

## Relações do arcabouço tectônico do Rife Potiguar com as estruturas do embasamento adjacente: análise de dados gravimétricos e magnéticos

*Relations between Potiguar Rift structural framework and the  
adjacent basement: analysis of gravity and magnetic data*

Suelen Ferreira de Souza<sup>1</sup>, David Lopes de Castro<sup>1</sup>, Francisco Hilário Rêgo Bezerra<sup>1</sup>, José Antônio Barbosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Campus Universitário s/n, CEP 59072-970, Natal, RN, BR (sulenfs24@hotmail.com; david@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, PE, BR (barboant@hotmail.com)

Recebido em 20 de julho de 2015; aceito em 12 de janeiro de 2016

### Resumo

Os métodos gravimétricos e magnéticos classicamente apresentam boas respostas para o estudo do arcabouço tectônico de bacias sedimentares. Neste trabalho, foram aplicadas técnicas avançadas de processamento de dados geofísicos (redução ao polo, *matched filter*; gradiente horizontal total e inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total), com o objetivo de caracterizar a expressão geofísica das principais estruturas do Rife Potiguar e do seu embasamento cristalino (NE do Brasil). Com o intuito de se estabelecer o comportamento dos principais blocos crustais da Província Borborema sob o pacote sedimentar da Bacia Potiguar, foram identificados oito domínios tectono-geofísicos através da correlação dos padrões anômalos das fontes causativas com dados geológicos disponíveis na literatura. Os extensos sistemas de falhas, que limitam o Rife Potiguar, apresentam-se como expressivos lineamentos gravimétricos positivos. As principais zonas de cisalhamento, que limitam os blocos crustais da Província Borborema, foram também correlacionadas com expressivas anomalias alongadas na direção NE-SW. A integração dos diversos mapas geofísicos com a geologia de superfície permitiu correlacionar a expressão geofísica dessas estruturas e estabelecer a sua influência nos processos de rifteamento, pelos quais passou a bacia, inclusive as feições estruturais NE-SW, observadas nas regiões adjacentes a bacia. Foi possível definir a presença dessas feições abaixo da coluna sedimentar da Bacia Potiguar, as quais controlaram fortemente a estruturação interna do Rife Potiguar. Tais resultados corroboram as hipóteses que sugerem a influência de estruturas pré-cambrianas na formação da bacia durante o rifteamento na margem continental leste do Brasil. É importante ressaltar que a inferência de deformações com *trend* NW-SE, reveladas principalmente pelos dados magnéticos, contribui para a hipótese de que tenha ocorrido a propagação dos esforços tectônicos E-W, que formaram a margem equatorial, para o interior do continente. Tais esforços também influenciaram o truncamento de estruturas do embasamento, deformações com direção NW-SE nos diques Rio Ceará-Mirim e causaram o arrasto lateral de direção E-W, que ocorre entre a Zona de Cisalhamento Portalegre e o Sistema de Falhas de Carnaubais.

**Palavras-chave:** Gravimetria; Magnetometria; Bacia Potiguar; Estruturas tectônicas.

### Abstract

The potential geophysical methods (gravity and magnetic) classically have good responses for the study of tectonic framework of sedimentary basins. In this work, we applied advanced processing techniques for gravity and magnetic data (reduce to pole, matched filter, horizontal gradient and tilt derivative) in order to characterize the geophysical expression of the main structures of the Potiguar Rift and its crystalline basement (NE Brazil). In an attempt to establish the behavior of major crustal blocks of the Borborema Province under the sedimentary package of the Potiguar Basin, eight tectonic-geophysical domains were identified by correlating anomalous patterns of causative sources with geological data available in the literature. Extensive fault systems, which limit the Potiguar Rift, are presented as large positive gravity lineaments. The main shear zones are correlated to expressive elongated anomalies in NE-SW direction and control the boundaries of the crustal blocks of the Borborema Province. The integration of various geophysical maps with the surface geology also allowed to correlate the geophysical expression of these structures and to establish its influence in the rifting processes by which passed the basin, including the NE-SW structural features observed in the regions adjacent to the basin. It was

possible to define the presence of these features below the thick sedimentary package, strongly controlling internal architecture of the Potiguar Rift. These results support the hypotheses about the influence of Precambrian structures in the formation of the basin during the rifting in the continental margin of Brazil. Importantly, the inference of NW-SE trending deformation, mostly revealed by magnetic data, contributes to the hypothesis that there has been the spread of E-W tectonic forces that formed the equatorial margin into the continent. Such efforts also influenced the truncation of basement structures, NNW-SSE deformation of the Rio Ceará-Mirim dykes and caused EW lateral drag, which occurs between the Portalegre Shear Zone and the Carnaubais Fault System.

**Keywords:** Gravity; Magnetics; Potiguar Basin; Tectonic structures.

## INTRODUÇÃO

As bacias sedimentares da margem continental brasileira apresentam grandes semelhanças com relação à sua evolução tectônica e história de preenchimento sedimentar (Chang et al., 1992; Arai et al., 2000; Milani et al., 2001; Dickson et al., 2003; Souza-Lima e Hamsi Jr., 2003; Aslanian et al., 2009). Elas são derivadas dos processos que levaram à fragmentação do Supercontinente Pangeia, iniciados no Jurássico Superior. Essas bacias apresentam enorme importância na compreensão de sua evolução geológica, tanto suas porções emersas quanto as regiões *offshore*, devido ao intenso processo exploratório movido pela indústria do petróleo nas últimas décadas, como é o caso da Bacia Potiguar (Bertani et al., 1990; Matos, 1992, 1999; Pessoa Neto et al., 2007; De Castro e Bezerra, 2015), objeto de estudo deste trabalho (Figura 1). Como uma das primeiras bacias brasileiras a entrar em fase de produção, cujas atividades exploracionistas tiveram início no ano de 1956, a porção emersa da Bacia Potiguar é considerada atualmente como área de campos maduros. O volume de trabalhos e de pesquisas acumulados desde então implica dizer que esta representa uma área bem estudada.

Tal conhecimento foi muito aprimorado com o avanço da aplicação do método sísmico, que atualmente é uma das principais técnicas de investigação geofísica, utilizadas principalmente pelas companhias petrolíferas para o estudo de bacias sedimentares. No entanto, devido ao alto custo operacional e às dificuldades inerentes de se investigar as seções profundas de uma bacia, o imageamento do arcabouço estrutural, representado principalmente pelo comportamento de seu embasamento, não apresenta o mesmo nível de detalhes e de conhecimento alcançado para a coluna sedimentar que o recobre.

A partir dessa limitação, outras metodologias são também empregadas com sucesso no estudo da evolução tectono-sedimentar de bacias sedimentares interiores e marginais. Os métodos potenciais (gravimetria e magnetometria), que na maioria das vezes são aplicados de forma integrada ao estudo de levantamentos sísmicos, representam o melhor exemplo dessa complementação investigativa. Além de representar uma alternativa relativamente barata, os métodos potenciais permitem a investigação de regiões profundas da crosta, o que é importante para mapear o arcabouço

estrutural sotoposto às camadas sedimentares, complementando as informações obtidas pelo método sísmico e dados oriundos de poços estratigráficos.

Diversos trabalhos baseados na análise de dados obtidos com os métodos potenciais já foram realizados na região da Bacia Potiguar (Pedrosa Jr. et al., 2010; De Castro et al., 2012; Rodrigues, 2012). Entretanto, o presente trabalho objetivou contribuir com o reconhecimento da expressão geofísica das estruturas da bacia e do seu embasamento cristalino adjacente, através de técnicas de processamento ainda não aplicadas em trabalhos anteriores, assim como relacionar tais estruturas com os eventos pelos quais passou a bacia durante sua complexa evolução tectônica. Assim, os resultados obtidos confirmaram alguns aspectos importantes da evolução dessa bacia marginal, como por exemplo a forte influência do controle de estruturas do embasamento na estruturação da bacia. Os mesmos sugerem também novos aspectos estruturais, como a possível reativação de zonas de intrusão de diques formadas durante o processo de rifting da margem, por eventos tardios, durante a fase de margem passiva.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

### Embasamento continental adjacente da Bacia Potiguar

Em seu contexto geotectônico a Bacia Potiguar está inserida em um complexo mosaico de terrenos pré-cambrianos que formam a Província Borborema (Almeida et al., 2000). De acordo com Brito Neves et al. (2000), essa província representa a porção oeste do Cinturão Orogênico Brasileiro-Pan-Africano (670 – 540 Ma), cujos fragmentos crustais arqueanos e paleoproterozoicos foram amalgamados ao longo de faixas vulcano-sedimentares, e também foram intensamente intrudidos por corpos graníticos sin a tardi-brasilianos. Uma rede de zonas de cisalhamento transcorrentes, de escala continental, limita os cinco principais segmentos tectônicos da província, com direções preferenciais NE-SW, inflexionadas para E-W e cinemática essencialmente dextral (Neves e Mariano, 1999; Brito Neves et al., 2000; Araujo et al., 2013).

A Bacia Potiguar está localizada na porção setentrional da Província Borborema, recobrindo partes dos domínios tectônicos Rio Grande do Norte, na sua porção norte, e Ceará Central,



## Sedimentação e tectônica na Bacia Potiguar

Segundo Bertani et al. (1990), a Bacia Potiguar, em sua porção emersa, abrange uma área de cerca de 21.000 km<sup>2</sup>. Sua arquitetura básica é constituída por grábens e horsts. A origem da Bacia Potiguar, datada do Neocomiano, está associada à fragmentação do Gondwana Oeste, iniciada no Jurássico Inferior (Matos, 1992, 1999), e que levou à separação da África da América do Sul e à formação do Atlântico Sul e Equatorial.

Conforme Matos (1999), o processo de rifteamento que deu origem às bacias interiores e marginais do Nordeste e da margem equatorial teria ocorrido durante três estágios denominados de Sin-rifte I, Sin-rifte II e Sin-rifte III (Chang et al., 1988, 1992). Conforme esse modelo, essas três sequências representam as principais fases da evolução do rifte que refletem diferenças importantes no registro litoestratigráfico e no estilo estrutural. Conforme essa proposta, a fase Sin-rifte I compreenderia o estágio de deformação que ocorreu durante o final do Jurássico (Titoniano) ao início do Berriasiano, sendo representado por importante atividade magmática, como os enxames de diques de direções NE-SW e E-W, que intruíram o embasamento Pré-Cambriano. Na Bacia Potiguar, é representado pelo enxame de diques Rio Ceará-Mirim (Matos, 1992; Archanjo et al., 2002). Essa fase inicial foi caracterizada pelo começo disseminado da deformação distensional em uma depressão rasa sobre grande parte da região nordeste, que viria a originar as bacias marginais.

A fase Sin-rifte II foi dividida em dois estágios: uma durante o Berriasiano Inferior (Sin-rifte IIa) e outra que compreenderia o intervalo do Berriasiano Inferior ao Barremiano Superior. Nessa fase desenvolveram-se os meio-grábens assimétricos, separados por horsts do embasamento, através de falhas de transferências e/ou zonas de acomodação. Zonas de fraqueza pré-existentes na crosta superior se tornaram locais potenciais para a reativação estrutural (Matos, 1992, 1999). Esta fase apresentou uma direção geral da extensão NW-SE. Segundo Matos (1999), a fase Sin-rifte IIa compreendeu a fratura crustal que ocorreu a sul da Zona de Cisalhamento de Pernambuco, influenciando a deposição nos depocentros das bacias do Gabão, Sergipe, Alagoas e do ramo Recôncavo-Tucano-Jatobá. Durante a fase Sin-rifte IIb, o processo de quebra ruptura crustal migrou para a porção oeste da placa, e foi responsável pela formação das bacias no ramo Cariri-Potiguar, que compreende as bacias interiores como Araripe e Rio do Peixe, e a própria Bacia Potiguar. Essa última etapa mostraria o domínio de um esforço distensivo na direção NNW-SSE.

Por fim, a fase Sin-rifte III, que teria ocorrido durante o Barremiano Superior, representa a principal fase de estiramento na margem leste (Chang et al., 1988). Essa fase marcou uma mudança importante na cinemática de rifteamento, quando a parte *onshore* da Bacia Potiguar foi abortada

e a deformação principal foi iniciada na margem equatorial. Evidências desse estágio na bacia estão associadas às reativações das falhas de transferência no interior do rifte, formação dos grábens na porção NW da Plataforma Aracati (Matos, 1992, 1999), e os grábens de Algodão e Bica, ao sul do Rifte Potiguar, descritos por De Castro e Bezerra (2015). Segundo Matos (1999), durante essa fase uma mudança no transporte tectônico ficou evidenciada e seria caracterizada pela mudança de NNW-SSE, durante a fase Sin-rifte IIb, para quase E-W, durante a fase Sin-rifte III, pelo menos nessa porção do rifte.

Estudos mais recentes têm complementado a interpretação dos estágios do rifte Atlântico que atuaram nessa região. Conforme Pessoa Neto et al. (2007), o registro estratigráfico da Bacia Potiguar permite a definição de três super tectono-sequência: uma sequência rifte, formada no Cretáceo Inferior (Berriasiano ao Aptiano Inferior), uma sequência pós-rifte, formada durante o andar Alagoas, e uma sequência drifte formada do Albiano ao Recente. A sequência rifte inclui depósitos flúvio-deltáicos e lacustres das formações Pendência e Pescada. Nesse modelo os depósitos de idade turtoniana (Jurássico Superior), denominados por Matos (1999) como Sin-rifte I, passaram a ser tratados como pertencentes a fase Pré-Rifte. Ainda segundo Pessoa Neto et al. (2007), a fase rifte da Bacia Potiguar seria dividida em dois estágios. A fase Rifte I, Berriasiano Superior ao Barremiano Superior, foi caracterizada pelo estiramento crustal com altas taxas de subsidência mecânica, com a formação de meio-grábens assimétricos e altos internos na porção *onshore* com direção geral NE-SW. A fase Rifte II, Barremiano Superior ao Aptiano Superior, corresponderia à implantação do regime transcorrente/transformante na região da futura margem continental, a partir da mudança na cinemática do rifte. Conforme esses autores a migração do eixo do rifte para a atual porção submersa da bacia causou soerguimento da região interna do Rifte Potiguar. Infere-se, assim como discutido por Matos (1999), que houve uma mudança na direção do transporte tectônico, de NNW-SSE para E-W, com dominância de movimentos transtensionais e destrais. Segundo ainda esses autores, a fase pós-rifte, caracterizada pela subsidência térmica, teria ocorrido entre o Aptiano e o Albiano, quando ocorreu uma mudança dos sistemas deposicionais de continentais para marinhos.

Um ponto importante a respeito da discussão sobre os eventos deformacionais envolvidos na abertura da bacia é o tempo no qual estes ocorreram. Embora seja predominante na literatura mais antiga a proposição de que o final do processo de rifteamento na margem nordeste ocorreu no final do Aptiano, evidências mais recentes têm sugerido que tanto para a margem brasileira, quanto para a contraparte africana, o rifte se estendeu até o Albiano (Blarez e Mascle, 1984; Attoh et al., 2004; Moulin et al., 2010). Esse processo ocorreu no trecho que envolve as bacias de Pernambuco (Turner et al.,

2008; Maia, 2012; Barbosa et al., 2014), Paraíba e Potiguar (Antobreh et al., 2008; Magalhães et al., 2014). Um estudo recente sugeriu que a porção distal da Bacia de Alagoas também mostra evidências da fase rifte que se estende até o Albiano (Caixeta et al., 2014).

Uma síntese dessa discussão permite sugerir que o rifte na região compreende pelo menos duas grandes fases, sendo uma mais relacionada a porção interna, *onshore* da bacia, que foi do Berriasiano ao Barremiano, e outra que afetou a região externa, *offshore*, que foi do Barremiano ao Albiano.

É importante notar que Matos (1999) sugeriu que haveria uma fase denominada de Sin-rifte para o ramo equatorial que abrangeria o Aptiano-Albiano, para as bacias de Ceará, Barreirinhas, Pernambuco, Paraíba, na margem brasileira, e Costa do Marfim, Benue e Camarões, na margem africana. Conforme demonstrado por De Castro et al. (2012), o rifteamento na Bacia Potiguar foi fortemente controlado por estruturas de direção NE-SW pré-existentes. A arquitetura da bacia foi controlada por um duplo sistema de falhas lítricas normais (sistemas de falhas de Carnaubais e Apodi), que provavelmente teve origem na reativação de zonas de cisalhamentos brasileiras implantadas na região (Matos, 1987). Dados de sísmica profunda da Bacia Potiguar sugerem que existe uma ligação entre essas falhas lítricas e estruturas prévias do embasamento (Matos, 1999).

De acordo com Araripe e Feijó (1994) e Pessoa Neto et al. (2007), as rochas sedimentares da Bacia Potiguar estão organizadas em três grupos: Areia Branca, Apodi e Agulha. O Grupo Areia Branca engloba as formações Pendência, Pescada e Alagamar, que são compostas predominantemente por conteúdo clástico. O Grupo Apodi é constituído pelas formações Açú, Jandaíra, Ponta do Mel e Quebradas, que apresentam em seu conteúdo rochas clásticas e carbonáticas. O Grupo Agulha, que congrega as formações Ubarana, Guamaré e Tibau, apresenta um conteúdo clástico e carbonático.

Três eventos magmáticos principais foram identificados na bacia: o evento Rio Ceará-Mirim, presente sua na borda sul, na forma de diques de diabásio orientados na direção E-W, com uma distribuição de idades entre 145 e 120 Ma, com dois pulsos principais a 140 e 130 Ma, concomitantes com a fase inicial de rifteamento da Bacia Potiguar (Archanjo et al., 2002) (Figura 1); Magmatismo Serra do Cuó, que ocorre também ao sul da bacia como diques e soleiras de diabásio, com idades em torno de 93 Ma (Sial et al., 1981; Pessoa Neto et al., 2007); e o Magmatismo Macau, que ocorre como derrames de olivina-basalto, orientados na direção E-W e intercalados com as rochas sedimentares das formações Tibau, Guamaré e Ubarana (Araripe e Feijó, 1994). Esse evento inclui rochas cujas idades abrangem o Eoceno-Oligoceno, distribuídas em dois intervalos: 70 – 65 e 9 – 6 Ma, com dois pulsos principais entre 48 e 31 Ma (Pessoa Neto et al., 2007).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados gravimétricos e aeromagnéticos. O conjunto de dados gravimétricos, contendo mais de 120 mil estações de medidas terrestres e marinhas, é decorrente de vários levantamentos independentes, realizados por universidades federais do Rio Grande do Norte (UFRN) e Ceará (UFC) e estaduais (Universidade de São Paulo – USP), instituições e órgãos governamentais como a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Petrobras, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Observatório Nacional (ON). O conjunto de dados aeromagnéticos faz parte do Projeto Bacia Potiguar, executado pela Petrobras e cedido pela ANP. Os dados foram levantados entre 12/1986 e 02/1987 a uma altitude constante de 500 m, com espaçamento entre as linhas de voo de 2 a 4 km e direção de voo de N70E.

## Processamento dos dados

O conjunto de dados gravimétricos foi obtido com as correções necessárias, tais como atração luni-solar, latitude, elevação e Bouguer, previamente aplicadas. Os dados foram interpolados em uma malha regular de 1500 m, usando o método *Kriging*, que é uma técnica estatística utilizada para interpolação de dados distribuídos de forma aleatória (irregular) na área de estudo, ou seja, não são amostrados ao longo de linhas que seguem uma mesma direção (Cressie, 1990).

Os dados magnéticos foram obtidos após terem sido realizadas a correção de variação diurna, a remoção da componente principal do campo geomagnético (*International Geomagnetic Reference Field – IGRF*) e realizado um nivelamento dos dados ao longo das linhas. Para a interpolação dos dados magnéticos, foi utilizada uma malha regular de 250 m, usando o método de Mínima Curvatura, o qual ajusta uma superfície de mínima curvatura aos dados de uma determinada área (Briggs, 1974). A etapa seguinte consistiu na aplicação do filtro de redução ao polo aos dados do campo magnético anômalo. Essa operação matemática centraliza a parte positiva de uma anomalia magnética sobre sua fonte (Baranov e Naudy, 1964). Os parâmetros do filtro foram a inclinação ( $-11,89^\circ$ ) e declinação ( $-21,80^\circ$ ) do campo geomagnético da região estudada na data em que o levantamento foi realizado, além da pseudoinclinação do campo magnético ( $-60^\circ$ ), utilizada para estabilizar as soluções fornecidas por essa técnica em regiões de baixas latitudes magnéticas.

Para a interpretação dos mapas gravimétricos e aeromagnéticos e para a correlação com a geologia de superfície, foram empregadas técnicas de processamento que contribuem para o realce de anomalias, que se baseiam na aplicação de derivadas e de filtros espectrais. Esses operadores matemáticos permitem evidenciar feições estruturais e contatos geológicos.

Primeiramente, aplicou-se a técnica *matched filter* para separar as anomalias dos campos gravitacional e magnético em diferentes bandas espectrais. Segundo Phillips (2007), essa técnica fornece estimativas da geometria de fontes e contatos geológicos em várias profundidades de investigação. As outras técnicas utilizadas foram o gradiente horizontal total (GHT) e a inclinação do sinal analítico (ISA). O GHT é uma técnica que produz máximos de amplitudes sobre as bordas das fontes. Entretanto, as amplitudes das anomalias são atenuadas com o incremento da profundidade das fontes. Portanto, o filtro GHT é sensível às profundidades dos corpos. A ISA é uma técnica baseada em derivadas, a qual gera máximos equalizados de amplitudes nos centros dos corpos (Dentith e Mudge, 2014), e, por essa razão, é um método detector de bordas. Ferreira et al. (2013) demonstraram a aplicação do método ISA-GHT, o qual produz máximos equalizados nas bordas das fontes e é pouco sensível às suas profundidades, e permite realçar contatos geológicos e lineamentos estruturais.

## ASSINATURA GRAVIMÉTRICA DA BACIA POTIGUAR

### *Matched filter*

A técnica *matched filter* se baseia no princípio de que o efeito gravimétrico ou magnético das fontes causativas em diferentes profundidades aparecerá como múltiplas inclinações dos trechos de reta que formam o espectro de potência do sinal geofísico (Phillips, 2007). Os trechos retilíneos da curva do espectro são ajustados iterativamente a partir de camadas equivalentes, cujas profundidades correspondem à profundidade média máxima de uma população estatística de fontes reais. A escolha do número de camadas depende do padrão de decaimento do espectro de potência médio radial das anomalias gravimétricas ou magnéticas.

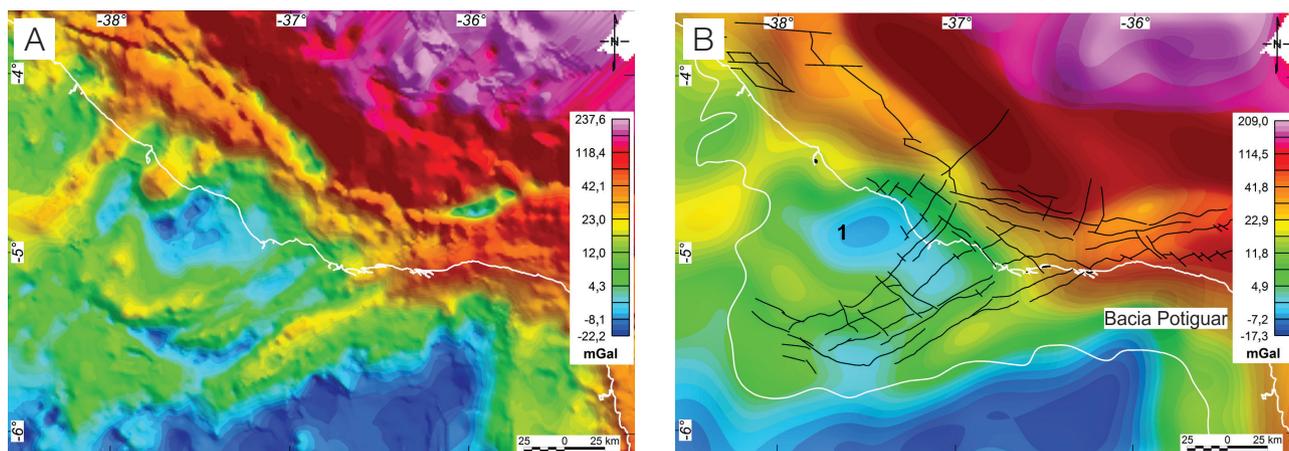
A aplicação do *matched filter* nos dados gravimétricos da Bacia Potiguar permitiu dividir o campo anômalo em duas bandas espectrais, que representam as fontes profundas relacionadas às variações na interface crosta-manto, e intermediárias, associadas a heterogeneidades geológicas da crosta superior (Figuras 2 e 3). As profundidades dos dois conjuntos de fontes estabelecidas pelo procedimento inverso foram de 25,6 e 6,8 km.

### *Anomalias de maior comprimento de onda*

Em geral, as anomalias dessa banda espectral (número de onda  $< 0,04 \text{ km}^{-1}$ ) estão associadas às fontes mais profundas da crosta. O mapa de anomalias de maior comprimento de onda (relacionadas à interface crosta-manto) apresenta um gradiente gravimétrico positivo no sentido da parte marinha da bacia (Figura 2B), devido ao afinamento crustal, característico de margens continentais passivas (De Castro et al., 1998). As anomalias em geral são suaves, com longo comprimento de onda ( $> 25 \text{ km}$ ). O Rife Potiguar encontra-se em uma região anomalmente positiva, com valores variando de -13,5 a 20,2 mGal, sugerindo uma faixa de crosta relativamente mais fina de direção NE-SW (Figura 2B). Um mínimo gravimétrico no extremo NW do rifte (1, Figura 2B) está possivelmente relacionado a um bloco crustal mais espesso, que restringiu o processo de rifteamento para oeste, ao passo que toda a porção marinha é caracterizada por máximos gravimétricos, que variam de 38,5 a 182 mGal. Essas anomalias estão associadas às regiões de crosta oceânica, que apresentam menor espessura crustal do que a sua contraparte continental.

### *Anomalias de comprimento de onda intermediário*

O mapa de anomalias de comprimento de onda intermediário mostra um relevo gravimétrico acidentado, tanto na parte



**Figura 2.** Mapas de anomalias gravimétricas Bouguer (A) e profundas (comprimentos de onda  $< 25 \text{ km}$ ) (B). Linhas brancas representam a linha de costa e o limite sul da Bacia Potiguar e as linhas pretas as falhas principais do rifte.

emersa como na parte submersa da Bacia Potiguar (Figura 3). Esse mapa representa anomalias relacionadas às fontes mais rasas da crosta superior, por isso estas apresentam feições relacionadas a comprimentos de onda mais curtos (5 a 25 km). A porção central da bacia, região do rifte principal, exibe uma alternância de máximos e mínimos gravimétricos alongados nas direções NE-SW e NW-SE. Os mínimos gravimétricos são coincidentes com os depocentros relacionados aos semi-grábens de Umbuzeiro, Boa Vista e Apodi (UB, BV e AP, respectivamente na Figura 3B) e os máximos gravimétricos delimitam os horsts internos de Quixaba e Macau (QX e MC, respectivamente, na Figura 3B), que limitam esses grábens. Os horsts são delimitados por estruturas de direção NW-SE, relacionadas às falhas de transferência do rifte (Figura 3B).

Algumas das principais zonas de cisalhamento pré-cambrianas são marcadas por extensas anomalias positivas alinhadas na direção NNE-SSW (SP; JA; PA; e PJC na Figura 3B), as quais, na borda leste do rifte, assumem uma orientação NE-SW. A zona de cisalhamento PA ocorre como uma anomalia positiva pouco expressiva no limite meridional do mapa. A porção sul da bacia apresenta alternância de máximos e mínimos gravimétricos, que retratam a complexidade do embasamento cristalino no qual a Bacia Potiguar foi instalada. Nesse mapa, a porção submersa apresenta um padrão de lineamentos com direção predominante NW-SE (Figuras 3A e 3B), que possivelmente foi gerado pelo processo de rifteamento que afetou a margem equatorial (Matos, 2000).

### Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total

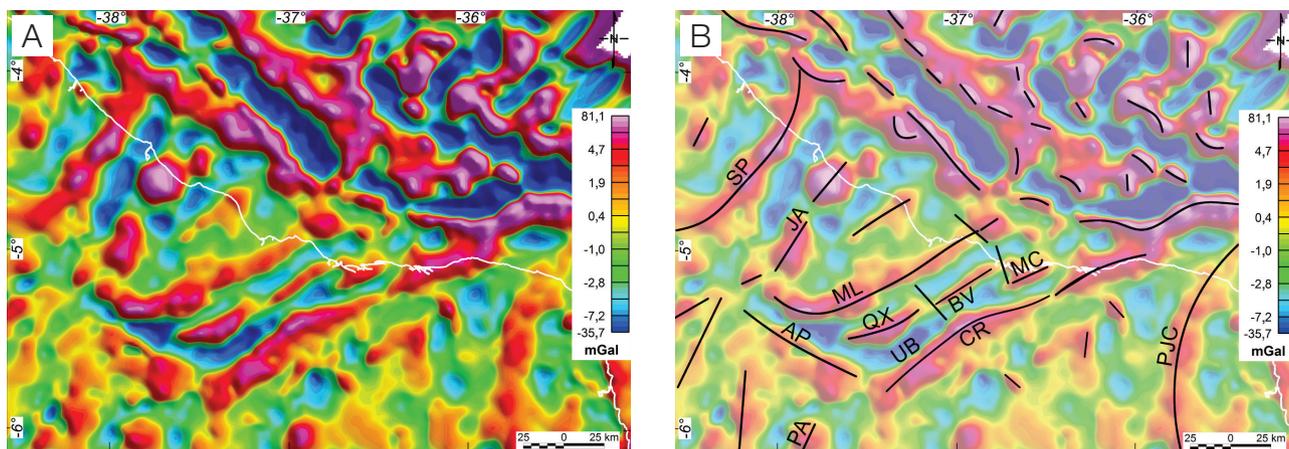
A aplicação da inclinação do sinal analítico (ISA) no gradiente horizontal total das anomalias gravimétricas intermediárias

permitiu o realce de lineamentos gravimétricos que, por sua vez, facilitou a interpretação do arcabouço estrutural do Rifte Potiguar. As feições estruturais da arquitetura interna do rifte e as principais falhas de borda ficaram bem evidenciadas no mapa ISA-GHT (Figura 4). Nota-se que nessa região ocorrem expressivas anomalias alongadas na mesma direção das grandes estruturas do embasamento pré-cambriano (NE-SW), que determinam a compartimentação dos horsts e grábens na porção *onshore* da bacia (Figura 4). Os resultados da interpretação desse mapa reforçam a hipótese de que houve reativação das grandes estruturas neoproterozoicas durante a implantação do rifte. O limite leste do rifte é marcado pelo Sistema de Falhas de Carnaubais, que se estende por cerca de 140 km (na parte emersa da bacia). Os resultados também permitem confirmar a influência das falhas de transferência (NW-SE), como a do Sistema de Falhas de Apodi, que reativaram estruturas brasileiras (Figura 4). Por sua vez, o Sistema de Falhas de Apodi delimita a porção sul do rifte, com aproximadamente 76 km de extensão. A região marinha e as demais porções adjacentes ao Rifte Potiguar apresentam lineamentos gravimétricos mais esparsos e orientados em várias direções, especialmente para N e NE.

## ASSINATURAS MAGNÉTICAS DA BACIA POTIGUAR

### Matched filter

A aplicação da técnica *matched filter* permitiu uma análise do conteúdo espectral das anomalias magnéticas reduzidas ao polo da Bacia Potiguar (Figura 5A) em três diferentes faixas de comprimento de onda (Figuras 5B a 5D), relacionadas basicamente com fontes causativas profundas (regionais), intermediárias e rasas (residuais).



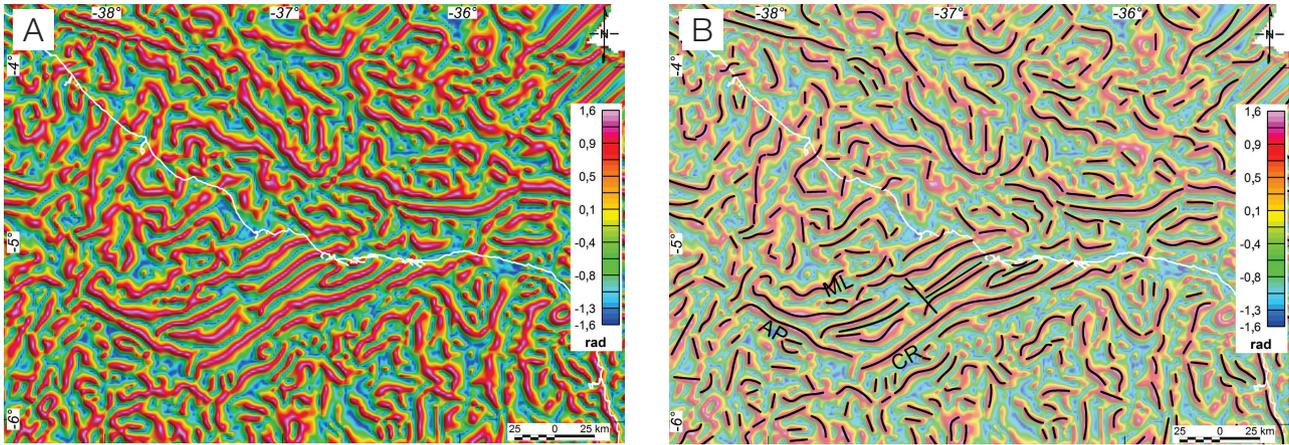
Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe; PA: Portalegre; PJC: Picuí João-Câmara. Falhas: AP: Apodi; CR: Carnaubais; ML: Mulungu. Horsts: QX: Quixaba; MC: Macau. Grabens: AP: Apodi; BV: Boa Vista; UB: Umbuzeiro.

**Figura 3.** Mapas de anomalias gravimétricas intermediárias (comprimentos de onda entre 2,5 e 25 km) (A) e seus respectivos lineamentos (B). Linha branca representa a linha de costa.

*Anomalias de maior comprimento de onda (regionais)*

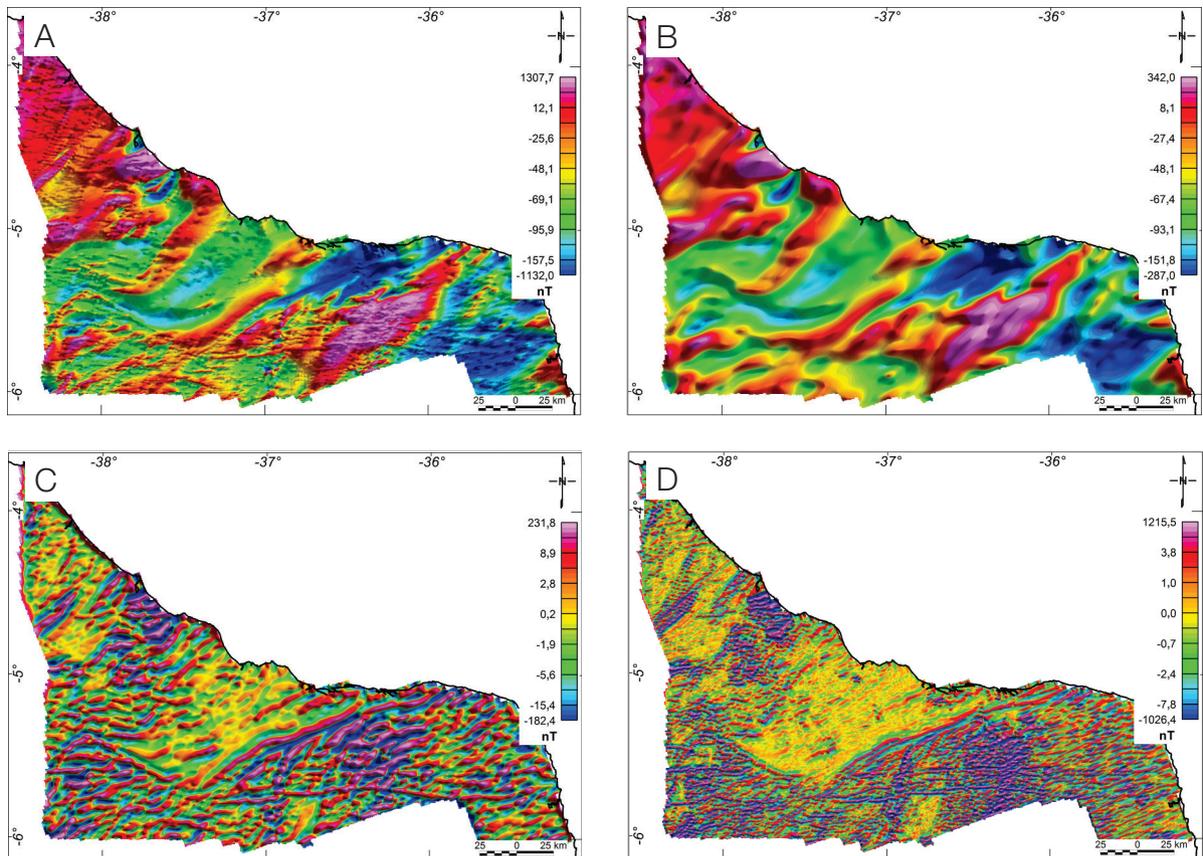
A partir da aplicação do *matched filter*, uma profundidade média das fontes de 10,5 km foi estimada para o conteúdo

do sinal magnético com comprimento de onda da ordem de 20 a 60 km (números de onda  $> 0,05 \text{ km}^{-1}$ ). O mapa obtido mostra que a área estudada é caracterizada pela alternância de faixas positivas e negativas das anomalias magnéticas



Linha branca representa a linha de costa. Falhas: AP: Apodi; CR Carnaubais; ML: Mulungu.

**Figura 4.** Mapa da inclinação do sinal analítico aplicado ao gradiente horizontal total (ISA-GHT) das anomalias gravimétricas (A) e seus respectivos lineamentos (B).



**Figura 5.** Mapa de anomalias magnéticas reduzidas ao polo (A), de maior comprimento de onda ( $< 20 \text{ km}$ ) (B), de comprimento de onda intermediário ( $3,5 \text{ a } 20 \text{ km}$ ) (C) e de curto comprimento de onda ( $> 3,5 \text{ km}$ ) (D), com as principais falhas do Rift Potiguar.

reduzidas ao polo (Figura 6), associadas às fontes mais profundas na crosta superior. Seus *trends* principais apresentam direções preferenciais NE-SW e representam importantes estruturas do embasamento pré-cambriano, como as zonas de cisalhamentos Senador Pompeu e Jaguaribe (SP e JA, Figura 6) e as bordas falhadas do rifte (AP, CR e ML, Figura 6). O Sistema de Falhas de Apodi, relacionado às falhas de transferência na borda sul do Rifte Potiguar, é caracterizado por uma anomalia sinuosa, que se inicia com direção NW-SE e passa a NE-SW quando este encontra o Sistema de Falhas Carnaubais.

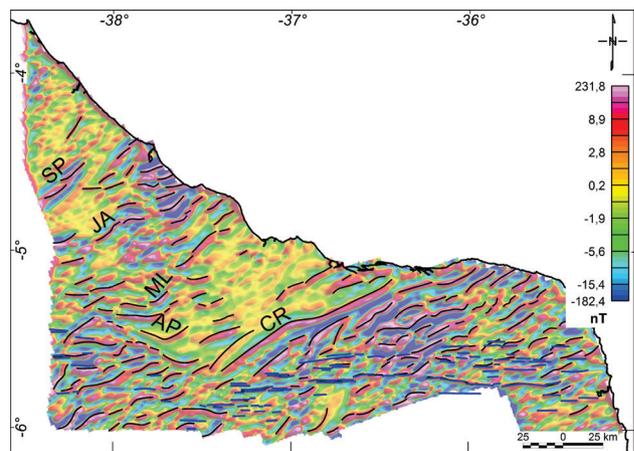
*Anomalias com comprimento de onda intermediário*

A aplicação do *matched filter* para a banda espectral radial intermediária do sinal magnético permitiu estimar uma profundidade média para as fontes magnéticas em torno de 3,2 km, e dessa forma as anomalias magnéticas relacionadas apresentam comprimento de onda na ordem de 3,5 a 8,5 km. A partir do mapa obtido se observa que os *trends* principais ocorrem na direção NE-SW, revelando as principais estruturas que limitam o rifte (AP, CR e ML, Figura 7) e as zonas de cisalhamento do embasamento adjacente (SP e JA, Figura 7). Subordinadamente, ocorrem anomalias orientadas na direção E-W, nas porções mais a sul da bacia. Estas estão relacionadas aos diques Rio Ceará-Mirim (Figura 7). Nota-se que nessa faixa de número de onda ainda há influência de anomalias relacionadas a fontes mais profundas do embasamento, que apresentam continuidades mais próximas à superfície (SP e CR, Figura 7). Na região do Rifte Potiguar, as anomalias apresentam-se mais suaves em decorrência da baixa susceptibilidade magnética do espesso pacote sedimentar da bacia (Figura 7). Algumas anomalias alongadas, positivas

com direção NE-SW, e negativas com direção NW-SE, aparecem na porção *onshore* do Rifte Potiguar, e também marcam os limites de grábens e horsts no mapa da Figura 3.

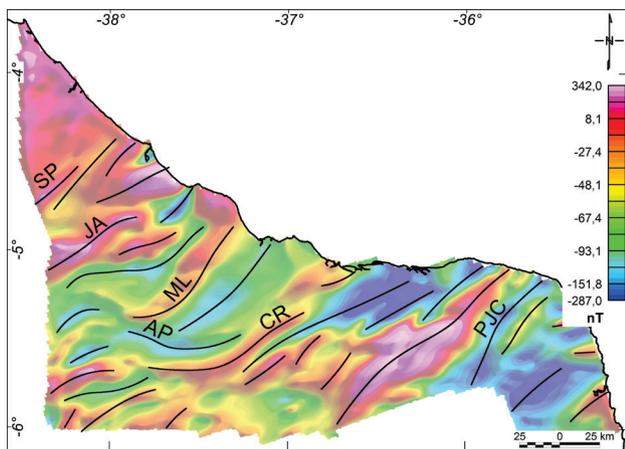
*Anomalias com curto comprimento de onda (residuais)*

A aplicação do *matched filter* para a banda espectral que concentra o conteúdo do sinal magnético de menor comprimento de onda (> 3,5 km) apresentou uma profundidade média das fontes de 0,74 km. O padrão magnético anômalo resultante (Figura 8) revela a estruturação das fontes mais superficiais da crosta. Os *trends* principais apresentam direções preferenciais



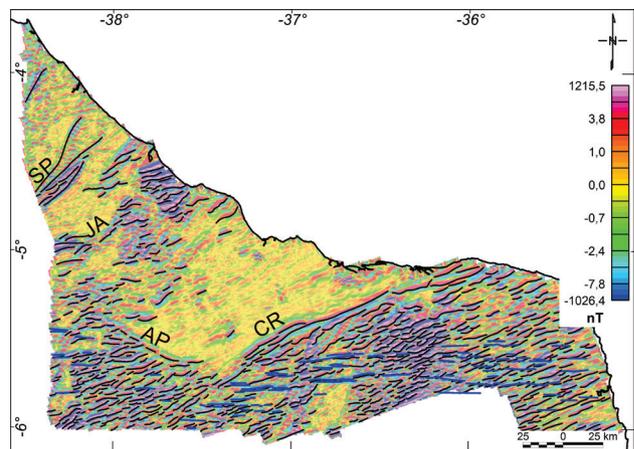
Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe. Falhas: A: Apodi; C: Carnaubais; ML: Mulungu. Linhas azuis representam os diques Rio Ceará-Mirim.

**Figura 7.** Mapa de anomalias magnéticas de comprimento de onda intermediário e seus respectivos lineamentos.



Zonas de Cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe; PJC: Picuí-João Câmara. Falhas: AP: Apodi; CR: Carnaubais; ML: Mulungu.

**Figura 6.** Mapa de anomalias magnéticas de maior comprimento de onda e seus respectivos lineamentos.



Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe. Falhas: AP: Apodi; CR: Carnaubais. Linhas azuis representam os diques Rio Ceará-Mirim.

**Figura 8.** Mapa de anomalias magnéticas de menor comprimento de onda e seus respectivos lineamentos.

NE-SW, que representam as falhas da borda leste da bacia (CR, Figura 8) e a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (SP, Figura 8). As anomalias com direção E-W correspondem ao enxame de diques Rio Ceará-Mirim na porção sul da área (Figura 8) e, subordinadamente, os *trends* NW-SE estão relacionados à Falha de Apodi (AP, Figura 8), que trunca os *trends* NE-SW da estruturação tectônica principal do embasamento na porção *onshore* da bacia.

### Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal

O mapa de ISA-GHT apresenta um adensamento de lineamentos magnéticos, os quais estão alinhados segundo a direção preferencial NE-SW (Figura 9). Esses alinhamentos geofísicos apresentam, em geral, um formato linear, curvilíneo e, por vezes, sigmoidal. Estes ocorrem em toda a área mapeada, inclusive sob os pacotes sedimentares da bacia, refletindo tanto feições do embasamento quanto da estruturação interna do rifte.

A aplicação dessa técnica permitiu evidenciar também um padrão secundário de anomalias orientado segundo a direção preferencial E-W, cortando o *trend* NE-SW. Essas anomalias correspondem ao enxame de diques do magmatismo Rio Ceará-Mirim e ocorrem formando entre três e quatro faixas paralelas e descontínuas a sul do limite meridional da bacia (RCM) (Figura 9B). Por fim, ocorrem subordinadamente lineamentos com direção NW-SE, os quais interrompem estruturas com direção NE (AP) (Figura 9B).

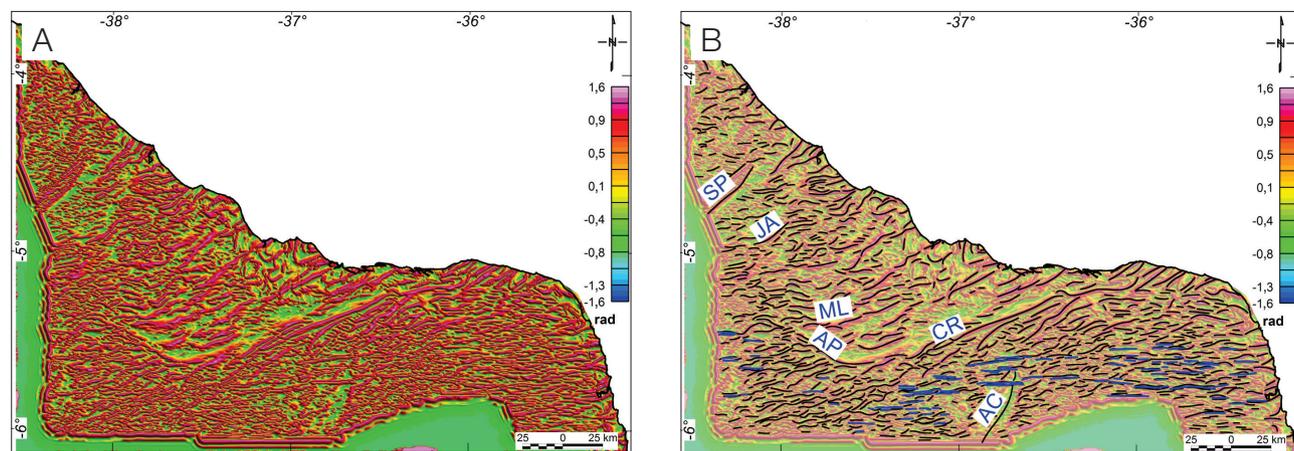
A resposta obtida com o ISA-GHT vem confirmar hipóteses a respeito da influência tectônica das estruturas pré-cambrianas durante a formação da bacia, considerando que a estruturação brasileira NE-SW é predominante em toda a região. Esses *trends* NE representam principalmente extensas falhas (CR) (Figura 9B) e zonas de cisalhamento (SP e AC) (Figura 9B).

## ARCABOUÇO TECTÔNICO REVELADO PELOS MÉTODOS POTENCIAIS

### Domínios tectono-geofísicos

Com base na geologia de superfície (Figura 1) e nos mapas gravimétricos (Figuras 2 a 4) e magnéticos (Figuras 5 a 9), foi possível correlacionar as assinaturas geofísicas observadas com oito domínios tectono-geofísicos (Figura 10). Esses domínios foram denominados a partir das subdivisões lito-estruturais dos domínios Rio Grande do Norte e Ceará Central, previamente mapeados (Almeida et al., 1981, 2000; Van Schmus et al., 1995; Fetter, 1999; Bizzi et al., 2003; Angelim et al., 2006) e que constituem o arcabouço estrutural da Bacia Potiguar emergsa.

O Domínio Ceará Central (CC) (Figura 10) é caracterizado por assinaturas gravimétricas (Figura 3A) marcadas pela alternância de mínimos (-13 a 0,2 mGal) e máximos gravimétricos (11 a 15 mGal), refletindo as variações de densidade das seqüências metassedimentares (menos densas) e seu embasamento gnáissico-migmatítico (mais denso) do Domínio Ceará Central. A zona de cisalhamento Senador Pompeu (SP) é seu limite leste, e fica bem evidenciada por um expressivo máximo gravimétrico de direção NE-SW (Figura 10A). No mapa de anomalias magnéticas reduzidas ao polo, predominam anomalias negativas, que variam de -149 a -38 nT (Figura 10B). Esse padrão anômalo está relacionado às extensas seqüências metassedimentares meso a neoproterozoicas do Domínio Ceará Central, descritas na literatura (Fetter, 1999), e das unidades sedimentares cenozoicas que recobrem essa região. Seu limite leste é marcado por lineamentos magnéticos de direção NE-SW, correspondente à Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (SP) (Figura 10).



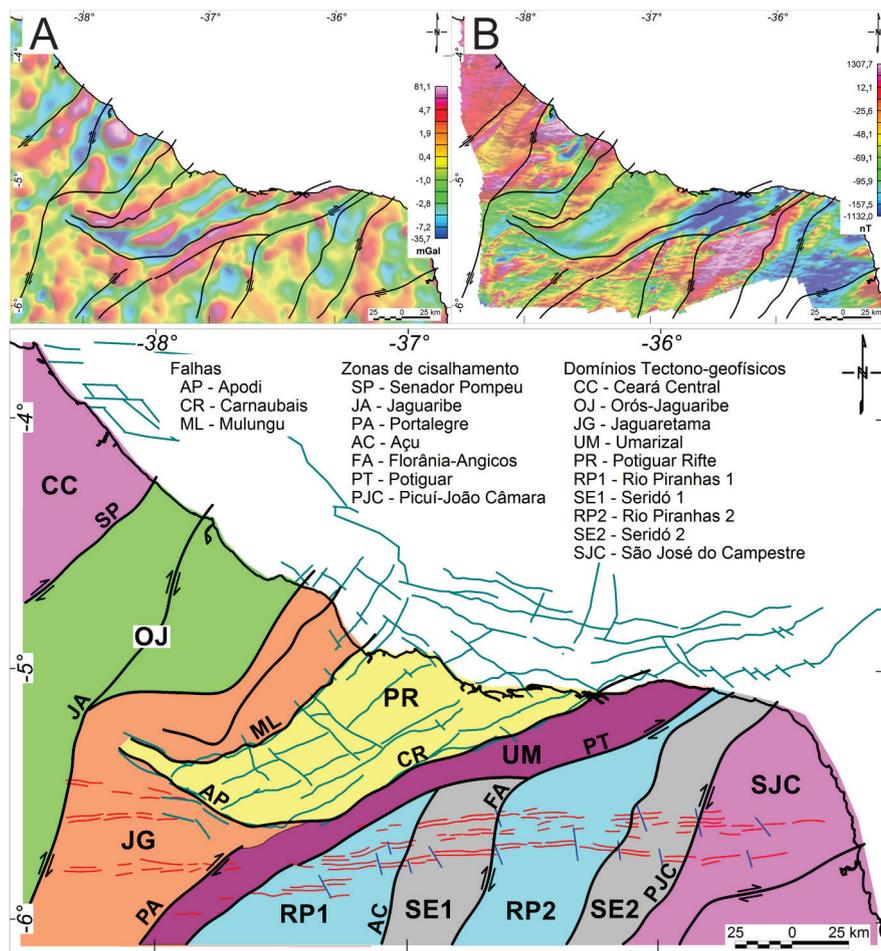
Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe; AC: Açú. Falhas: AP: Apodi; ML: Mulugu; CR: Carnaubais. Linhas azuis representam os diques Rio Ceará-Mirim.

**Figura 9.** Mapa da inclinação do sinal analítico aplicado ao gradiente horizontal total (ISA-GHT) das anomalias magnéticas de menor comprimento de onda (A) e seus respectivos lineamentos (B).

O Domínio Orós-Jaguaribe (OJ) (Figura 10) é limitado pelas zonas de cisalhamento Senador Pompeu (SP), a oeste, e Jaguaribe (JA), a leste, sendo correlacionado ao terreno proterozoico de mesmo nome descrito por Sá et al. (1995) e Cavalcanti (1999), entre outros. A assinatura gravimétrica desse domínio é marcada por mínimos e máximos, que variam de -13,3 a 11,5 mGal e direção preferencial NE-SW (Figura 10A). As variações de densidade na Faixa Jaguaribe estão provavelmente relacionadas à alternância de rochas metassedimentares, menos densas (xistos e quartzitos), com gnaisses-migmatitos e ortognaisses, relativamente mais densos. Sua assinatura magnética é também dominada por anomalias magnéticas reduzidas ao polo negativas e positivas, variando entre -149 e 15 nT (Figura 10B).

O Domínio Jaguaretama (JG) é limitado pelas zonas de cisalhamento Jaguaribe e Portalegre e pelas falhas principais

do Rifte Potiguar (Figura 10) (Cavalcanti, 1999). É caracterizado por anomalias gravimétricas de amplitudes baixas a intermediárias (-13 a 11 mGal), alongadas nas direções NE-SW e, excepcionalmente, N-S. Mínimos gravimétricos próximos à linha de costa possivelmente indicam a presença de estruturas grabeniformes recobertas pela sedimentação costeira. As anomalias magnéticas reduzidas ao polo são essencialmente negativas neste domínio (-149 a -80 nT), as quais se propagam em direção ao Rifte Potiguar com direção NE-SW. *Trends* magnéticos E-W e NW-SE concentram-se na porção oeste desse domínio. Alguns poucos conjuntos de máximos magnéticos estão presentes nas partes sul e norte, atingindo até 15 nT. Na região norte, destaca-se uma anomalia magnética positiva circular no limite da linha de costa (Figura 10A), cuja associação mineral e litológica não é cartografada em superfície, porém, é coincidente com a anomalia semicircular, mapeada nos mapas



As linhas azuis representam a estruturação do Rifte Potiguar, *onshore* e *offshore*. As linhas vermelhas representam as faixas formadas pela intrusão dos diques do Magmatismo Ceará-Mirim.

**Figura 10.** Mapas de anomalias gravimétricas residuais (A), e de anomalias magnéticas reduzidas ao polo (B), com delimitação dos domínios tectono-geofísicos. Mapa de domínios tectono-geofísicos do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (C).

gravimétricos (Figura 3A). Em geral, as anomalias gravimétricas e magnéticas desse domínio apresentam um *trend* preferencial NE-SW, e sua geologia corresponde a rochas gnáissicas-migmatíticas do Complexo Jaguaratama (descrito por Cavalcanti, 1999).

O Domínio Rife Potiguar (PR) (Figura 10) apresenta uma assinatura gravimétrica (Figura 3A) marcada pela alternância de mínimos e máximos, alongados na direção NE-SW. Esses máximos (de até 11 mGal) ocorrem associados aos horsts do rife, que limitam os principais grábens da bacia, identificados pelos mínimos gravimétricos de até -13 mGal (Figura 10A). As bordas falhadas do rife (Mulungu – ML, Apodi – AP e Carnaubais – CR) (Figura 10) são bem acentuadas no mapeamento gravimétrico por anomalias positivas alongadas nas direções NE-SW (ML e CR) e NW-SE (AP).

As anomalias magnéticas reduzidas ao polo desse domínio apresentam direção NE-SW, e são predominantemente negativas (-149 a -84 nT) (Figura 10B). Estão suavizadas devido ao espesso pacote sedimentar que recobre essa região, com espessuras atingindo cerca de 6 km, conforme Matos (1992, 1999). É limitado, a leste, por uma acentuada anomalia positiva magnética de direção NE-SW, que marca a borda falhada do Rife Potiguar, representada pelo Sistema de Falhas de Carnaubais (CR) (Figura 10A). Uma expressiva anomalia positiva (15 nT) ocorre mais restrita no limite NE do rife, próximo à linha de costa (Figura 10B), sugerindo uma importante mudança composicional no substrato cristalino da bacia.

O Domínio Umarizal (UM) (Figura 10) representa uma faixa estreita, em sua porção sul, que se alarga quando adentra a bacia. É limitado pela Zona de Cisalhamento Portalegre (PA) e pelo Sistema de Falhas de Carnaubais, a oeste, e pelo denominado Lineamento Potiguar, a leste (LP) (Figura 10). As anomalias geofísicas apresentam direção preferencial NE-SW. Sua assinatura gravimétrica é caracterizada um máximo alongado de até 11 mGal (Figura 10A), paralelo à borda falhada do rife e correlato a corpos intrusivos ao longo da Zona de Cisalhamento de Portalegre. Apresenta anomalias magnéticas negativas, que variam de -149 a -64 nT, sendo a porção norte dominada por um expressivo mínimo (Figura 10B). Esse domínio é definido principalmente por sua assinatura geofísica, sendo as unidades geológicas correspondentes os gnaisses e migmatitos do Complexo Caicó e corpos granitoides da Suíte Intrusiva Umarizal (descritos por Van Schmus et al., 1995), na sua porção sul, e que devem se estender para norte, recobertos pelo pacote sedimentar da bacia.

O Domínio Rio Piranhas (RP) é correlato ao Terreno Rio Piranhas (Cavalcanti, 1999), sendo dividido em duas subunidades pela faixas de rochas supracrustais da Faixa Seridó (Figura 10). Na porção ocidental (RP1) (Figura 10), limita-se, a oeste, pelo Lineamento Potiguar (LP) e, a leste, pela Zona de Cisalhamento Açú (AC). É caracterizado pela

predominância de mínimos gravimétricos (-13 a 0,2 mGal), com direção NE-SW (Figura 10A). Apresenta mínimos magnéticos (-102 a -80 nT), em sua porção sul, correlatos às rochas metamórficas do Complexo Caicó. A norte, prevalecem anomalias positivas com *trend* E-W (15 nT), relacionadas ao enxame de diques Rio Ceará-Mirim (Figura 10). O Domínio RP, em sua porção mais ocidental (RP2) (Figura 10), é limitado a oeste pela Zona de Cisalhamento Florânia-Angicos (FA) e é caracterizado por uma expressiva anomalia positiva (15 nT), com orientação direção E-W, também associados ao magmatismo Rio Ceará-Mirim. No extremo norte desse domínio, observa-se uma anomalia negativa semicircular (-149 nT) de direção NE-SW. No seu extremo sul, também ocorrem anomalias de caráter negativo (Figura 10B). Seu contexto geológico diz respeito a rochas ortognaissicas e metavulcano-sedimentares, pertencentes ao Complexo Caicó (Angelim, 2006).

Assim como o Domínio Rio Piranhas, o Domínio Seridó pode ser dividido em duas partes (Figura 10). Sua porção ocidental, os subdomínios Seridó 1 (SE1) e Seridó 2 (SE2) são limitados a oeste e leste por zonas de cisalhamento (AC, FA e PJC) (Figura 10). A assinatura gravimétrica dessas regiões é marcada pela predominância de mínimos gravimétricos de direção NE-SW, refletindo sua sequência de rochas metassedimentares relativamente menos densa. Mínimos gravimétricos circulares podem estar associados a corpos graníticos, que afetam as unidades metamórficas. Enquanto que uma forte anomalia positiva, alongada na direção NNE-SSW, marca o limite leste do subdomínio SE2 (Figura 10A). A resposta magnética desse domínio é marcada por anomalias negativas (-130 a -80 nT) pouco expressivas, entrecortadas pelos lineamentos E-W, relativos aos enxames de diques mesozoicos (Figura 10B). As unidades geológicas aflorantes dizem respeito às rochas ortognaissicas e metassedimentares do Grupo Seridó, descritas por Van Schmus et al. (1995).

O Domínio São José do Campestre (SJC) é marcado pela predominância de mínimos gravimétricos, no entanto, uma expressiva anomalia positiva alongada na direção N-S, com inflexão para NE-SW, marca seu limite oeste (PJC) (Figura 10). A geologia local é constituída por ortognaisses paleoproterozoicos, migmatitos, granitoides de composição sienogranítica, gnaisses e granodioritos, pertencentes ao Terreno São José do Campestre (Dantas et al., 2004). Sua assinatura magnética é marcada por mínimos e máximos magnéticos (-149 a 15 nT), alongados na direção E-W. As anomalias positivas ocorrem principalmente na porção norte desse domínio e as anomalias negativas na porção sul (Figura 10B). Seu limite sul é marcado pelo Lineamento Patos (Figura 10).

É importante ressaltar que esses domínios tectono-geofísicos refletem a complexidade do quadro estrutural da Bacia Potiguar. Essa região é marcada por máximos

e mínimos gravimétricos e magnéticos, com expressivas anomalias alongadas na direção NE-SW e associadas à estruturação do embasamento pré-cambriano, como foliações e falhas, e também às extensas zonas de cisalhamento. Os padrões das anomalias geofísicas revelam, assim, a herança estrutural brasileira na formação do Rifte Potiguar. As zonas de cisalhamento têm um formato sigmoidal e apresentam direções quase N-S com inflexões para NE-SW. Apresentam-se bem marcadas nos mapas geofísicos, ocorrendo como alinhamentos gravimétricos e magnéticos, e representam importantes limites de blocos crustais da Província Borborema (Figuras 2 a 9).

As principais zonas de cisalhamento identificadas nos mapas geofísicos foram: Senador Pompeu, Jaguaribe, Açú, Florânia-Angicos e Picuí João-Câmara (SP, JA, AC, FA e PJC, respectivamente, inferidas nas Figuras 3B, 6B, 7B, 8B e 9B). Com base nos resultados obtidos através da aplicação do *matched filter*, aos dados gravimétricos e magnéticos, pode-se obter uma estimativa da continuidade dessas estruturas em profundidade. Os mapas resultantes (Figuras 3 e 6 a 8) mostram que as zonas de cisalhamento SP, PA e PJC ocorrem nas diferentes bandas espectrais, enquanto que as zonas de cisalhamento JA e FA não são observadas nos mapas magnéticos para fontes mais profundas (Figura 6), ou seja, ocorrem apenas nas porções mais rasas da crosta. A Zona de Cisalhamento AC é refletida apenas no mapa magnético de comprimento de onda intermediário (Figura 9).

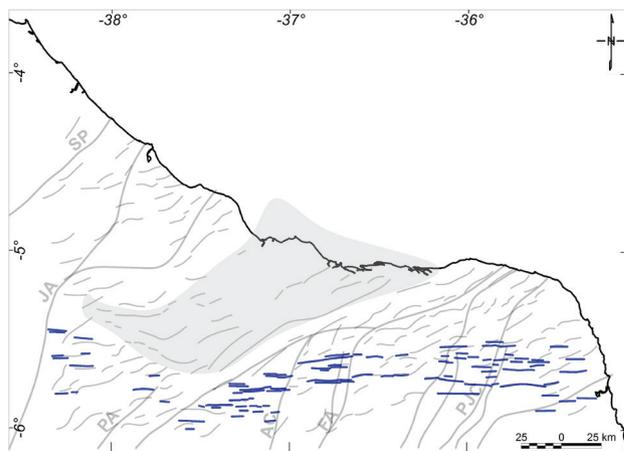
### Enxame de diques Rio Ceará-Mirim

Os mapas geofísicos analisados mostram que na borda sul da Bacia Potiguar ocorre um padrão estrutural com direção E-W que está relacionado ao enxame de diques de diabásio e basalto do Magmatismo Rio Ceará-Mirim. A ocorrência desses diques é resultante da movimentação transtensional, que deu origem à Bacia Potiguar (Angelim, 2006). Os diques apresentam comprimentos métricos de até cerca de 10 km de extensão (Angelim, 2006). Devido a essa considerável extensão, esses corpos ígneos apresentam boa representação nos mapas magnéticos formando os alinhamentos E-W, que ocorrem em pelo menos três faixas de anomalias alongadas e de curto comprimento de onda por toda a borda sul da bacia (Figura 11). Sua assinatura magnética peculiar permite seu mapeamento ao longo das plataformas de Aracati e Touros, cuja cobertura sedimentar é, em média, inferior a 500 m (Bezerra et al., 2014). Na região do Rifte Potiguar, os lineamentos E-W não são claramente identificados, sugerindo a ausência dos diques na zona rifteada. Porém, é plausível que os mesmos ocorram no embasamento do rifte e a falta de anomalias magnéticas esteja vinculada à atenuação de sua expressão causada pelo espesso pacote sedimentar, que pode atingir mais de 6.000 m de espessura (Matos, 1992).

### Estruturas principais da bacia e sua relação com o rifteamento da margem leste

A formação do *trend* de bacias rifte Cariri-Potiguar está relacionada à fase de rifteamento da placa sul-americana, Sin-rifte II (Matos, 1992, 1999) ou Rifte I (Pessoa Neto et al., 2007), que afetou o interior do nordeste do Brasil e a região emersa da Bacia Potiguar. Porém, na concepção moderna do modelo de rifte, a fase jurássica é tratada como pré-rifte e as fases de rifte da margem, considerando o diacronismo com as bacias do Sudeste, não são mais divididas integralmente em duas fases rifte distintas, como proposto por Matos (1992). Em todo o caso, a formação do Rifte Potiguar foi controlada por extensas zonas de cisalhamento, fraturas e unidades litoestratigráficas.

Na fase inicial do rifteamento, muitas estruturas do embasamento pré-cambriano serviram como planos de fraqueza para acomodação de novos esforços distensionais, que estavam sendo aplicados na crosta durante o Neocomiano conforme sugerido pelos mapas geofísicos apresentados neste trabalho (Figura 10). Essas estruturas reativadas correspondem ao principal *trend* estrutural da bacia, com direção NE-SW, e são principalmente zonas de cisalhamento e falhas normais (De Castro et al., 2012). Esses fatos ficam bem evidenciados nos mapas geofísicos, que indicam um mesmo padrão estrutural que afeta toda a região do embasamento adjacente à bacia e que se repete nas porções abaixo dos pacotes sedimentares da bacia (Figura 12B). Portanto, pode-se considerar que a porção emersa da bacia foi afetada por uma distensão NNW-SSE, e que depois a porção *offshore* foi afetada por



Sombreamento em cinza representa os limites do Rifte Potiguar. Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe; PA: Portalegre; AC: Açú; FA: Florânia-Angicos; PJC: Picuí João-Câmara.

**Figura 11.** Mapa de lineamentos geofísicos do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar emersa, destacando *trends* de anomalias magnéticas E-W associadas ao enxame de diques Rio Ceará-Mirim (linhas azuis).

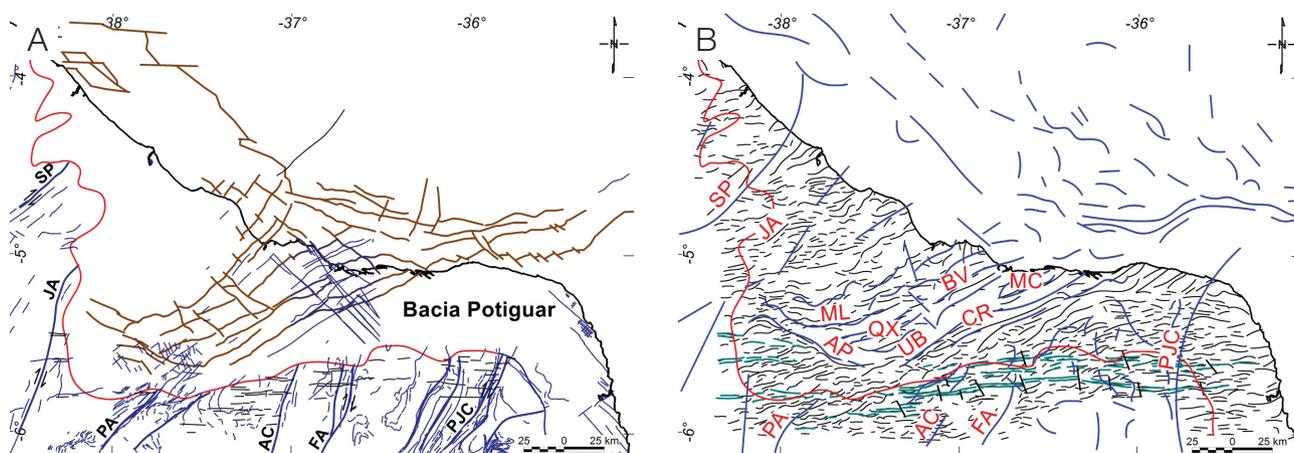
uma distensão quase E-W. Quando a distensão passou para a porção externa a norte, essa rotação do transporte tectônico pode ter influenciado as estruturas da primeira fase. De alguma forma, pode ter havido alguma acomodação de baixa magnitude nas estruturas de transferência, visto que toda a borda da placa sul-americana estava sob regime transtensional. Análises mais detalhadas, incluindo dados sísmicos e de poços exploratórios, são necessárias para compreender melhor o que tal rotação poderia ter causado às estruturas da primeira fase rifte.

A correlação dos lineamentos geofísicos e mapas estruturais prévios (Matos, 1992; CPRM, 2004; Gonçalves, 2009; De Castro e Bezerra, 2015) mostra que os resultados obtidos neste trabalho, em especial a partir dos mapas magnéticos, evidenciam com sucesso a expressão geofísica das estruturas do embasamento cristalino da Bacia Potiguar (Figura 12). Também fornece informações a respeito da expressão gravimétrica e magnética das estruturas sob a espessa cobertura sedimentar. Nesse contexto, a arquitetura do Rifte Potiguar, claramente mostrada nos mapas gravimétricos (Figuras 3 e 4), é composta por horsts e grábens que também acompanham a estrutura pretérita NE-SW. Essa geometria interna do rifte é indicada com base na alternância de máximos e mínimos gravimétricos alongados na direção NE-SW, cujos limites apresentam boa coincidência com o mapa estrutural do rifte. Esse mapa foi obtido através da interpretação de dados sísmicos e de poços por Matos (1992) e está ilustrado na Figura 12A. O quadro tectônico da bacia do ponto de vista dos métodos potenciais mostra uma geometria controlada principalmente por importantes sistemas de falhas. Nos resultados obtidos neste trabalho, essas estruturas apresentam-se como extensos alinhamentos

positivos, delimitando o rifte, e representando os sistemas de falhas de Carnaubais (CR), a leste, Mulungu (ML), a oeste, e Apodi (AP), a sul (Figura 12B). Esses alinhamentos geofísicos são coincidentes com as estruturas tectônicas que já foram evidenciadas em seções sísmicas (Matos, 1992) e em mapeamentos geológicos-geofísicos prévios (Figura 12A), como nos trabalhos de Angelim (2006), De Castro et al. (2012) e De Castro e Bezerra (2015).

### Estruturas principais da bacia e sua relação com o rifteamento da margem equatorial

Durante o Albiano-Cenomaniano, condições transtensionais prevaleceram por todo o Domínio Equatorial (Matos, 2000; Antobreh et al., 2009). Essa nova condição tectônica resultou em uma deformação NW-SE na Bacia Potiguar. Tal deformação pode ser associada com um padrão estrutural realçado pelos métodos potenciais. Pouco se sabe ainda a respeito da influência dos esforços decorrentes da margem equatorial na parte emersa da Bacia Potiguar. No entanto, De Castro e Bezerra (2015) apresentaram uma nova abordagem com relação à terminação sul do rifte. Para esses autores, apesar do rifte na parte emersa já ter sido abortado quando culminou a fragmentação na margem equatorial, os esforços decorrentes tiveram influência na arquitetura final do rifte. Os autores mostraram a ocorrência de dois novos grábens (Bica e Algodões) a SW do Rifte Potiguar. A formação desses grabens é consistente com a segunda fase de extensão do rifte. Para eles, a Falha de Apodi, que se comportou como uma falha normal no primeiro estágio de extensão (Matos, 1992, 1999; Pessoa Neto et al., 2007), passou a responder como uma falha dextral a esses novos esforços. Mínimos gravimétricos na borda SW do Rifte

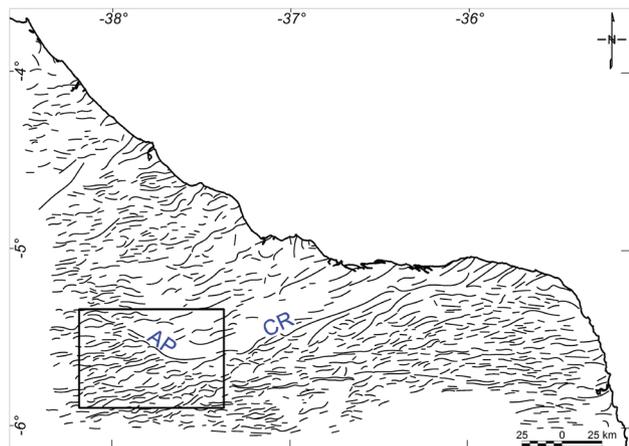


Linha vermelha em ambos os mapas representa o limite da Bacia Potiguar. Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe; PA: Portalegre; AC: Açú; FA: Florânia-Angicos; PJC: Picuí João-Câmara. Falhas: AP: Apodi; CR: Carnaubais; ML: Mulungu. Horsts: QX: Quixaba; MC: Macau. Grábens: AP: Apodi; BV: Boa Vista; UB: Umbuzeiro.

**Figura 12.** Mapa de lineamentos geológicos (linhas azuis e pretas) disponíveis na literatura (Fonte: CPRM, 2004; Gonçalves, 2009). Linhas de cor marrom são derivadas de seções sísmicas (Fonte: Matos, 1992; De Castro e Bezerra, 2015) (A). Mapa com a composição de lineamentos extraídos do mapeamento gravimétrico (linhas azuis) e lineamentos extraídos do mapeamento magnético (linhas pretas e verde) (B).

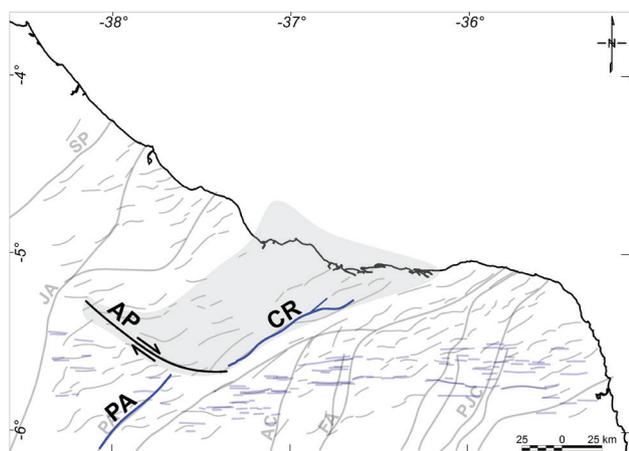
Potiguar indicam a presença de grábens orientados na direção NW-SE (Figura 3), sugerindo que falhas de transferência do primeiro estágio de rifteamento tenham sido reativadas devido aos esforços transtensionais E-W, durante os processos de formação da margem equatorial (Figuras 13 e 14).

A sul do Rifte Potiguar, pode-se observar que o Sistema de Falhas de Apodi secciona o *trend* pré-cambriano, resultando em um padrão de truncamento (Figura 13). Assim, pode-se considerar que a Falha de Apodi se moveu lateralmente,



O detalhe mostra o truncamento entre o Sistema de Falhas Apodi (AP) e a estruturação pré-cambriana. CR: Sistema de Falhas Carnaubais.

**Figura 13.** Mapa de lineamentos magnéticos extraídos do mapa da inclinação do sinal analítico aplicado ao gradiente horizontal total (ISA-GHT) das anomalias magnéticas de menor comprimento de onda (Figura 9).



Zonas de cisalhamento: SP: Senador Pompeu; JA: Jaguaribe; PA: Portalegre; AC: Açú; FA: Florânia-Angicos; PJC: Picuí João-Câmara. Falhas: AP: Apodi; CR: Carnaubais.

**Figura 14.** Mapa estrutural do Rifte Potiguar, destacando o deslocamento entre a zona de cisalhamento Portalegre e o sistema de falhas Carnaubais (linhas azuis).

cortando o arcabouço estrutural pré-cambriano, o que é consistente com o estudo apresentado por De Castro e Bezerra (2015). Além disso, essa nova abordagem pode ser usada para justificar um deslocamento lateral de aproximadamente 6 km entre duas importantes estruturas da bacia, a Zona de Cisalhamento Portalegre e o Sistema de Falhas Carnaubais. Para Pedrosa Jr. et al. (2010) e De Castro et al. (2012), o sistema de falhas é decorrente da reativação rúptil da zona de cisalhamento brasileira. Como é possível observar na Figura 14, essas estruturas não coincidem entre si. Contudo, adotando-se a abordagem de De Castro e Bezerra (2015) e considerando um movimento lateral dextral tardio da Falha de Apodi, o Sistema de Falha Carnaubais pode ser uma extensão da Zona de Cisalhamento Portalegre, que foi truncada e deslocada para leste, devido à reativação da Falha de Apodi.

Por fim, os lineamentos magnéticos (Figuras 12B e 13) mostram que as estruturas NNW-SSE, decorrentes dos esforços tectônicos da margem equatorial, cujo transporte tectônico tem direção principal E-W (Matos, 2000; Pessoa Neto et al., 2007; Antobreh et al., 2009), podem ter se estendido até aos diques Rio Ceará-Mirim. Esses diques são deslocados por fraturas e/ou falhas com orientação aproximadamente NNW. Na região do Sistema de Falhas Apodi, esses diques parecem ser interrompidos, reaparecendo novamente no lado oeste deste segmento (Figura 11).

## CONCLUSÕES

Este estudo apresentou as assinaturas gravimétrica e magnética do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar e do seu embasamento cristalino adjacente. Os padrões anômalos são marcados por máximos e mínimos gravimétricos e magnéticos, extensos alinhamentos e três diferentes padrões estruturais. Esses padrões e alinhamentos revelam uma evolução geotectônica complexa para a bacia, que foi controlada fortemente pela estruturação herdada do embasamento pré-cambriano.

A compilação a partir da literatura disponível de dados geológicos de superfície e mapas estruturais, obtidos em seções sísmicas, permitiu uma boa correlação dos padrões estruturais inferidos a partir dos dados gerados com os levantamentos gravimétrico e magnético e o arcabouço estrutural conhecido da bacia. Assim, foi possível definir oito domínios tectono-geofísicos para o embasamento adjacente da Bacia Potiguar, corroborando as evidências de que a mesma se encontra instalada sobre um quadro tectônico complexo.

O principal padrão estrutural evidenciado nos mapas geofísicos é NE-SW, fortalecendo as hipóteses de reativação das expressivas estruturas pré-cambrianas durante os processos de rifteamento. A aplicação de filtros de separação das bandas espectrais dos dados gravimétricos e magnéticos mostrou que essas importantes estruturas ocorrem desde a interface crosta-manto até as porções mais rasas da crosta ou em superfície.

O conjunto de lineamentos observados nos dados magnéticos com direção E-W que ocorre ao longo de toda borda sul da bacia revela a ocorrência do enxame de diques do Magmatismo Rio Ceará-Mirim na forma de 3 ou 4 faixas de diques retilíneos, paralelos e segmentados. Os mesmos truncam a estruturação NE-SW do embasamento pré-cambriano, ao mesmo tempo que estão ausentes na região do rifte e aparentemente são deformados por fraturas com direção NW-SE. Essas relações temporais confirmam as evidências de que o Magmatismo Rio Ceará-Mirim está associado aos primeiros estágios de rifteamento, decorrentes dos esforços que deram origem à margem continental leste do Brasil.

O truncamento dos lineamentos NE-SW no limite sul da bacia contribui para a hipótese de propagação das deformações decorrentes do rifteamento da margem equatorial para o interior do continente, assim como a presença de deformações NW-SE nos diques do Magmatismo Rio Ceará-Mirim, e o possível deslocamento entre a Zona de Cisalhamento Portalegre e o Sistema de Falhas de Carnaubais. No entanto, essa abordagem ainda carece de mais investigações.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pela cessão dos geofísicos e ao Editor da Revista Geologia USP, Série Científica, e aos dois revisores anônimos, cujas correções e sugestões permitiram a melhoria considerável deste trabalho. SFS agradece ao Programa PRH 22 ANP/UFRN por sua bolsa de mestrado. DLC e FHRB agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas suas bolsas de produtividade.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). Brazilian structural provinces, an introduction. *Earth-Sciences Review*, 17(1-2), 1-29.
- Almeida, F. F. M., Brito Neves, B. B., Carneiro, C. D. R. (2000). The origin and evolution of the South American platform. *Earth-Science Reviews*, 50(1-2), 77-111.
- Angelim, L. A. A. (2006). *Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte*. Escala 1:500.000. Serviço Geológico do Brasil/CPRM.
- Antobreh, A. A., Faleide, J. I., Tsikalas, F., Planke, S. (2008). Rift-shear architecture and tectonic development of the Ghana margin deduced from multichannel seismic reflection and potential field data. *Marine and Petroleum Geology*, 26(3), 345-368. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2008.04.005.
- Arai, M., Botelho Neto, J., Lana, C. C., Pedrão, E. (2000). Cretaceous dinoflagelates provincialism in Brazilian marginal basins. *Cretaceous Research*, 21(2-3), 351-366. DOI: 10.1006/cres.2000.0211.
- Araripe, P. T., Feijó F. J. (1994). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1), 127-141.
- Araujo, C. E. G., Weinberg, R. F., Cordani, U. G. (2013). Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. *Terra Nova*, 26(2), 157-168. DOI: 10.1111/ter.12084.
- Archanjo, C. J., Araújo, M. G. S., Launeau, P. (2002). Fabric of the Rio Ceará-Mirim mafic dike swarm (Northeastern Brazil) determined by anisotropy of magnetic susceptibility and image analysis. *Journal of Geophysical Research*, 107(B3), 1-13.
- Aslanian, D., Moulin, M., Olivet, J. L., Unternehr, P., Matias, L., Bache, F., Rabineau, M., Nouzé, H., Klingelhoefer, F., Contrucci, I., Labails, C. (2009). Brazilian and African passive margins of the central segment of the South Atlantic Ocean: kinematic constraints. *Tectonophysics*, 468(1-4), 98-112. DOI: 10.1016/j.tecto.2008.12.016.
- Attoh, K., Brown, L., Guo, J., Heanlein, J. (2004). Seismic stratigraphic record of transpressional uplift on the Romanche transform margin, offshore Ghana. *Tectonophysics*, 378(1-2), 1-16. DOI: 10.1016/j.tecto.2003.09.026
- Baranov, V., Naudy, H. (1964). Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, 29(1), 67-79.
- Barbosa, J. A., Maia, M. F., Lima Filho, M., Magalhães, J. R., Correia Filho, O. J. (2014). Seismic stratigraphy of the onshore portion of Pernambuco Basin: evidence of break up during Middle Albian for the South Atlantic Rift in Northeast Brazil. *AAPG Annual Exhibition and Convention, Houston*. Search and Discovery Article #30324. DOI: 10.13140/RG.2.1.2943.2809.
- Bertani, R. T., Da Costa, I. G., Matos, R. M. D. (1990). Bacia Potiguar. In: De Raja Gabaglia, G. P., Milani, E. J. (Coords.), *Origem e evolução de bacias sedimentares* (v. 2). Brasil: Petrobras.
- Bezerra, F. H. R., Rossetti, D. F., Oliveira, R. G., Medeiros, W. E., Brito Neves, B. B., Balsamo, F., Nogueira, F. C. C., Dantas, E. L., Andrades Filho, C., Góes, A. M. (2014). Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. *Tectonophysics*, 614, 78-90.

- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2003). Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (Eds.), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil* (v. 1, 87-165). Brasília: Serviço Geológico do Brasil - CPRM.
- Blarez E., Mascle, J. (1984). Shallow structure and evolution of the Ivory Coast and Ghana transform margin. *Marine and Petroleum Geology*, 5(1), 54-64. DOI: 10.1016/0264-8172(88)90039-6.
- Briggs, I. C. (1974). Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39(1), 39-48.
- Brito Neves, B. B., Dos Santos, E. L., Van Schumus, W. R. (2000). Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (Eds), *Tectonic evolution of South America* (v. 1, 151-178). *31st International Geological Congress*. Rio de Janeiro: SPEC.
- Caixeta, J. M., Ferreira, T. S., Machado Jr., D., Teixeira, J. L., Romeiro, M. A. T (2014). Albian Rift system in the Northeastern Brazilian margin: an example of rifting in hyper-extended continental crust. In: *AAPG International Conference and Exhibition*, abstracts 1-13. Search and Discovery Article #30378. Istanbul: AAPG.
- Cavalcanti, J. C. (1999). *Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado). Natal: Centro de Ciências Exatas e da Terra – UFRN.
- Chang, H. K., Koswman, R. O., Figueiredo, A. M. F. (1988). New concepts on the development of east Brazilian marginal basins. *Episodes*, 11(3), 194-202.
- Chang, H. K., Kowsman, R. O., Figueiredo, A. M. F., Bender, A. A. (1992). Tectonics and stratigraphy of the East Brazil rift system: an overview. *Tectonophysics*, 213(1-2), 97-138. DOI: 10.1016/0040-1951(92)90253-3.
- CPRM (2004). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Jaguaribe – Folha SB24*. Escala: 1:1.000.000. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil/CPRM.
- Cressie, N. (1990). The origins of kriging. *Mathematical Geology*, 22(3), 239-252.
- Dantas, E. L., Van Schmus, W. R., Hackspacher, P. C., Fetter, A. H., Brito Neves B. B., Cordani, U., Nutman A. P., Williams, I. S. (2004). The 3.4–3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, 130(1-4), 113-137.
- De Castro, D. L., Bezerra, F. H. R. (2015). Fault evolution in the Potiguar Rift termination, equatorial margin of Brazil. *Solid Earth*, 6, 185-196.
- De Castro, D. L., Medeiros, W. E., Jardim de Sá, E. F., Moreira, J. A. M. (1998). Mapa gravimétrico do nordeste setentrional do Brasil e margem continental adjacente: interpretação com base na hipótese de isostasia. *Brazilian Journal of Geophysics*, 16(2/3), 115-131.
- De Castro, D. L., Bezerra, F. H. R., Sousa, M. O. L., Fuck, R. A. (2012). Influence of Neoproterozoic tectonic fabric on the origin of the Potiguar Basin, northeastern Brazil and its links with West Africa based on gravity and magnetic data. *Journal of Geodynamics*, 54, 29-42.
- Dentith, M., Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dickson, W. G., Fryklund, R. E., Odegard, M. E., Green, C. M. (2003). Constraints for plate reconstruction using gravity data: implications for source and reservoir distribution in Brazilian and West African margins basins. *Marine and Petroleum Geology*, 20(3-4), 309-322. DOI:10.1016/S0264-8172(03)00039-4.
- Ferreira, F. J. F., Souza, J., Bongioiolo, A. B. S., De Castro, L. G. (2013). Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3), 133-141.
- Fetter, A. H. (1999). *U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana*. Tese (Doutorado). Kansas: Department of Geology of the Graduate School – KU.
- Gonçalves, L. C. (2009). *Contribuição geofísica a análise do arcabouço tectônico do Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema – NE Brasil*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – UNB.
- Magalhães, J. R., Barbosa, J. A., Oliveira, J. T. C., Lima Filho, M. F. (2014). Characterization of the ocean-continent transition in the Paraíba Basin and Natal Platform region, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 32(3), 481-496.
- Maia, M. F. B. (2012). *Revisão estratigráfica do intervalo Aptiano-Albiano da Bacia de Pernambuco Nordeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado). Recife: Departamento de Geologia – UFPE.

- Maia, M. F. B., Barbosa, J. A., Lima Filho, M., Mort, H. P., Santana, F. R. (2012). Características petrográficas e geoquímicas das formações siliciclásticas (Aptiano-Albiano) da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, 22(1), 55-75.
- Matos, R. M. D. (1987). Sistema de rifts cretáceos do nordeste brasileiro. *Tectos*, 126-159.
- Matos, R. M. D. (1992). The northeast Brazilian rift system. *Tectonics*, 11(4), 766-791.
- Matos, R. M. D. (1999). History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break up between Brazil and West Africa. In: Cameron, N. R., Bate, R. H., Clure V. S. (Eds.), *The oil and gas habitats of the South Atlantic* (v. 153, 55-73). London: Geological Society Special Publications.
- Matos, R. M. D. (2000). Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic. In: W. Mohriak, M. Taiwani (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margins*. Geophysical Monograph 115. Washington: American Geophysical Union.
- Milani, J. E., Brandão, J. A. S. L., Zálan, P. V., Gamboa, L. A. P. (2001). Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3), 352-396.
- Moulin, M., Aslanian, D., Unternehr, P. (2010). A new starting point for the south and Equatorial Atlantic Ocean. *Earth-Sciences Reviews*, 98(1-2), 1-37. DOI: 10.1016/j.earscirev.2009.08.001.
- Neves, S. P., Mariano, G. (1999). Assessing the tectonic significance of a large-scale transcurrent shear zone system: Pernambuco lineament, Northeastern Brazil. *Journal of Structural Geology*, 21(10), 1369-1383. DOI: 10.1016/S0191-8141(99)00097-8.
- Pedrosa Jr., N. C., De Castro, D. L., De Matos, J. P. L. (2010). Assinaturas magnéticas e gravimétricas do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar emersa, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28(2), 265-278.
- Pessoa Neto, O. C., Soares, U. M., Silva, J. G. F., Roesner, E. H., Florencio, C. P., Souza, C. A. V. (2007). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 357-369.
- Phillips, J. D. (2007). *Geosoft eXecutables (GX's) Developed by the U.S. Geological Survey, version 2.0, with notes on GX Development from Fortran Code*. U.S. Geological Survey Open-File Report (2007-1355, 111).
- Rodrigues, R. S. (2012). *Evidências da herança geotectônica pré-cambriana na geração da Bacia Potiguar: um estudo geofísico multidisciplinar*. Dissertação (Mestrado). Natal: Centro de Ciências Exatas e da Terra – UFRN.
- Sá, J. M., McReath, I., Leterrier, J. (1995). Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, Northeast Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3), 299-314.
- Santos, E. J., Souza Neto, J. A., Silva, M. R. R., Beurlen, H., Cavalcanti, J. A. D., Silva, M. G., Dias, V. M., Costa, A. F., Santos, L. C. M. L., Santos, R. B. (2014). Metalogênese das Porções Norte e Central da Província Borborema. In: Silva, M. G., Neto, M. B. R., Jost, H., Kuyumjian, R. M. (Orgs.), *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*, (v. 1, 343-388). Serviço Geológico do Brasil – CPRM.
- Sá, J. M., McReath, I., Leterrier, J. (1995). Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, Northeast Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3-4), 299-314.
- Sial, A. N., Long, L. E., Pessoa, D. A. R., Kawashita, K. (1981). Potassium-Argon ages and strontium isotope geochemistry of Mesozoic and Tertiary basaltic rocks, Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 53(1), 115-122.
- Souza-Lima, W., Hamsi Jr., G. P. (2003). Bacias sedimentares brasileiras: origem, evolução e classificação. *Fundação Paleontológica Phoenix*. Acesso em 20 de junho de 2015, <[http://www.phoenix.org.br/Phoenix49\\_Jan03.html](http://www.phoenix.org.br/Phoenix49_Jan03.html)>.
- Turner, J. P., Green, P. F., Holford, S. P., Lawrence, S. R. (2008). Thermal history of the Rio Muni (West Africa)-NE Brazil margins during continental breakup. *Earth and Planetary Science Letters*, 270(3-4), 354-367. DOI:10.1016/j.epsl.2008.04.002.
- Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Hackspacher, P., Babinski, M. (1995). U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3-4), 267-288.