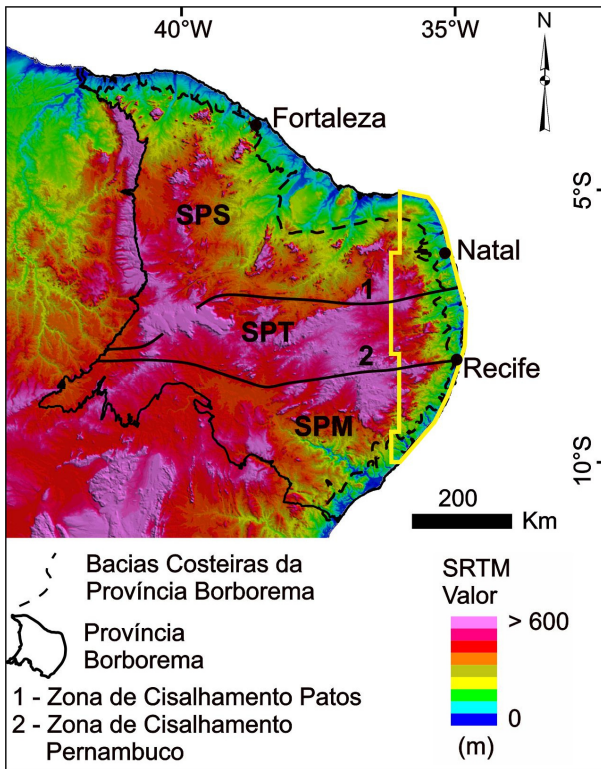


Figura 1: Modelo digital do Terreno derivado de dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), localizando a área do Projeto Aerogeofísico Borde Leste do Planalto da Borborema (Polígono em Amarelo).

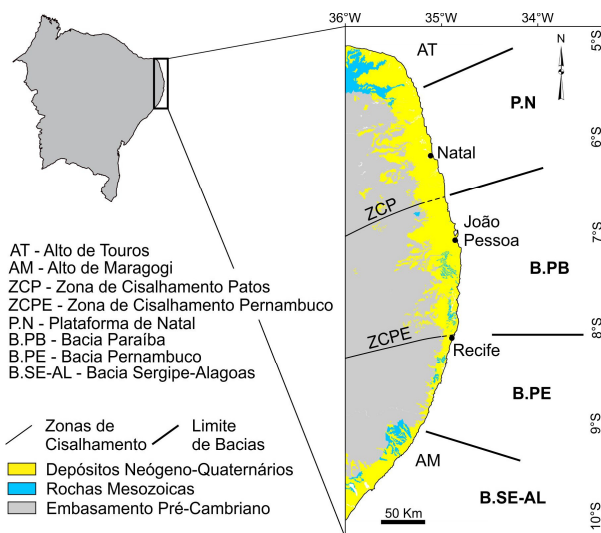


Figura 2: Mapa geológico simplificado da área de estudo (compilado de Santos et al., 2002; Angelim et al., 2006; Barbosa et al., 2006).

Metodologia

Para a fase inicial desta pesquisa (em andamento) foram utilizados dados do Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema (LASA e PROSPECTORS, 2008)

cedidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O projeto levantou perfis magnetométricos, com linhas de voo e controle espaçadas de 500 e 5.000 metros, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente, e com altura de voo fixada em 100 metros sobre o terreno. Este levantamento usou o magnetômetro com sensor de vapor de céσιο, montado na cauda da aeronave (tipo *stinger*), sendo as medidas efetuadas a cada 0,1 segundo.

Os dados fornecidos pela CPRM já estavam micronivelados e corrigidos pelo IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). Contudo, foi selecionado um total de 20 linhas aleatórias e analisada a qualidade da regularidade do espaçamento de aquisição dos dados e a constância da altura de voo em relação à superfície do terreno. Essa análise mostra que uma medida foi realizada à cerca de cada 7,7 metros e que o avião seguiu, aproximadamente, a da altura de voo fixada em 100m em relação à superfície do terreno, com exceção das áreas referentes às regiões metropolitanas de Natal, João Pessoa e Recife.

Os dados aeromagnéticos foram processados através do *software Oasis Montaj 8.2* da Geosoft. Os mesmos foram interpolados utilizando o método Bidirecional, gerando um mapa do Campo Magnético Anômalo (CMA) com célula de 250 m. Posteriormente foi gerado o mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo (RTP) com pseudo-declinações variando de 60° a 85°. Os lineamentos magnéticos foram interpretados a partir do mapa do RTP. Para correlação das anomalias magnéticas com a superfície foi gerado o Modelo Digital do Terreno (MDT) obtidos da SRTM refinada pelo projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (30 metros de resolução espacial). O MDT foi gerado através do *software Global Mapper 15* com o uso da ferramenta *add custom shader*.

Resultados

As investigações focaram o reconhecimento de zonas de cisalhamento do embasamento cristalino que se encontram sotoposta às bacias da margem continental do Nordeste brasileiro, mais precisamente as bacias Paraíba, Pernambuco, Sergipe-Alagoas e a Plataforma de Natal (Figura 3). Inicialmente foram analisadas as continuidades das principais estruturas geológicas na porção das bacias sedimentares da margem continental. Para isso, utilizou-se a compilação das principais estruturas geológicas da área de estudo (Figura 3A) correlacionando-os com a interpretação dos lineamentos magnéticos do obtidos a partir do mapa RTP (Figura 3 B e C).

As anomalias magnéticas observadas através do mapa RTP foram interpretadas como estruturas do embasamento cristalino. Entre elas a Zona de Cisalhamento Patos (ZCP) e a Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE) (Figura 3B). A continuidade dessas feições estruturais para a porção das bacias sedimentares da margem continental foi interpretada como zonas de cisalhamento reativadas como falhas (p. ex., Falhas de Goiana e Mamanguape - Figura 3B).

Entre as falhas de Goianinha e Miriri (Figura 4C) são observados uma quantidade significativa de lineamentos magnéticos com continuidades na porção da bacia (Figura 4B). A interpretação da imagem SRTM para esta área destaca principalmente os grábens, mas não fica clara a correlação destes com as estruturas do embasamento cristalino. Todavia, ao sobrepormos as interpretações dos lineamentos topográficos e magnéticos esta correspondência torna-se evidente (P. ex., Gráben de Goianinha e Canguaretama - Figura 4A).

Em campo, entre os grábens de Goianinha e Canguaretama são observadas rochas da Formação Barreiras (Neógeno) com falhas normais (Figura 4D), transtensivas dexas e inúmeras fraturas com direções paralelas às principais falhas dos grábens (NE-SW), as quais estão associadas à formação dos mesmos.

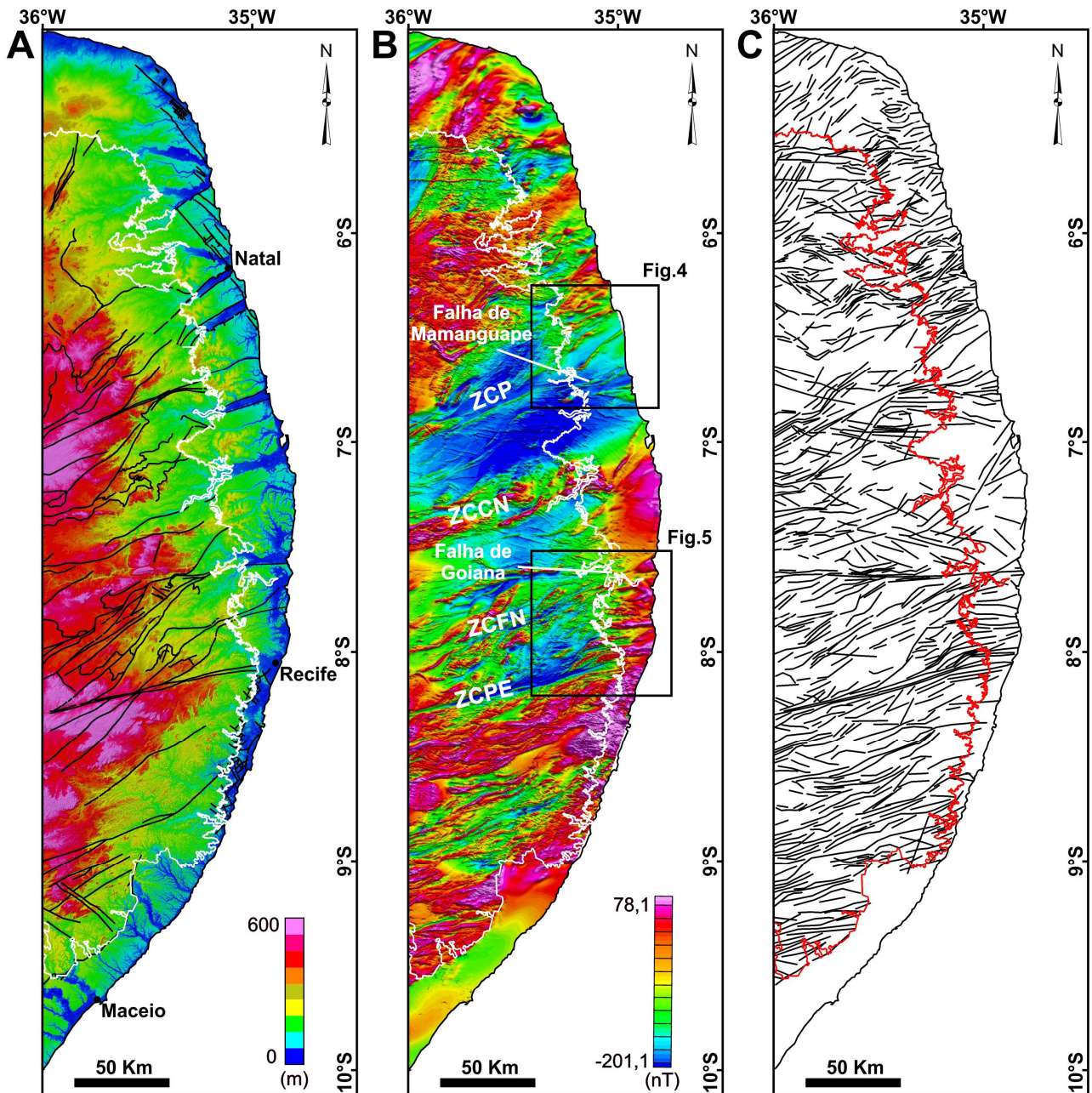


Figura 3: (A) Modelo digital do Terreno derivado de dados SRTM com as principais estruturas geológicas compiladas de Santos et al. (2002), Angelim et al. (2006) e Barbosa et al. (2006). (B) Mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo. (C) Lineamentos magnéticos interpretados a partir do mapa RTP. Linhas em branco e vermelho representam os limites das bacias marginais; ZCP - Zona de Cisalhamento Patos; ZCCN - Zona de Cisalhamento Cruzeiro do Nordeste; ZCFN - Zona de Cisalhamento Fazenda Nova; ZCPE - Zona de Cisalhamento Pernambuco.

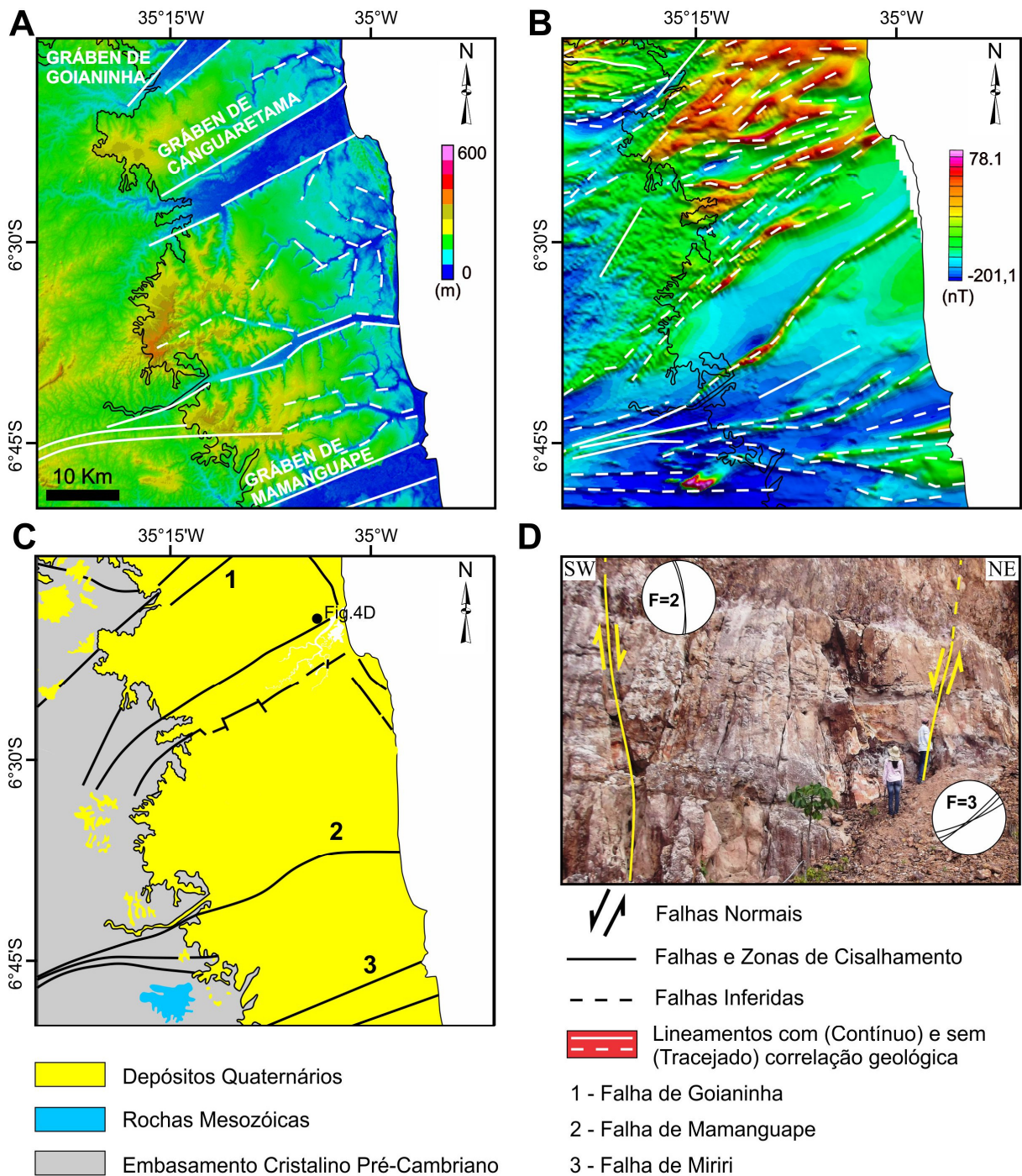


Figura 4: (A) Correlação dos lineamentos topográficos com os (B) lineamentos magnéticos interpretados da imagem SRTM e Mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo, respectivamente; (C) Mapa geológico (compilado de Santos et al., 2002 e Barbosa et al., 2006); (D) Falha normal afetando rochas da Formação Barreiras próximo à Falha de Canguaretama. Linhas em preto representam os limites das bacias marginais; F = Número de medidas de falhas.

Algo similar ocorre entre a Falha de Goiana e a ZCPE (Figura 5C) onde é observada uma quantidade significativa de lineamentos magnéticos com continuidades na área da Bacia Paraíba (Figura 5B). Porém, somente ao sobrepor as interpretações dos

lineamentos topográficos e magnéticos esta correlação torna-se visível (P. ex., Falha de Goiana - Figura 5C).

Em campo, entre a Falha de Goiana e a ZCPE são observadas rochas da unidade Pós-Barreiras (Quaternário) e Formação Barreiras (Neógeno) com

falhas normais e transtensivas dextrais (Figura 5D e E)

de direções preferencias NE-SW e E-W.

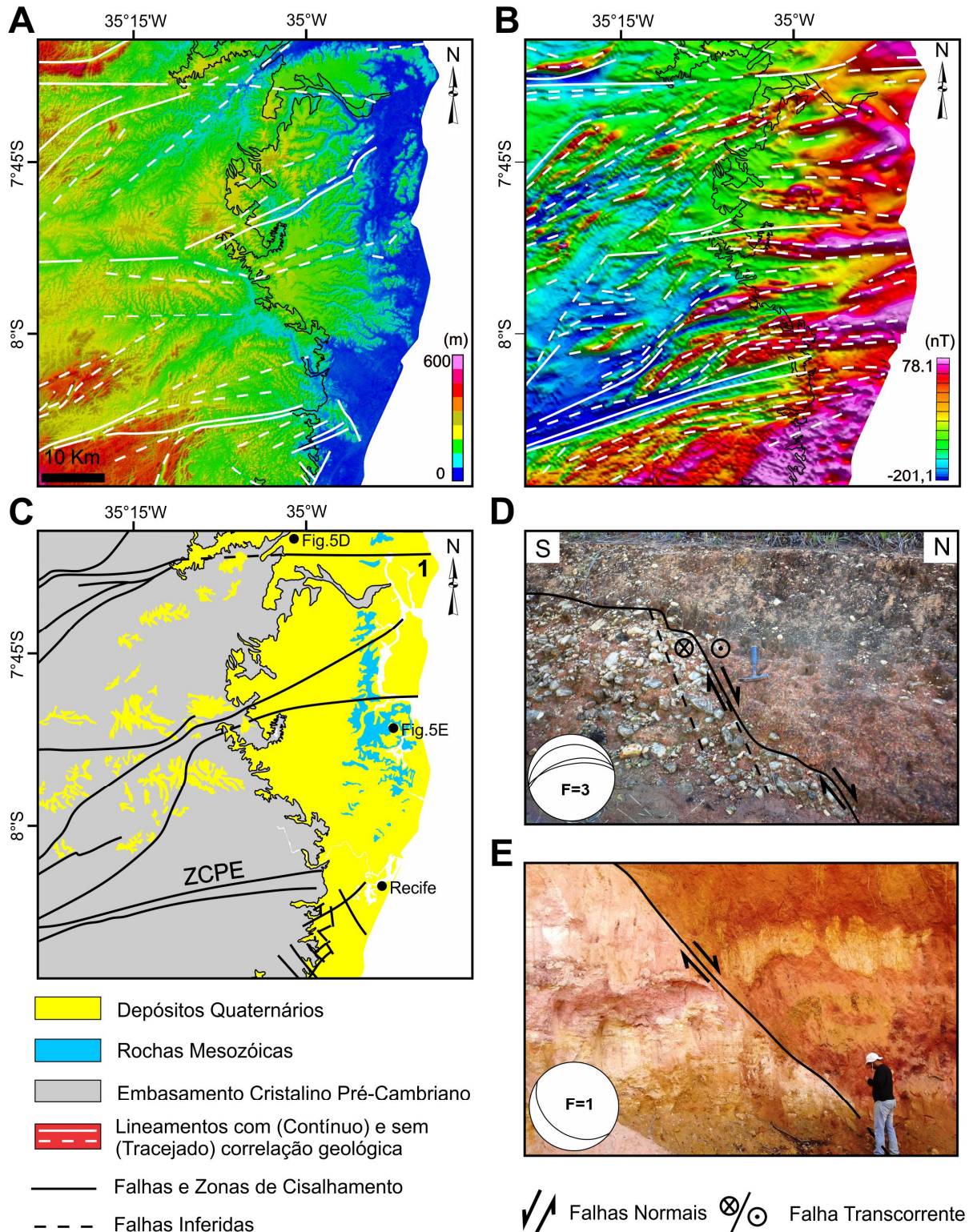


Figura 5: (A) Correlação dos lineamentos topográficos com os (B) lineamentos magnéticos interpretados da imagem SRTM e Mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo, respectivamente; (C) Mapa geológico (compilado de Santos et al., 2002 e Barbosa et al., 2006); (D) Falha transtensiva dextral afetando rochas da unidade Pós-Barreiras próximo à Falha de Goiana. 1 – Falha de Goiana; Linhas em preto representam os limites das bacias marginais; F = Número de medidas de falhas.

Conclusões

A correlação dos lineamentos magnéticos e topográficos mostrou-se uma valiosa metodologia de estudo na investigação de reativações rúpteis de zonas de cisalhamento. As direções destes lineamentos coincidem com as direções das falhas observadas entre os Grábens de Goianinha e Canguaretama. Falhas com direção NW também foram observadas ao norte do Gráben de Canguaretama e interpretamos isso como um fator de escala, onde em macro e mesoescala predominam as direções NE e E-W.

Corroborando com Barbosa et al. (2006), interpretamos a Falha de Goiana como uma reativação rúptil da ZCFN. Entretanto, observamos no mapa RTP que esta falha possui uma influência de lineamentos de direção E-W associados à Zona de ZCCN e que a junção dos lineamentos destas duas zonas de cisalhamento deu origem ao Gráben de Goiana.

Por fim, esperamos estender essa metodologia a áreas da Bacia Pernambuco e Sergipe-Alagoas. Assim como, pretendemos correlacionar dados de poços (porção *onshore*) e sísmica (porção *offshore*) como já aplicados em outras áreas de margem continentais (p. ex.: Eig e Bergh, 2011; Pereira e Alves, 2013).

Referências

- ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C. ; NESI, J. R. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte (Escala 1:500.000)**. 2006.
- BARBOSA, J.A.; LIMA FILHO, M.F. **Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços**. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 14, p. 287–306, 2006.
- BEZERRA, F.H.R.; NEVES, B.B.B.; CORREA, A.C.B.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. **Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin – the Cariatá trough, northeastern Brazil**. Geomorphology, v. 97, p. 555-582, 2008.
- BEZERRA, F.H.R.; ROSSETTI, D.F.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, W.E.; NEVES, B.B. BRITO; BALSAMO, F.; NOGUEIRA, F.C.C.; DANTAS, E.L.; ANDRADES FILHO, C.; GÓES, A.M. **Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil**. Tectonophysics, v.614, p. 78-90, 2014.
- BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. **Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Serviço Geológico do Brasil, Brasília, p. 264-271, 2003.
- CÓRDOBA, V.C.; JARDIM DE SÁ, E.F.; SOUSA, D.C.; ANTUNES, A.F. **Bacia Pernambuco-Paraíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, p. 391-403, 2007.
- DE CASTRO, D.L.; BEZERRA, F.H.R.; SOUSA, M.O.L.; FUCK, R.A. **Influence of Neoproterozoic tectônica fabric on the origin of the Potiguar, northeastern Brazil and its links with West Africa based on Gravity and Magnetic Data**. Journal of Geodynamics, v. 52, p. 29-42, 2012.
- DE CASTRO, D.L.; FUCK, R.A.; PHILLIPS, J.D.; VIDOTTI, R.M.; BEZERRA, F.H.R.; DANTAS, E.L. **Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data, Brazil**. Tectonophysics, v. 614, p. 128-145, 2014.
- DE CASTRO, D.L.; BEZERRA, F.H.R. **Fault evolution in the Potiguar Basin rift termination, equatorial margin of Brazil**. Solid Earth, v.6, p. 185-196, 2015.
- EIG, K; BERGH, S.G. **Late Cretaceous-Cenozoic fracturing in Lofoten, North Norway: Tectonic significance, fracture mechanisms and controlling factors**. Tectonophysics, v. 499, p. 190-205, 2011.
- JACQUES, P.D.; MACHADO, R.; OLIVEIRA, R. G.; FERREIRA, F.J.F.; CASTRO, L.G.; NUMMER, A.R. **Correlation of lineaments (magnetic and topographic) and Phanerozoic brittle structures with Precambrian shear zones from the basement of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil**. Brazilian Journal of Geology, v. 44, p. 39-64, 2014.
- KINABO, B.D.; HOGAN, J.P.; ATEKWANA, E.A.; ABDELSALAM, M.G.; MODISI, M.P. **Fault growth and propagation during incipient continental rifting: Insights from a combined aeromagnetic and Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model investigation of the Okavango Rift Zone, northwest Bostwana**. Tectonics, v. 27, p. 1-16, 2008.
- LASA & PROSPECTORS. **Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema**. MME/CPRM, Relatório Final, Rio de Janeiro, 401 p, 2008.
- LIMA, C.C.U; BEZERRA, F.H.R.; NOGUEIRA, F.C.C.; MAIA, R.P.; SOUSA, M.O.L. **Quaternary fault control on the coastal sedimentation and morphology of the São Francisco coastal plain, Brazil**. Tectonophysics, v.633, p. 98-114, 2014.
- LIMA NETO, H.C.; FERREIRA, J.M.; BEZERRA, F.H.R.; ASSUMPTÃO, M.S.; DO NASCIMENTO, A.F.; SOUSA, M.O.L.; MENEZES, E.A.S. **Upper crustal earthquake swarms in São Caetano: Reactivation of the Pernambuco shear zone and trending branches in intraplate Brazil**. Tectonophysics, v.608, p. 804-811, 2013.
- MATOS, R.M.D. **The northeastern Brazilian Rift System**. Tectonics, v. 11, p. 766-791, 1992.
- PEREIRA, R.; ALVES, T.M. **Crustal deformation and submarine canyon incision in a Meso-Cenozoic first-order transfer zone (SW Iberia, North Atlantic Ocean)**. Tectonophysics, v. 601, p. 148-162, 2013.
- ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.; GÓES, A.M; VALERIANO, M.M; ANDRADES FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; Brito-Neves, B.B. **Sediment deformation in Miocene and post-Miocene strata, Northeastern Brazil: evidence for paleoseismicity in a passive margin**. Sedimentary Geology, v. 235, p. 172-187, 2011.
- SANTOS, E.J; FERREIRA, C.A. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Brasília, p. 1-110, 2002.