

Interpretação qualitativa e semiquantitativa dos dados aeromagnéticos sobre a Zona de Cisalhamento Lancinha, porção meridional do Cinturão Ribeira no Estado do Paraná, Sul do Brasil

Qualitative and semiquantitative interpretation of aeromagnetic data over the Lancinha Shear Zone, Southern Ribeira Belt, in Paraná State, Southern Brazil

Luís Gustavo de Castro¹, Francisco José Fonseca Ferreira², Leonardo Fadel Cury², Alberto Pio Fiori², Paulo Cesar Soares², Angela Pacheco Lopes³, Maria José Oliveira⁴

¹Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Caixa Postal 19.001, Centro Politécnico, Jardim das Américas, CEP 81531-990, Curitiba, PR, BR (lgcastro7@gmail.com)

²Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, PR, BR (francisco.ferreira@ufpr.br; cury@ufpr.br; fiori@ufpr.br; p_soares@terra.com.br)

³Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Residência de Fortaleza, Fortaleza, CE, BR (a_p_lopes@hotmail.com)

⁴Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS, Rio de Janeiro, RJ, BR (mjoliveira@petrobras.com.br)

Recebido em 07 de maio de 2014; aceito em 15 de agosto de 2014

Resumo

A caracterização das zonas de cisalhamento na porção meridional do Cinturão Ribeira, PR, bem como seu reconhecimento em profundidade, constitui um grande desafio, pois a falta de informação de subsuperfície dificulta a avaliação destas estruturas crustais neoproterozoicas. A influência destas feições na instalação e evolução da Bacia do Paraná, durante o Fanerozoico, é amplamente aceita pela comunidade geocientífica. O presente trabalho aplica métodos de realce de anomalias (análise qualitativa) e de estimativas de profundidade de fontes (análise semiquantitativa), aos dados aeromagnéticos sobre a Zona de Cisalhamento Lancinha (ZCL) no Estado do Paraná, visando verificar seu arranjo espacial em subsuperfície. O processamento resultou na interpretação do arcabouço magnético-estrutural da área de estudo, a qual foi confirmada por estimativas de profundidade de fontes magnéticas (soluções de Euler). Os resultados indicaram o prolongamento das zonas de cisalhamento Lancinha, Morro Agudo e Itapirapuã sob a cobertura da Bacia do Paraná.

Palavras-chave: Zona de Cisalhamento; Magnetometria; Métodos de realce; Deconvolução de Euler.

Abstract

The characterization of shear zones at the southern portion of the Ribeira Belt, PR, BR, as well as its recognition in depth is a major challenge. Despite the lack of subsurface information, the influence of such structures on the installation and evolution of the Paraná Basin during the Phanerozoic is widely accepted. Therefore, in this paper, are applied methods of anomaly enhancement (qualitative analysis) and estimative of the sources depth (semiquantitative analysis), on the aeromagnetic coverage of the Lancinha Shear Zone area (LSZ) in the Paraná state, in order to verify its spatial arrangement in subsurface. The processing resulted in the interpretation of magnetic-structural framework of the study area, which was validated by the depth estimative of the magnetic sources (Euler solutions). The results indicated the extension of the Lancinha, Morro Agudo and Itapirapuã shear zones under the Paraná Basin coverage.

Keywords: Shear Zone; Magnetometry; Enhancement methods; Euler deconvolution.

INTRODUÇÃO

A interpretação de dados de campos potenciais (gravimétricos e magnetométricos) é amplamente utilizada no delineamento do arcabouço estrutural de bacias sedimentares, sobretudo na exploração de hidrocarbonetos. O processamento de tais dados permite não somente o traçado do arcabouço estrutural destas bacias, mas também possibilita a estimativa de profundidade das fontes associadas a estas feições.

Tais técnicas constituem ferramentas importantes na construção de modelos geológico-geofísicos. Contudo, a interpretação realizada tradicionalmente com base na quebra dos gradientes de mapas aerogeofísicos pode resultar em imprecisões no traçado de lineamentos.

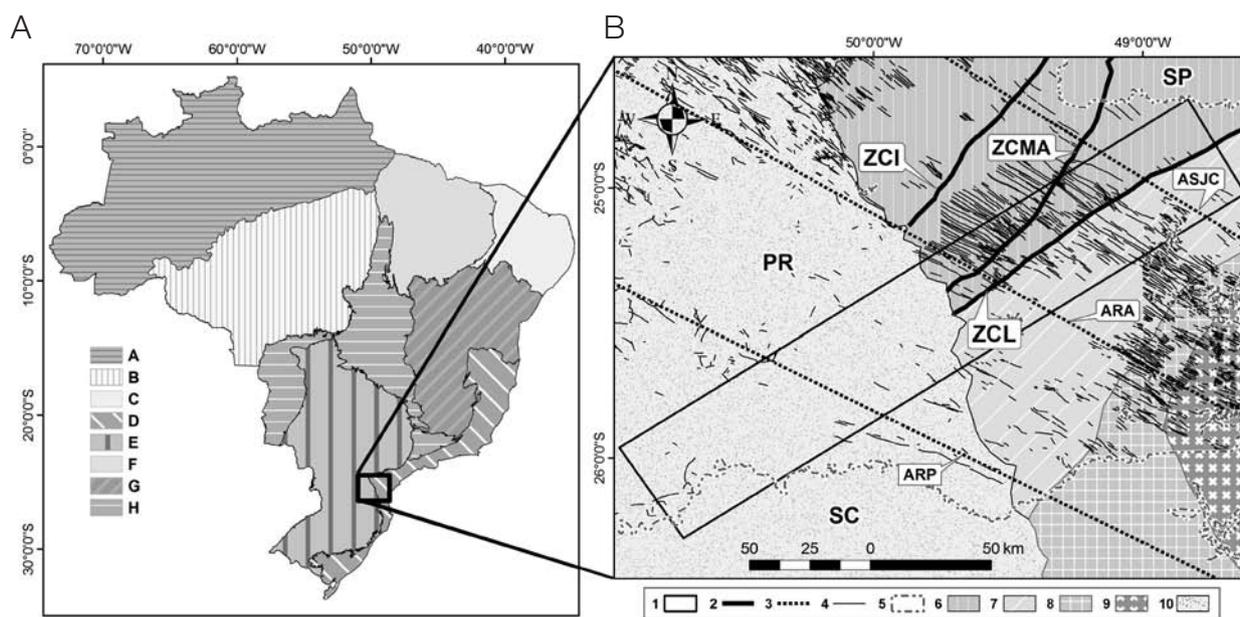
Neste sentido, o presente trabalho propõe uma interpretação magnética-estrutural da Zona de Cisalhamento Lancinha (ZCL) no Estado do Paraná, realizada tanto sobre o segmento aflorante na porção meridional do Cinturão Ribeira como na sua continuidade sob a faixa de rochas sedimentares fanerozoicas da Bacia do Paraná. Foi realizado com base na integração de métodos de análise qualitativa (realce de anomalias magnéticas) e semiquantitativa.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está situada entre as coordenadas geográficas 50°57' e 48°37' de Longitude Oeste e 26°19' e 24°40' de Latitude Sul, na porção Leste do Estado do Paraná, e se estende para Sudoeste até o limite com o Estado de Santa Catarina. Compreende rochas do Pré-Cambriano Paranaense e da Bacia do Paraná, respectivamente inseridas nas Províncias Mantiqueira e Paraná (Almeida et al., 1977, 1981), conforme pode ser observado na Figura 1.

O contexto pré-cambriano da Zona de Cisalhamento Lancinha

A Faixa Ribeira, definida por Almeida et al. (1973), constitui um complexo cinturão de dobramentos e empurrões, o qual se estende ao longo do Sudeste do Brasil no rumo NE-SW por cerca de 1.400 km (Heilbron et al., 2000, 2004; Peternel et al., 2005). De forma simplificada, Heilbron et al. (2008) sintetizam um quadro geral da Faixa Ribeira em um conjunto de diversos terrenos tectono-estratigráficos, limitados por falhas de cavalgamento ou por zonas de cisalhamento transpressivas.



Fonte: (A) Modificado de Almeida et al. (1981) e Bizzi et al. (2001). (B) Adaptado de Basei et al. (1992), Siga Junior et al. (1995), Portela Filho e Ferreira (2003), Heilbron et al. (2008), Cury (2009).

Figura 1. (A) Mapa das Províncias Estruturais do Brasil com a área de estudo demarcada (polígono preto). Províncias Estruturais. A: Amazonas Norte; B: Amazonas Sul; C: Borborema; D: Mantiqueira; E: Paraná; F: Parnaíba; G: São Francisco; H: Tocantins. (B) Compartimentação tectono-estrutural da área de estudo e localização dos alinhamentos do Arco de Ponta Grossa. 1: Área de estudo; 2: Zonas de cisalhamento; 3: Alinhamentos do Arco de Ponta Grossa (APG); 4: Diques do APG; 5: Divisão política. Compartimentos tectônicos – 6: Terreno Apiaí; 7: Terreno Curitiba; 8: Terreno Luis Alves; 9: Terreno Paranaçuá; 10: Bacia do Paraná. Estruturas principais – ZCL: Zona de Cisalhamento Lancinha; ZCI: Zona de Cisalhamento Itaipirapuã; ZCMA: Zona de Cisalhamento Morro Agudo; ASJC: Alinhamento São Jerônimo Curiúva; ARA: Alinhamento Rio Alonzo; ARP: Alinhamento Rio Piquiri.

A porção meridional da Faixa Ribeira no Estado do Paraná é caracterizada por quatro domínios distintos, de tendência NE-SW, limitados por expressivas zonas de cisalhamento cavalgantes ou transcorrentes destrais (Fiori, 1992; Campanha e Sadowsky, 1999; Hackspacher et al., 2000; Basei et al., 2008; Heilbron et al., 2008). São compostos por rochas supracrustais de idade meso a neoproterozoica, de fraco a médio grau metamórfico (Campanha, 2002; Basei et al., 2008). De NW para SE, a Figura 1B mostra os terrenos Apiaí, Curitiba, Luís Alves e Paranaguá. Estes domínios, assim como as estruturas que os condicionam, compõem o embasamento da cobertura sedimentar contígua da Bacia do Paraná (Figura 1B).

Porção integrante do Sistema de Falhamentos Além Paraíba-Cubatão-Lancinha (Sadowski e Montidome, 1987), a ZCL é caracterizada como transcorrente, com movimentação predominantemente dextral, medindo cerca de 150 km de extensão em superfície no Estado do Paraná (Figura 1B), com direção média N50E (Oliveira, 1991). De acordo com Sadowski (1991), a ZCL representa o segmento de exposição crustal mais superficial do sistema. Configura o principal limite tectônico entre os terrenos Apiaí (Norte) e Curitiba (Sul) (Basei et al., 1992; Campanha, 2002). Porém, a sua origem em um contexto de colisão continental não é consensual.

Dentre os principais trabalhos de geologia estrutural realizados no Pré-Cambriano paranaense, merecem destaque os trabalhos de Fiori (1985a, 1985b, 1993a, 1993b), Fassbinder et al. (1994), e Soares et al. (1998). Fiori (1993a) propõe um modelo tectônico sistêmico para o reconhecimento e o entendimento das estruturas observadas no Pré-Cambriano paranaense, propondo uma sucessão de três fases de deformação. A primeira fase é caracterizada por um sistema de baixo ângulo com cavalgamentos associados, nomeado por Fiori (1993a) como Sistema de Cavalgamento Açungui (SCA). Ela é responsável pela geração de foliações S1 e S2 paralelas ou subparalelas aos estratos originais, dobras cerradas e isoclinais. São exemplos desta primeira fase as falhas do Setuva, Betara, Tranqueira, entre outras, onde a análise de indicadores cinemáticos indicam vergência tectônica de NW para SE.

A segunda fase é caracterizada pela geração de dobras em micro, meso e macro escalas, relacionadas a grandes estruturas regionais, a exemplo das antiformas do Setuva, Cerne, Betara e siformas de Almirante Tamandaré e Vuturuvu, associadas ao Sistema de Dobramentos Apiaí (SDA). Por fim, Fiori (1993a) propõe uma terceira fase de deformação, caracterizada pelas principais falhas transcorrentes observadas no Pré-Cambriano paranaense, a exemplo das falhas da Lancinha, Morro Agudo, Cerne, entre outras, associadas ao Sistema de Transcorrência Lancinha (STL).

Para Soares (1987) e Soares e Rostirolla (1997), a zona de falha da Lancinha constitui uma zona de transcorrência com movimentação lateral direita, tardi-colisional,

correspondendo a uma tectônica de escape da convergência intercontinental. Afeta blocos continentais antigos e em sua extensão para oeste, sob a bacia do Paraná, convergindo para a zona de colisão continental (subducção). Esta colisão, situar-se-ia a oeste do lineamento de Itaipirapuã, na faixa Itaiacoca (Soares et al., 2000).

Faleiros (2008) interpreta a ZCL como uma estrutura gerada pela reativação de uma antiga zona de sutura. Assim, não corresponde à sutura propriamente dita, em razão do deslocamento lateral posterior a colisão. Desse modo, seria impossível calcular a dimensão total do rejeito na atualidade. Com base na datação K-Ar de micas na ZCL, o autor atribui uma idade mínima de 534 ± 16 Ma para o movimento lateral relativo dos terrenos a Sul desta estrutura.

Numa primeira avaliação, os terrenos localizados a norte e a sul da ZCL apresentam características geológicas semelhantes (embasamentos gnáissicos do Paleoproterozóico, metassedimentos mesoproterozoicos e granitos neoproterozoicos). Contudo, o reconhecimento de registros específicos nas unidades de embasamento, sequências metassedimentares e granitos sugere importantes diferenças nos eventos geológicos que atuaram nos Terrenos Curitiba e Apiaí (Tabela 1).

A proposta de que a ZCL representou um limite de placas durante o Neoproterozoico é fundamentada por autores como Kalfuss (2001), Cury et al. (2002), Siga Junior et al. (2007) e Faleiros (2008), que ressaltam entre outros argumentos, os contrastes entre as assinaturas geoquímicas, isotópicas e geocronológicas do embasamento gnáissico dos terrenos Apiaí (ao norte da ZCL) e Curitiba (ao sul da ZCL). Siga Junior et al. (2007), por meio de datações U-Pb (zircão), propõem para as rochas do Complexo Atuba, localizadas ao sul da ZCL, uma evolução complexa com idade de formação Arqueana, com intensa migmatização no Paleoproterozóico (2,1 – 2,2 Ga) e Neoproterozoico (~600 Ma), registros estes não observados no Terreno Apiaí. Para as rochas gnáissicas dos núcleos Betara e Tigre, localizados ao norte da ZCL, Cury et al. (2002) e Siga Junior et al. (2011b) caracterizam idades de formação entre 1750 e 1790 Ma (U-Pb zircão), obtidas em rochas graníticas com assinaturas geoquímicas compatíveis com granitos anorogênicos do tipo A, registros estes não observados no Terreno Curitiba.

O contexto fanerozoico da Zona de Cisalhamento Lancinha

A atividade do arcabouço estrutural do embasamento ao longo da evolução tectônica da Bacia do Paraná foi amplamente discutida por diversos autores (Almeida, 1981; Ferreira, 1982; Soares et al., 1982; Cordani et al., 1984; Brito Neves et al., 1984; Zalán et al., 1987; Milani, 1997); porém, permanecem controvérsias com relação a distribuição espacial e temporal das estruturas envolvidas.

A atuação da ZCL na Bacia do Paraná aponta uma área de influência lateral de cerca de 10 km (Oliveira, 1991). Fiori et al. (2012) corroboram esta assertiva e descrevem sua resposta na bacia como uma série de falhas em feixe na superfície, com alternância de altos e baixos topográficos.

Evidências de campo como veios de calcita fraturados, planos de falha com óxido de manganês, além de estrias de atrito nos basaltos da Formação Serra Geral, são atribuídos a mais de uma reativação da ZCL após o Cretáceo e apresentadas como indícios da influência recente da ZCL (Fiori et al. 2012). Ainda mencionam falhas verticais em arenitos da Formação Tinguis (Cenozoico) na região e em Campo Largo, além de fraturas e falhas com indicadores cinemáticos em crosta laterítica da superfície Sulamericana sobre a bacia na região da Serra das Almas (Soares et al., 2002). Tais feições são interpretadas como produto de reativações mais recentes atuantes durante o Neogeno (Soares et al., 2011b).

Propostas de continuidade de feições do embasamento pré-cambriano sob a bacia em escala regional, tendo como base interpretação qualitativa de dados geofísicos foram apresentadas por Zalán et al. (1987), Oliveira (1991), Quintas (1995), Milani (1997), Milani e Ramos (1998), Soares et al. (2000), Artur e Soares (2002), Freitas et al. (2005).

Soares et al. (2000), com base em dados gravimétricos, propõem a continuidade da Faixa Ribeira e suas estruturas sobre a Bacia do Paraná, caracterizada por um baixo

gravimétrico, cuja conexão com a feição correspondente ao cinturão Dom Feliciano se estende até o Uruguai.

Artur e Soares (2002) relacionam a faixa estrutural PT-1, observada em diversos mapas e associada à direção das grandes zonas de falhas do embasamento, com o lineamento Lancinha-Cubatão e com sua continuidade na Bacia do Paraná.

Em seu trabalho de reconstrução do embasamento da Bacia do Paraná, Quintas (1995) discute a continuidade da Faixa Ribeira em subsuperfície com base na continuidade do alinhamento de anomalias negativas do embasamento adjacente sob a bacia, sugerindo, desta forma, um limite NE-SW entre a Faixa Ribeira ao Norte e o Cráton Rio de La Plata ao Sul.

Com base em dados aeromagnéticos da região da borda Leste da Bacia do Paraná contígua a ZCL, Soares et al. (2011a) calcularam a profundidade da Superfície Curie isoterma, a partir da qual os minerais perdem suas propriedades magnéticas. Os resultados indicaram anomalias térmicas estreitas, de direção NE-SW, na região de confluência dos prolongamentos das ZCL e ZCI sob a bacia. As profundidades calculadas para a isoterma de Curie (580°C) variaram de 15 a 40 km, com mínimos de até 10 km ao longo da ZCL e do prolongamento da ZCI sob a bacia (Soares et al., 2011a).

Ao observarmos a complexidade do contexto no qual ZCL está inserida, apresentamos o presente trabalho, que tem como objetivo aplicar, aos dados aeromagnéticos da área de estudo, métodos de análise qualitativa e semiquantitativa,

Tabela 1. Sumário das principais diferenças geológicas entre os terrenos Apiaí e Curitiba, separados pela Zona de Cisalhamento Lancinha.

Eventos		Terreno Apiaí	Terreno Curitiba
Granitos	<i>Magmatismo neoproterozoico</i>	Complexos graníticos Três Córregos e Cunhaporanga, com associações de arco-magmático; granitos sin a tardi colisionais e hidrotermalitos (Prazeres Filho et al., 2003; Cury et al., 2008).	Corpos de menor expressão e em menor quantidade, associados à migmatização no Complexo Atuba (Siga Junior et al., 2007; Mesquita et al., 2013).
	<i>Metamorfismo</i>	Xistos-verdes, localmente atingindo a fácies anfibolito nas proximidades com os núcleos de embasamento (Betara, Tigre, Anta Gorda etc.) (Reis Neto e Soares, 1987; Ebert et al., 1988).	Xistos-verdes na Formação Capiru, atingindo a fácies granulito na Sequência Turvo-Cajati (Faleiros et al., 2008).
Supracrustais	<i>Mineralizações</i>	Depósitos Zn-Pb associados a processos exalativos (Perau, Betara) e outros (Painel) (Daitx, 1996, 1998).	Sem depósitos metalíferos de importância econômica.
	<i>Magmatismo associado</i>	Metavulcanossedimentares, com vulcanismo básico do Calimianiano (Siga Junior et al., 2011a).	<i>Sem registros</i>
Embasamento	<i>Migmatização</i>	<i>Sem registros</i>	Migmatização no Neoproterozoico (registros no Complexo Atuba) (Siga Junior et al., 2007).
	<i>Tafrogênese Estateirana</i>	Granitoides tipo-A deformados, com idades de ca. 1.7 Ga (Cury et al., 2002; Siga Junior et al., 2011b).	<i>Sem registros</i>

Zona de Cisalhamento Lancinha

com o intuito de delinear a distribuição geométrica da ZCL e estruturas associadas em subsuperfície, além de verificar seus prolongamentos e profundidades de fontes sob a Bacia do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo, foram utilizados dados aeromagnéticos provenientes dos levantamentos Serra do Mar Sul e Ponta Grossa – Criciúma (Área 1), integrantes da Base de Projetos Aerogeofísicos do Brasil da Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiros (CPRM – Serviço Geológico do Brasil).

As especificações dos projetos e sua localização são exibidas, respectivamente, na Tabela 2 e na Figura 2A.

Para composição de cada conjunto de dados, foram utilizados dados reduzidos da contribuição do *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF), micronivelados e reduzidos ao polo. O principal atributo da redução ao polo é recalcular os valores do campo magnético, simulando a localização de sua fonte no polo magnético. A aplicação deste recurso proporcionou a relocação das amplitudes máximas das anomalias sobre o centro de suas fontes, facilitando a interpretação geológica dos dados magnéticos.

Os parâmetros utilizados na redução ao polo variam de acordo com o período de execução de cada levantamento (Tabela 3).

Tabela 2. Especificações dos levantamentos aerogeofísicos.

Código CPRM	Contratante	Projeto	Ano	Espaçamento (m)	Altura de voo (m)	Intervalo de amostragem (m)	Linhas (km)
1025	CPRM	Serra do Mar Sul	1975	1.000	150	60	49.880
2010	NUCLEBRAS	Ponta Grossa - Criciúma (Área I)	1971	1.000	120	120	33.810
						Total	104.340

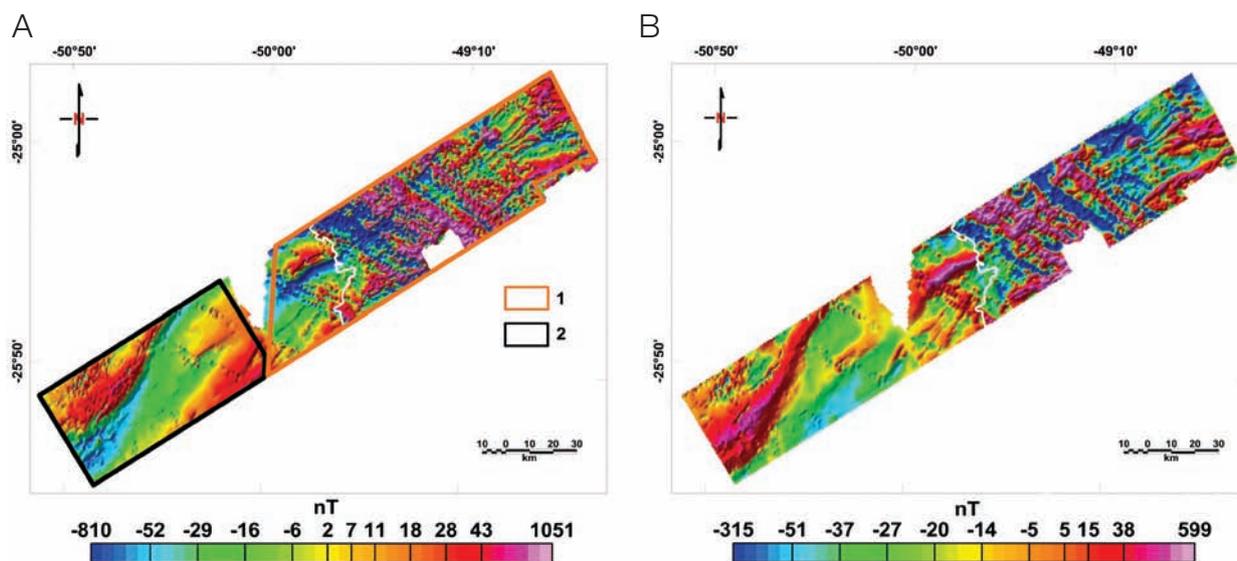


Figura 2. (A) Mapa do campo magnético anômalo (CMA) indicando a localização dos projetos utilizados: (1) Serra do Mar Sul; (2) Ponta Grossa-Criciúma (Área 1). Linha branca indica o contorno do embasamento; (B) Mapa magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP). Linha branca indica o limite do embasamento com a bacia.

Tabela 3. Parâmetros de redução ao polo.

Código CPRM	Contratante	Projeto	Ano	Declinação	Inclinação	Inclinação para correção de amplitude
1025	CPRM	Serra do Mar Sul	1975	-13,1°	-26,9°	-60°
2010	NUCLEBRAS	Ponta Grossa - Criciúma (Área I)	1971	-12,1°	-26,1°	-60°

Devido às diferenças entre os parâmetros de aquisição dos levantamentos (Tabela 2), os dados do projeto Ponta Grossa-Criciúma foram continuados para cima 30 m com o intuito de se nivelar à altura de voo do projeto Serra do Mar Sul (150 m). Tal procedimento foi realizado com auxílio do módulo *MAGMAP* do software *Oasis Montaj*TM.

Os mapas resultantes foram integrados por meio da rotina de sutura do módulo *Grid Knitting* do software *Oasis Montaj*TM, onde as incompatibilidades na intersecção dos levantamentos são ajustadas por seus valores médios. As correções são distribuídas em função do comprimento de onda, o que resulta em um ajuste suave entre as bases de dados (Geosoft, 2010a).

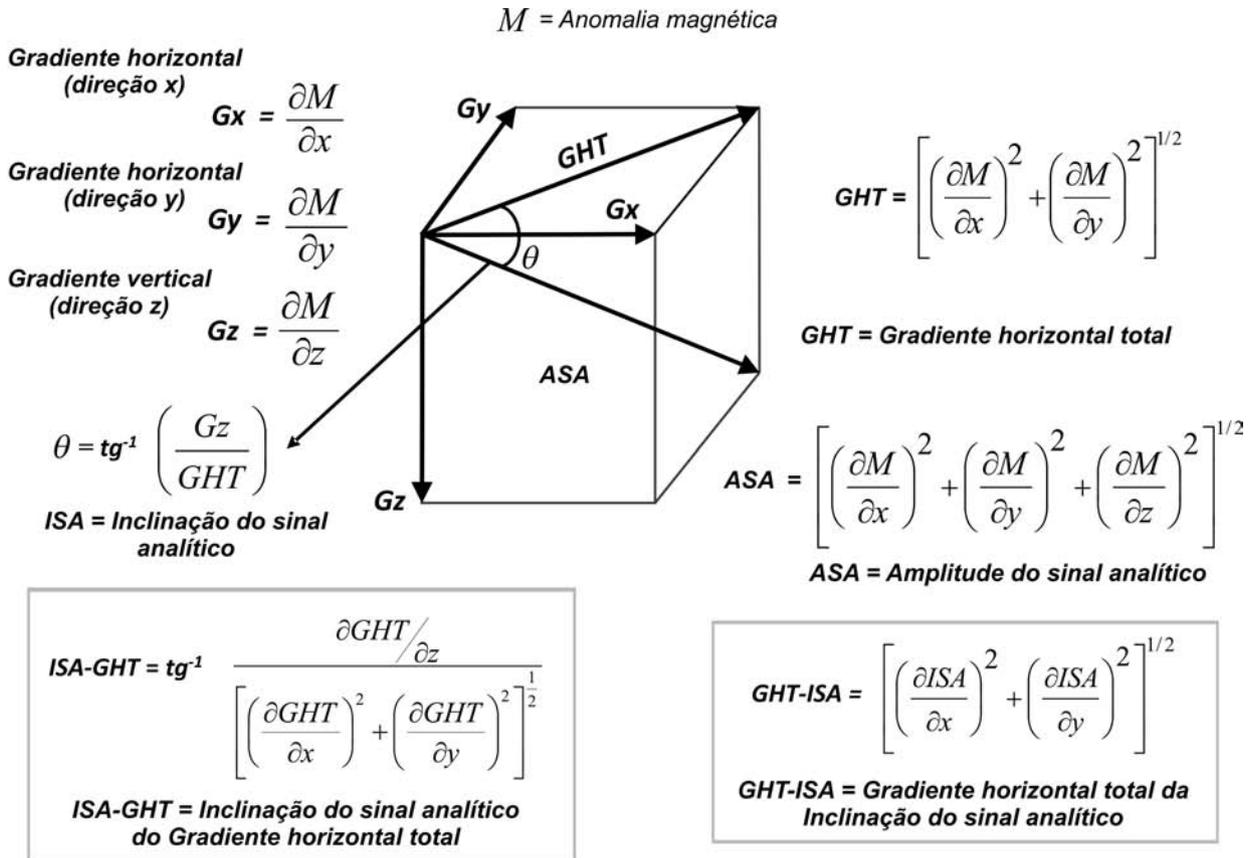
Os dados do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP) foram continuados para cima (1.000 m) visando reduzir os ruídos de alta frequência espacial, o qual constituiu a base da interpretação qualitativa.

Aos dados magnéticos reduzidos ao polo e continuados para cima (1.000 m), foram aplicados métodos de análise qualitativa, cuja principal função é converter as anomalias

em formas mais simples. Esse procedimento possibilita a identificação de feições de interesse. Tais técnicas foram empregadas com o objetivo de facilitar a interpretação geológica, destacando bordas e/ou centros dos corpos causativos das anomalias (Ferreira et al., 2013).

Dentre os principais métodos de realce, foram utilizados no presente estudo os listados a seguir: Amplitude do Sinal Analítico (ASA – Nabighian, 1972, 1974; Roest et al., 1992), Gradiente Horizontal Total (GHT – Cordell e Grauch, 1985), Inclinação ou Fase do Sinal Analítico (ISA – Miller e Singh, 1994), Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA – Verduzco et al., 2004) e Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT – Ferreira et al., 2010, 2013). Um quadro com os principais métodos de realce, suas relações geométricas e respectivas equações pode ser observado na Figura 3.

Com o objetivo de realçar a assinatura magnética das feições aflorantes de direção NE-SW, objeto do presente estudo, foi aplicada uma combinação dos filtros cosseno



Fonte: modificado de Ferreira et al. (2010).

Figura 3. Principais métodos de realce de anomalias magnéticas aplicados na área de estudo.

direcional e *Butterworth* (Geosoft, 2010b) aos mapas magnéticos. Posteriormente, através de sucessivas interações, os sinais de direção N40-60W relacionados aos diques do Alinhamentos do Arco de Ponta Grossa (APG) foram tratados como ruídos direcionais e suprimidos.

Desta forma, a aplicação dos métodos de realce e a interpretação subsequente foram realizadas paralelamente em dois conjuntos de dados: um sem a filtragem direcional, e outro com filtragem dos sinais dos diques (NW-SE).

Tendo em vista o cálculo da profundidade das fontes das anomalias e a relação de sua distribuição espacial com a interpretação qualitativa, aplicou-se a técnica da deconvolução de Euler (Thompson, 1982; Reid et al., 1990). As estimativas de profundidade de fontes são calculadas através de janelas móveis pré-estabelecidas, relacionando o valor do campo magnético e suas derivadas horizontal e vertical, com a localização da fonte, por meio de um índice estrutural. Os resultados que obtiveram uma maior correspondência com a interpretação foram obtidos com o índice estrutural igual a 0 (Contatos), máxima tolerância de profundidade de 5% e tamanho da janela de 10 células de interpolação, equivalendo a 2.500 m.

Buscando verificar a assinatura da ZCL em profundidade, o estudo foi complementado com a análise do espectro de potência radial, o qual possibilitou a decomposição do sinal magnético em níveis distintos de profundidade de acordo com o comprimento de onda. Com base nesta análise, foi aplicada uma filtragem passa baixa (*Low-pass*) no *MAGMAP* do *software Oasis Montaj™*, utilizando o comprimento de onda de 6.270 m obtido pela análise espectral. Tal procedimento possibilitou a geração do mapa magnético de fontes profundas, com fontes localizadas a mais de 3.450 m de profundidade

RESULTADOS

Análise qualitativa

O resultado da integração das bases de dados pode ser observado no mapa do campo magnético anômalo (CMA), exibido na Figura 2A, onde se nota, em sua porção Nordeste, a expressão magnética NW-SE dos diques de diabásio do APG.

A continuação para cima (1.000 m) do CMA-RTP (Figura 2B) resultou no mapa da Figura 4A (CMA-RTP-UW1000m), o qual, como referido, constituiu a base da interpretação qualitativa.

Sobre o mapa do CMA-RTP continuado para cima (Figura 2B), foram aplicados os métodos de realce apresentados na Figura 3, e os mapas com resultados mais significativos na Figura 4.

Ferreira et al. (2013) apresentam o método ISA-GHT, no qual os autores realizam uma série de testes em modelos sintéticos e em dados reais, comparando os métodos de realce empregados no presente estudo com base nos seus atributos.

Os métodos ASA e ISA são apontados como localizadores de centros de corpos causativos de anomalias, onde a ASA apresenta um decréscimo da amplitude com o incremento da profundidade, enquanto a ISA equaliza as amplitudes, sendo, portanto, relativamente insensível à profundidade das fontes.

Por outro lado, os métodos GHT, GHT-ISA e ISA-GHT são apontados como métodos detectores de bordas de corpos, dos quais apenas o ISA-GHT é pouco influenciado pela profundidade das fontes. Esse método posiciona as máximas amplitudes próximas aos corpos, é menos sensível a ruídos e se mostra eficiente no caso de sobreposição (interferência) de fontes (Ferreira et al., 2013).

Em uma análise preliminar dos mapas de realce (Figura 4), observou-se uma atenuação do sinal magnético de NE para SW nos mapas da ASA (Figura 4B), do GHT (Figura 4C) e do GHT-ISA (Figura 4E). Tal efeito indica que as feições observadas no Nordeste da área, cujas respostas são realçadas nestes mapas, se aprofundam em direção a SW, correspondendo ao embasamento sob a Bacia do Paraná. Portanto, se verificou a influência da profundidade na atenuação do sinal, característica destes métodos. De forma oposta, as amplitudes representadas nos mapas da ISA (Figura 4D) e da ISA-GHT (Figura 4F) parecem não variar, mostrando sua relativa independência da profundidade, o que torna possível seu emprego na interpretação do arcabouço magnético-estrutural. Ferreira et al. (2013) ressaltam a aplicabilidade do método ISA-GHT na interpretação qualitativa em áreas com anomalias interferentes, onde corpos magnéticos lineares cruzam estruturas geológicas.

Tanto no mapa magnético anômalo reduzido ao polo (Figura 2B), como nos mapas de realce (Figura 4), duas tendências principais são ressaltadas: uma de direção NW-SE marcada por maiores amplitudes e curtos comprimentos de onda, e outra de grandes comprimentos de onda e amplitudes menores de direção NE-SW.

As tendências NW-SE são relacionadas à resposta do APG e apresentam-se mais pronunciadas na porção Nordeste da área, onde aflora o enxame de diques de diabásio.

A partir da análise visual dos mapas da Figura 4, observou-se que as anomalias de direção NW-SE dificultam o reconhecimento da continuidade dos sinais de direção NE-SW, correspondente às estruturas de interesse desse estudo. Desta forma, foi aplicada ao mapa CMA-RTP-UW1000m (Figuras 4A e 5A) uma combinação dos filtros cosseno direcional e *Butterworth* visando

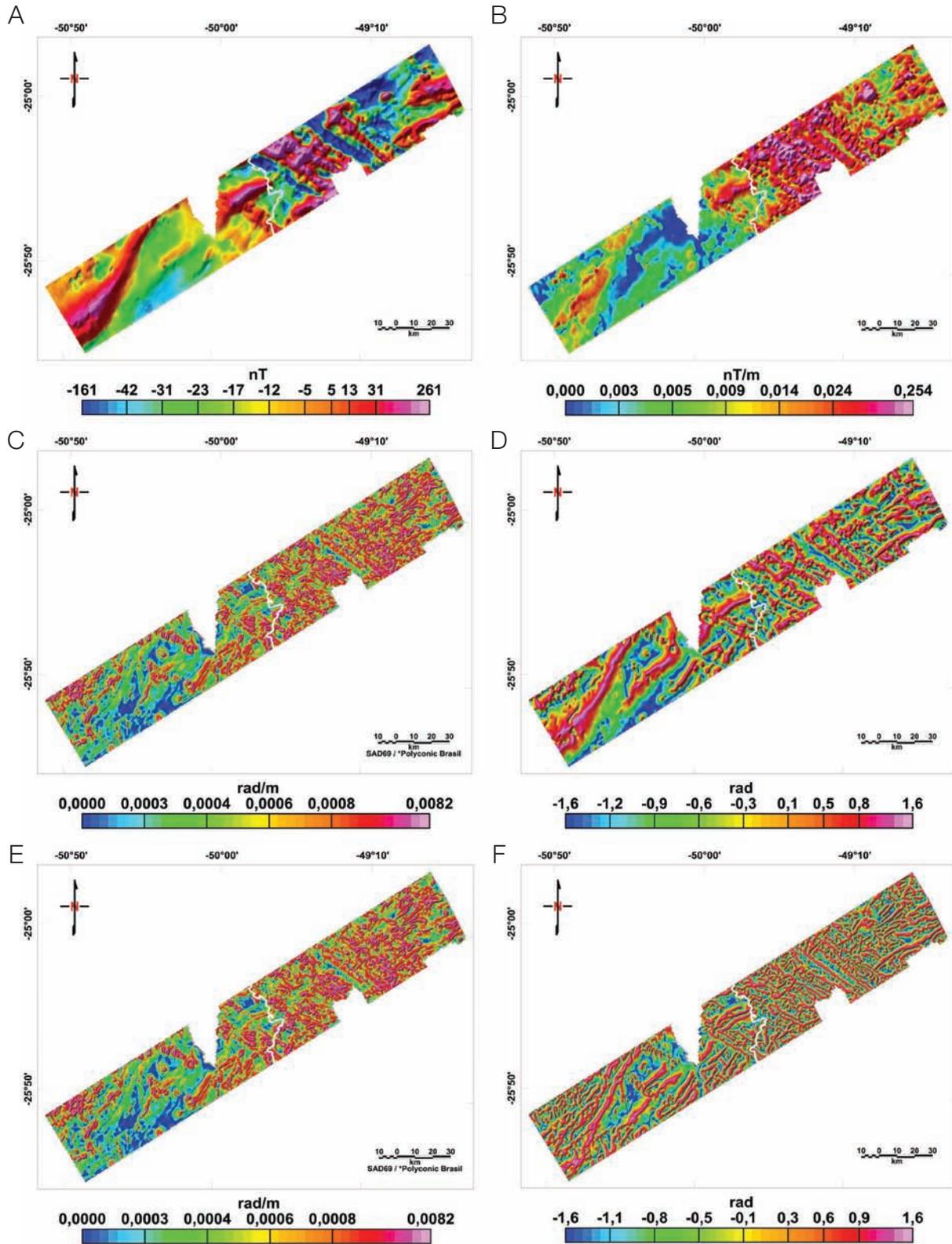


Figura 4. Mapas magnéticos de realce. (A) CMA-RTP-UW1000m (nT); (B) ASA: Amplitude do sinal analítico (nT/m); (C) GHT: Gradiente horizontal total (nT/m); (D) ISA: Inclinação do sinal analítico (rad); (E) GHT-ISA: Gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (rad/m); (F) ISA-GHT: Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (rad). Linha branca indica o limite do embasamento com a bacia.

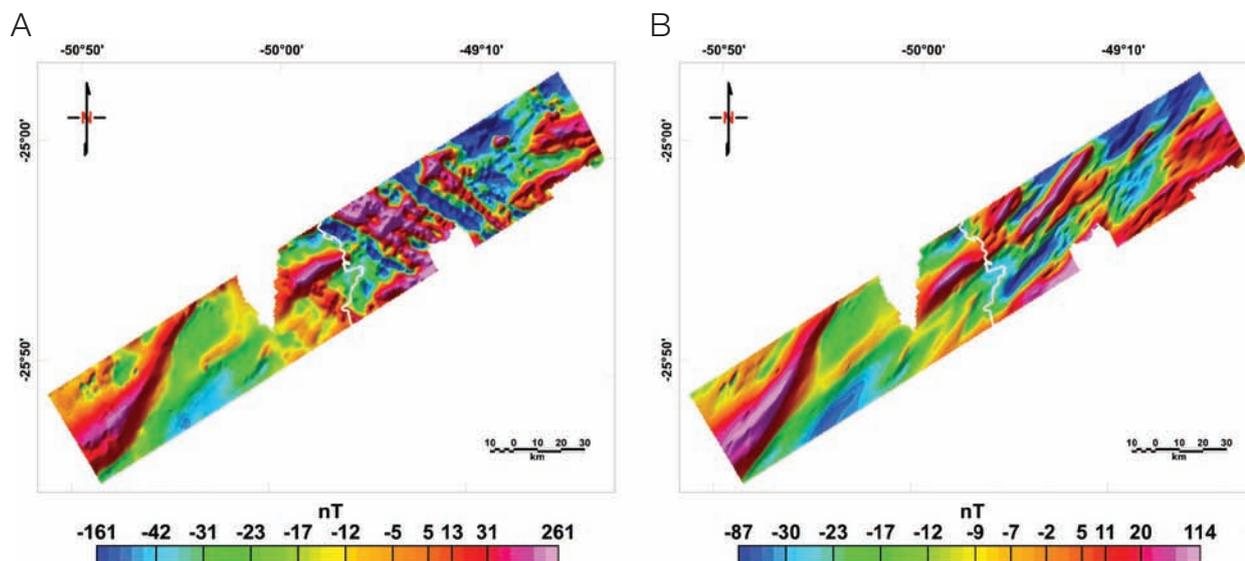


Figura 5. (A) Mapa magnético reduzido ao polo e continuado para cima (CMA-RTP-UW1000m); (B) CMA-RTP-UW1000m filtrado dos sinais dos diques. A Linha branca indica o limite do embasamento com a bacia.

a redução do sinal dos diques, resultando no mapa da Figura 5B, onde as estruturas de direção NE-SW são mais pronunciadas.

A comparação entre os mapas magnéticos de realce (Figura 4) sugeriu que, tanto nos mapas com o sinal dos diques preservado como nos mapas filtrados, o método ISA-GHT (Figura 4F) mostrou maior eficiência do que os demais no delineamento do arcabouço magnético-estrutural, mostrando claramente a continuidade das estruturas do embasamento sobre a bacia.

Desta forma, a interpretação preliminar foi realizada nos mapas ISA-GHT com e sem as filtragens com o apoio dos demais mapas. Os resultados preliminares são exibidos nas Figuras 6A e 6B, sobrepostos respectivamente ao ISA-GHT e ISA-GHT filtrado.

Os resultados da interpretação dos mapas de realce, destacam com maior clareza a direção aproximada N20-30E, relacionada as zonas de cisalhamento de Morro Agudo e Itapirapuã (Figuras 6A e 6B). Contudo, observa-se que os lineamentos, tanto a Norte como ao Sul da ZCL, tem suas terminações tangenciando esta estrutura (Figura 6B). Tal relação é observada na porção aflorante e permite associar esta estrutura a anomalias magnéticas contíguas no domínio da Bacia, resultando na interpretação de seu prolongamento.

A proposta de interpretação do arcabouço magnético-estrutural da área foi obtida pela harmonização entre as interpretações das Figuras 6A e 6B e mostrou coerência tanto com as soluções de Euler (Figura 6C) como com os mapas de fontes profundas (Figura 6D).

Análise semiquantitativa

Aos dados do campo magnético anômalo reduzido ao polo (Figura 2A), foi aplicada a técnica da Deconvolução de Euler, cujas soluções indicaram fontes magnéticas localizadas até 1.000 m de profundidade para a ZCL em sua porção aflorante no embasamento e até 3.000 m sob a Bacia do Paraná (Figura 6C).

Verificou-se, ainda, que o prolongamento da ZCL sob a bacia conecta-se em subsuperfície com o prolongamento da Zona de Cisalhamento Itapirapuã (ZCI), configurando um padrão sigmoidal correspondente ao das zonas de cisalhamento aflorantes. As maiores profundidades de fontes calculadas, acima de 7.000 m, foram localizadas no prolongamento da ZCI (Figuras 6C e 6D).

A interpretação magnético-estrutural das principais zonas de cisalhamento da área de estudo decorreu da integração dos resultados do processamento (análise qualitativa e semiquantitativa) com o mapa geológico de Bizzi et al. (2001). O traçado das estruturas e a interpretação de seus prolongamentos sob a Bacia do Paraná são exibidos sobre o mapa geológico (Bizzi et al., 2001) na Figura 7.

O traçado apresentado para a ZCL na Figura 7 e sua extensão para Sudeste, fora da área de estudo, são corroborados pela interpretação de seções sísmicas apresentadas por Fiori et al. (2012). Os autores interpretam descontinuidades de refletores no Grupo Itararé na Formação Rio Bonito e no Grupo Passa Dois, como falhamentos relacionados a reativações da ZCL na bacia.

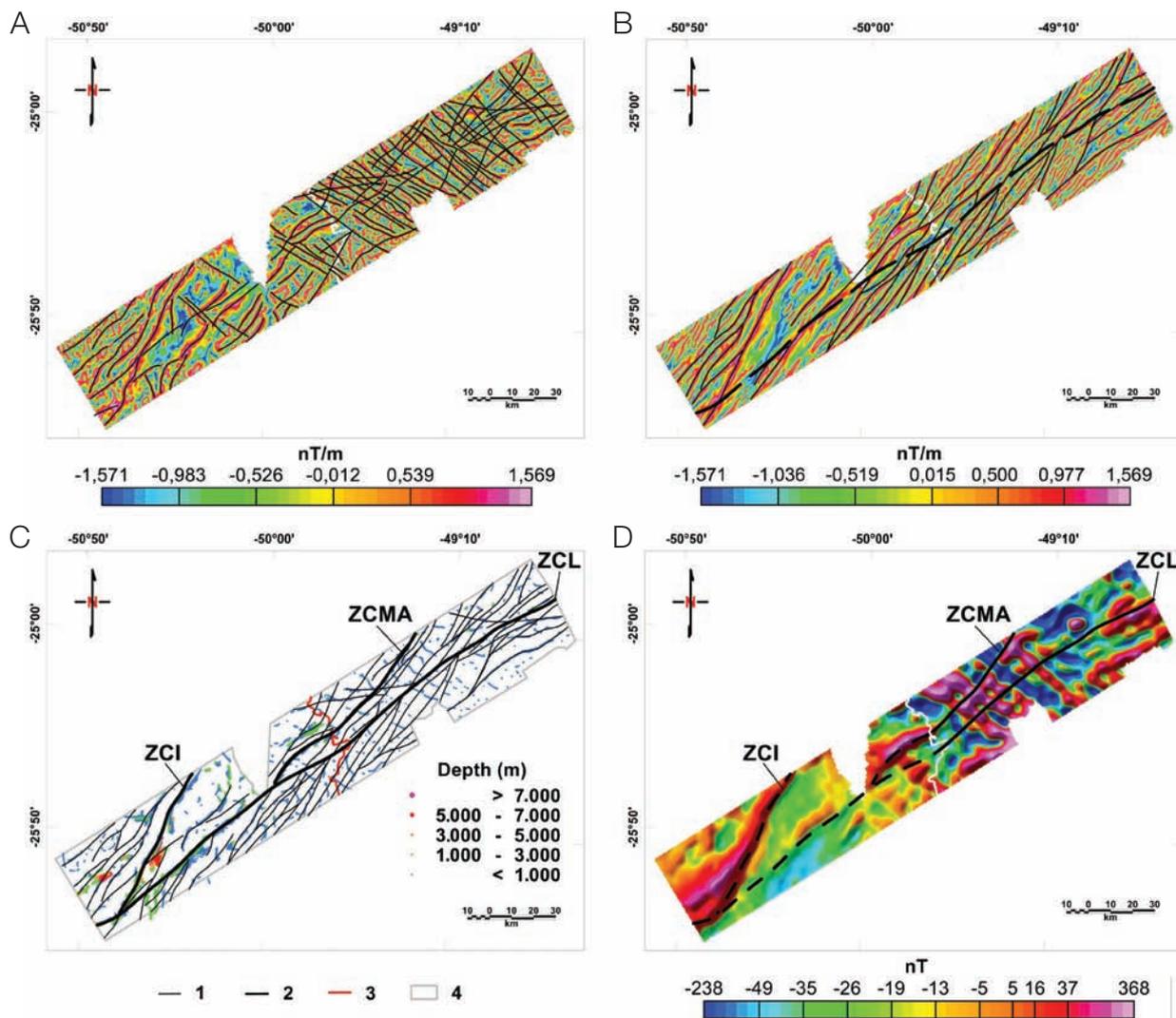


Figura 6. (A) Interpretação magnética estrutural sobre o mapa ISA-GHT; (B) Interpretação magnética estrutural dos dados filtrados sobre o ISA-GHT filtrado; (C) Arcabouço magnético-estrutural sobre o mapa de soluções de Euler – 1: Arcabouço magnético-estrutural; 2: zonas de cisalhamento: ZCI – Itaipirapuã, ZCMA – Morro Agudo e ZCL - Lancinha; 3: Limite do embasamento do embasamento com a bacia; 4: Limite dos dados; (D) Mapa magnético das fontes profundas com a interpretação magnética estrutural. A linha branca indica o limite do embasamento com a bacia.

DISCUSSÃO

A amplitude das anomalias magnéticas depende diretamente do contraste de susceptibilidade entre os materiais envolvidos e pode ser produto de diferentes situações geológicas.

As anomalias relacionadas à ZCL na área de estudo atingem valores que variam de cerca de -40 a 78 nT no mapa CMA-RTP-UW1000 m, chegando a atingir o intervalo de -108 a 135 nT na intersecção com as anomalias do APG (Figura 5A). No mapa CMA-RTP-UW1000 m

filtrado (Figura 5B), os valores vão de -28 a 67 nT, denotando uma clara influência do sinal dos diques na resposta magnética da ZCL.

No contexto de uma colisão oblíqua, atribuída à justaposição dos terrenos Apiaí e Curitiba, a hipótese de origem e evolução da ZCL como uma sutura que evoluiu para uma zona de cisalhamento transcorrente poderia ser verificada por sua resposta magnética, separando terrenos com susceptibilidades contrastantes. O valor de anomalias associadas a zonas de sutura pode variar da ordem de 150 – 200 nT (Chiarini, 2007; Chernicoff et al., 2014) a

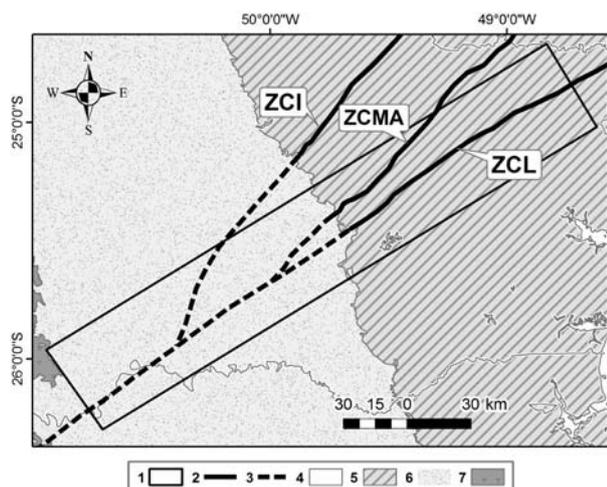


Figura 7. Interpretação do prolongamento da ZCL e estruturas associadas sob a Bacia do Paraná. 1: Área de estudo; 2: Zonas de cisalhamento; 3: Prolongamento das zonas de cisalhamento sob a bacia; 4: Limites estaduais (SC: Santa Catarina; PR: Paraná). Compartimentos Geológicos – 5: Embasamento; 6: Bacia do Paraná; 7: Formação Serra Geral. Estruturas principais – ZCL: Zona de Cisalhamento Lancinha; ZCI: Zona de Cisalhamento Itapirapuã; ZCMA: Zona de Cisalhamento Morro Agudo.

600 nT (Rao et al., 2006) ou mais. Contudo, não se observam anomalias expressivas associadas a ZCL.

Entretanto, a ação de fluidos oxidantes, comuns em zonas de cisalhamento, poderia alterar remobilizar ou mesmo destruir a trama de minerais magnéticos ao longo destas estruturas. Assim, diminuem o contraste de susceptibilidade e, conseqüentemente, reduzindo a amplitude das anomalias (Airo, 2002; Airo et al., 2008, Isles e Rankin, 2013).

A relação espacial e hierárquica de estruturas geofísicas observadas em orógenos policíclicos é uma tarefa complexa, uma vez que a superposição de fases de deformação tende a modificar padrões e descaracterizar os registros mais antigos. Chenicoff et al. (2014) mencionam a desmagnetização causada pela ação do cisalhamento superimposto à zona de sutura Cortijo, localizada na porção Sul do Cráton Rio de la Plata, onde os autores associam a desmagnetização da estruturação mais antiga com a ação hidrotermal provocada pelo cisalhamento tardio. Os autores propõem que este processo pode ocorrer em contextos de deformação progressiva, associados à orógenos de colisão oblíqua.

As características geológicas observadas nos terrenos tanto a Norte como a Sul da ZCL (Tabela 1) corroboram com a interpretação desta estrutura como um importante limite de terrenos tectônicos. A hipótese do

deslocamento lateral, superimposto à uma zona de sutura (Faleiros, 2008) traria uma alternativa para explicar o posicionamento atual dos terrenos Apiaí e Curitiba, limitados pela ZCL.

Soma-se a este contexto de uma possível sobreposição de eventos tectônicos relacionados à construção do orógeno, a influência da intrusão do enxame de diques do APG durante o Mesozoico.

A influência da resposta magnética das intrusões do APG foi minimizada pela aplicação das filtragens e dos métodos de realce aos dados, cujos resultados evidenciaram anomalias associadas às zonas de cisalhamento de direção NE-SW tanto no contexto do Pré-Cambriano, onde afloram, como no contexto da Bacia do Paraná (Figura 5B).

Os métodos de realce, em especial o ISA-GHT (Figura 4F) e o ISA (Figura 4D), com seus atributos de equalizar as amplitudes das anomalias relativamente independente da profundidade, destacam a continuidade das estruturas sob a bacia. A integração da interpretação realizada nos mapas calculados sobre a base original com aquela realizada sobre a base filtrada deu visibilidade às estruturas antes obliteradas pelo sinal do APG. Tal procedimento resultou numa interpretação mais consistente do arcabouço magnético-estrutural.

Os resultados destacaram o prolongamento de estruturas pré-cambrianas como as zonas de cisalhamento Itapirapuã (ZCI) e Morro Agudo (ZCMA) com altas amplitudes nos mapas magnéticos de realce, além de possibilitar a interpretação da ZCL sob a Bacia do Paraná. Tal fato sugere uma convergência entre tais estruturas num padrão sigmoidal regional em subsuperfície (Figura 7), corroborando com a interpretação de Soares et al. (2011a).

A distribuição das soluções de Euler se mostra coerente com a interpretação qualitativa (Figura 6C), e indica para a ZCL profundidades de até 1.000 m no embasamento aflorante e até 3.000 m em sua continuidade sobre a Bacia do Paraná. Para o prolongamento da ZCI sob a bacia, foram calculadas profundidades maiores do que 7.000 m.

O modelo gravimétrico da região central do APG proposto por Castro et al., (2008) estima uma profundidade máxima de cerca de 8.000 m para o limite entre as crostas continental superior e inferior. As soluções de Euler indicam que, segundo este modelo, a ZCI, a qual ocorre associada a ZCL, se aproximaria deste limite. Tal afirmação coaduna com a proposta de Fiori (1985a) de que a ZCL e estruturas associadas seriam fruto de reativações de falhas transcorrentes profundas.

As profundidades de fontes indicadas pelas soluções de Euler são compatíveis com as anomalias da isoterma de Curie apresentadas por Soares et al. (2011a). As anomalias são orientadas segundo a direção das estruturas e

estão localizadas na região de confluência dos prolongamentos das ZCL e ZCI sob a bacia. Os valores mínimos de profundidade (10 km) obtidos ao longo das estruturas são compatíveis com os apontados pelas soluções de Euler, também localizadas sobre tais feições.

CONCLUSÕES

Os resultados da análise qualitativa e semiquantitativa aplicada à cobertura aeromagnética da ZCL, tanto na área do escudo como na Bacia do Paraná, possibilitaram confirmar o prolongamento desta estrutura mapeada no embasamento.

As baixas amplitudes associadas à ZCL dificultam a sua interpretação. Mesmo configurando um limite tectônico entre os terrenos distintos, sua assinatura não é marcada por anomalias expressivas. A hipótese que aponta sua origem como reflexo da progressão de uma antiga zona de sutura para uma zona de cisalhamento com movimento transcorrente dextral, num contexto de colisão oblíqua, poderia explicar sua configuração atual. Neste contexto, a progressão da transcorrência proporcionaria, além da descaracterização da sutura propriamente dita (contrastes, geometria e profundidade), a desmagnetização dos materiais envolvidos e explicaria a pouca expressão da anomalia magnética atribuída a ZCL.

As anomalias de direção NW-SE associadas ao APG obliteram a resposta magnética das zonas de cisalhamento NE-SW, dificultando sua interpretação. A aplicação de uma combinação de filtros (por exemplo, cosseno direcional e *Butterworth*) à base de dados possibilitou o tratamento dos sinais relativos aos diques, os quais foram considerados como ruídos e removidos. Tal procedimento possibilitou o processamento de duas bases de dados: original e filtrada.

A aplicação dos métodos de realce àquelas bases de dados possibilitou o traçado do arcabouço-magnético estrutural da área de estudo. Sua interpretação final indicou a continuidade de estruturas como a ZCL, a ZCMA e a ZCI, aflorantes no embasamento adjacente, sob a Bacia do Paraná, além de sugerir sua conexão em sub-superfície num padrão sigmoidal.

As soluções de Euler, calculadas para área de estudo, além de mostrar correspondência com a interpretação do arcabouço estrutural, indicaram profundidades de até 1.000 m para as fontes magnéticas na porção aflorante da ZCL. Na porção coberta pela Bacia do Paraná, as soluções mostraram fontes localizadas até 3.000 m para a ZCL e até 7.000 m para a ZCI. Tais profundidades se relacionam as porções inferiores da crosta continental superior da região central do APG, sugerindo que a ZCL seria fruto de reativações de feições profundas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) pelo financiamento da pesquisa através do Projeto Falhas, campos de esforços e fluxo de fluidos. Agradecem também à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pela cessão dos dados de poços e sísmicos e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pelos dados aeromagnéticos. L.G. de Castro e F.J.F. Ferreira agradecem, respectivamente, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (processo nº 305810/2010-3).

REFERÊNCIAS

- Airo, M. L. (2002). Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal Alteration. *Surveys in Geophysics*, 23(4), 273-302.
- Airo, M. L., Elminen, T., Mertanen, S., Niemelä, R., Pajunen, M., Wasenius, P., Wennerström, M. (2008). Aerogeophysical approach to ductile and brittle structures in the densely populated urban Helsinki area, southern Finland. *Geological Survey of Finland, Special Paper 47*, 283-308.
- Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South America cratonic margin south of the Amazon River. In: A. E. Nairn, F. G. Stehli (Eds.), *The Ocean basins and margins* (v. 1, 411-446). New York: Plenum.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves B. B., Fuck, R. A. (1977). Províncias estruturais brasileiras. *VIII Simpósio de Geologia do Nordeste*. 6, 363-391. Campina Grande. SBG.
- Almeida, F. F. M., Hasui Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1/2), 1-29.
- Artur, P. C., Soares, P. C. (2002). Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 433-448.
- Basei, M. A. S., Frimmel, H. E., Nuttman, A. P., Preciozzi, F. (2008). West Gondwana amalgamation based on detrital zircon ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano belts of South America and comparison with coeval sequences from SW Africa. In: R. J. Pankhurst, R. A. J. Trouw, B. B. Brito Neves, M. J. Wit (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic*

- Correlations Across the South Atlantic Region (v. 294, 239-256). London: Geological Society.
- Basei, M. A. S., Siga Junior, O., Machiavelli, A., Mancini, F. (1992). Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR - SC). *Revista Brasileira de Geociências*, 22(2), 216-221.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2001). *Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistemas de Informações Geográfica – SIG e Mapas*. Escala 1:2.500.000. Brasília: CPRM.
- Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Cordani, U. C., Thomaz Filho, A. (1984). Influence of basement structures on the evolution of the major sedimentary basis of Brazil: A Case of Tectonic Heritage. *Journal of Geodynamics*, 1(3-5), 495-510.
- Campanha, G. A. C. (2002). *O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira*. Tese (Livre docência). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Campanha, G. A. C., Sadowski, G. R. (1999). Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiá Domain). *Precambrian Research*, 98, 31-51.
- Castro, L. G., Ferreira, F. J. F., Angulo, R. J. (2008). Modelo gravimétrico-magnético do Gráben de Paranaguá-PR, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*. 26(3), 273-292.
- Chernicoff, C. J., Zappettini, E. O., Peroni, J. (2014). The Rhyacian El Cortijo suture zone: Aeromagnetic signature and insights for the geodynamic evolution of the southwest Rio de la Plata craton, Argentina. *Geoscience Frontiers*, 5(1), 43-52.
- Chiarini, M. F. N. (2007). *Contribuição da aerogeofísica na caracterização de suturas colisionais e de sistemas transcorrentes: O exemplo de Porangatu, Brasil-Central*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – UnB.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiros (CPRM). Base de Dados AERO. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/aero/aero.htm>>. Acesso em: 17 abr 2009.
- Cordani, U. G., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Porto, R., Thomaz Filho, A., Cunha, F. M. B. (1984). Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Petrobras, Série Ciência, Técnica, Petróleo*, 15, 1-70.
- Cordell, L., Grauch, V. J. S., (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: W. J. Hinze (Ed.), *The utility of regional gravity and magnetic anomalies maps* (v.1, 181-197). Tulsa: Society of Exploration Geophysics.
- Cury, L. F. (2009). *Geologia do Terreno Paranaguá*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Cury, L. F., Kaulfuss, G. A., Siga Junior, O., Basei, M. A. S., Harara, O. M. M., Sato, K. (2002). Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitóides alcalinos deformados dos núcleos Betara e Tigre: evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiá. *Geologia USP. Série Científica*, 2, 95-108.
- Cury, L. F., Siga Junior, O., Harara, O. M. M., Prazeres Filho, H. J., Basei, M. A. S. (2008). Aspectos tectônicos das intrusões dos granitos do Cerne, Passa Três e Rio Abaixo, Sudeste do Pré-Cambriano paranaense. Estudo baseado em datações ^{39}Ar - ^{40}Ar em Micas. *Geologia USP. Série Científica*, 8(1), 87-104.
- Daitx, E. C. (1996). *Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas de Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- Daitx, E. C. (1998). Os depósitos de zinco e chumbo de Perau e Canoas e o potencial do Vale do Ribeira. *Workshop – Depósitos minerais brasileiros de metais-base*, v.1, 68-74. Salvador: CPGG-UFBA/ADIMB/SBG-BA-SE.
- Ebert, H. D., Hasui, Y., Quade, H. (1988). Aspectos da evolução estrutural do cinturão móvel costeiro da mina do Perau, Vale do Ribeira-PR. *35º Congresso Brasileiro de Geologia*, 2318-2331. Belém: SBG.
- Faleiros, F. M. (2008). *Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Fassbinder, E., Sadowski, G. R., Fiori, A. P. (1994). Modelo de Riedel aplicado no Lineamento Lancinha no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 42, 173-184.
- Ferreira, F. J. F. (1982). *Integração de Dados Aeromagnéticos e Geológicos: Configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

- Ferreira, F. J. F., Souza, J., Bongioiolo, A. B. S., Castro, L. G. (2013). Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3), J33-J41.
- Ferreira, F. J. F., Souza, J., Bongioiolo, A. B. S., Castro, L. G., Romeiro, M. A. T. (2010). Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos. *IV Simpósio Brasileiro de Geofísica*, 1, 1-6. Brasília: SBGf.
- Fiori, A. P. (1985a). A Falha da Lancinha no pré-cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda. *Boletim Paranaense de Geociências*, 36, 6-14.
- Fiori, A. P. (1985b). Avaliação preliminar do deslocamento dúctil das falhas de Lancinha e de Morro Agudo no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 36, 15-30.
- Fiori, A. P. (1992). Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui-PR. *Boletim IG-USP Série Científica*, 23, 55-74.
- Fiori, A. P. (1993a). O Sistema de Cavalgamento Açungui. *Geociências*, 12(1), 187-208.
- Fiori, A. P. (1993b). O sistema de dobramentos Apiaí, estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(1), 5-17.
- Fiori, A. P., Soares, P. C., Lopes, A. P., Salamuni, E., Fassbinder, E., Ferreira, F. J. F., Castro, L. G. (2012). Influência do Sistema de Transcorrência Lancinha na Bacia do Paraná: Implicações para os sistemas petrolíferos. 46 Congresso Brasileiro de Geologia, Santos. Santos: SBG. *Anais...* CD-ROM.
- Freitas, R. C., Rostirolla, S. P., Ferreira, F. J. F. (2005). Geoprocessamento multitemático e análise estrutural no Sistema Petrolífero Irati – Rio Bonito, Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14(1), 71-93.
- Geosoft. (2010a). *Montaj GridKnit. Grid stitching extension for Oasis Montaj V7.1. Tutorial and users guide*. Toronto: Geosoft Incorporation.
- Geosoft. (2010b). *Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de campos potencias no domínio da frequência extensão para Oasis Montaj V7.1. Tutorial e guia do usuário*. Toronto: Geosoft Incorporation.
- Hackspacher, P. C., Dantas, E. L., Spoladore, A., Fetter, A. H., Oliveira, M. A. F. (2000). Evidence of Neoproterozoic back arc basin development in the Central Ribeira Belt, South-eastern Brazil: New geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui groups. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 110-114.
- Heilbron, M., Mohriak, W., Valeriano, C. M., Milani, E., Almeida, J. C. H., Tupinambá, M. (2000). From collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil. In: M. Talwani, W. Mohriak (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margins* (Geophysical Monographs Series 115, v.1, 1–34). Washington: American Geophysical Union.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M., Silva, L. C., Trouw, R. A. J., Janasi, V. C. (2004). A Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito Neves (Eds.), *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (v.1, 203–234). São Paulo, Beca.
- Heilbron, M., Valeriano, C. M., Tassinari, C. C. G., Almeida, J. C. H., Tupinambá, M., Siga Junior, O., Trouw, R. A. J. (2008). Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: R. J. Pankhurst., R. A. J. Trouw, B. B. Brito Neves, M. J. Wit (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region* (v.1, 211-237). London: Geological Society.
- Isles, D. J., Rankin, L. R. (2013). *Geological Interpretation of Aeromagnetic Data*. Perth: Australian Society of Exploration Geophysicists.
- Kaulfuss, G. A. (2001). *Geocronologia dos Núcleos de Embasamento Setuva, Betara e Tigre, Norte de Curitiba, PR*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Mesquita, M. J., Bittencourt, M. F., Vasconcellos, E. M. G., Picanço, J. L., Moretto, A. L. (2013). Evolução Microestrutural do Granito Água Comprida e formação de filonitos, Antiforme Setuva, Paraná. *Revista Geociências Unesp*, 32, 286-306. Disponível em: <<http://www.revistageociencias.com.br/index.html>>. Acesso em: 02 fev 2014.
- Milani, E. J. (1997). *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoicas do Gondwana sul-ocidental*. Tese (Doutorado). Porto Alegre: Instituto de Geociências – UFRGS.
- Milani, E. J., Ramos, V. A. (1998). Orogenias paleozoicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(4), 473-484.

- Miller, H. G., Singh, V. (1994). Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3), 213-217.
- Nabighian, M. N. (1972). The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3), 507-517.
- Nabighian, M. N. (1974). Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39(1), 85-92.
- Oliveira, M. J. R. (1991). *Análise do comportamento da zona de falha Cubatão - Lancinha na Bacia do Paraná*. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Departamento de Geologia – UFOP.
- Peternel, R., Trouw, R. A. J., Schmitt, R. S. (2005). Interferência entre duas faixas móveis neoproterozoicas: o caso das faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(3), 297-310.
- Portela Filho, C. V., Ferreira, F. J. F. (2003). Estimativas das taxas de extensão crustal da região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná) com base em modelagens aeromagnéticas. *VIII Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, Resumos Expandidos, CD-ROM. Rio de Janeiro: SBGf.
- Prazeres Filho, H. J., Harara, O. M. M., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Siga Junior, O. (2003). Litoquímica, Geocronologia U-Pb e Geologia Isotópica (Sr-Nd-Pb) das rochas graníticas dos batólitos Cunhaporanga e Três Córregos, na porção sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. *Geologia USP. Série Científica*, 3, 51-70.
- Quintas, M. C. L. (1995). *O embasamento da Bacia do Paraná: reconstrução geofísica do seu arcabouço*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Rao, V. V., Sain, K., Reddy, P. R., Mooney, W. D. (2006). Crustal structure and tectonics of the northern part of the Southern Granulite Terrane, India. *Earth and Planetary Science Letters*, 251(1-2), 90-103.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., Somerton, I. W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55(1), 80-91.
- Reis Neto, J., Soares, P. C. (1987). Um estudo de caracterização termodinâmica de micro-estruturas dos Grupos Açungui e Setuva (PR). *III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, 1, 147-165. Curitiba: SBG.
- Roest, W. R. J., Verhoef, J., Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57(1), 116-125.
- Sadowski, G. R. (1991). A Megafalha de Cubatão No Sudeste Brasileiro. *Boletim IG-USP, Serie Científica*, 22, 15-28.
- Sadowski, G. R., Montidome, M. J. (1987). Brazilian Megafaults. *Revista Geologica do Chile*, 31, 61-75.
- Siga Junior, O., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Harara, O. M., Sato, K., Cury, L. F., Prazeres Filho, H. J. (2007). Geocronologia de rochas gnáissico-migmatíticas e sienograníticas do Núcleo Setuva (PR): implicações tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(1), 114-128.
- Siga Junior, O., Basei, M. A. S., Reis Neto, J. M., Machiavelli, A., Harara, O. M. M. (1995). O Complexo Atuba: um Cinturão Paleoproterozóico intensamente retrabalhado no Neoproterozoico. *Boletim IG-USP. Série Científica*, 26, 69-98.
- Siga Junior, O., Basei, M. A. S., Sato, K., Passarelli, C. R., Nutman, A. P., McReath, I., Prazeres Filho, H. J. (2011a). Calymnian (1.50–1.45 Ga) magmatic records in Votuverava and Perau sequences, south-southeastern Brazil: Zircon ages and Nd–Sr isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 301-308.
- Siga Junior, O., Cury, L. F., McReath, I., Ribeiro, L. M. A. L. R., Sato, K., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R. (2011b). Geology and geochronology of the Betara region in southeastern Brazil: Evidence for possible Staterian (1.80-1.75 Ga) and Calymnian (1.50-1.45 Ga) extension events. *Gondwana Research*, 19, 260-274.
- Soares, P. C. (1987). Sequências tectono-sedimentares e tectônica deformadora no Centro-Oeste do Escudo Paranaense. *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, v.3, 743-771. Curitiba: SBG.
- Soares, P. C., Barcellos, P. E., Csordas, S. M., Mattos, J. T., Balliero, M. G., Meneses, P. R. (1982). Lineamentos em Imagens Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. *II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v.1, 143-156. Brasília: CNPq/INPE.
- Soares, P. C., Bonacim, E., Nogueira Filho, J., Soares, A. P. (2002). Um olhar geológico para a paisagem: Curitiba a Vila Velha (PR, Brasil). *I Simpósio de Roteiros Geológicos do Paraná*, 1, 87-96. Curitiba: SBG.

- Soares, P. C., Ferreira, F. J. F., Fiori, A. P., Castro, L. G., Riffel S. B. (2011a). A proposal of new method for estimating depth of Curie surface. *11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. Rio de Janeiro: SBG.
- Soares, P. C., Fiori, A. P., Carmignani, L., Rostirolla, S. P. (2000). A geotectonic view of the Ribeira and Dom Feliciano belts. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1),130-134.
- Soares, P. C., Fiori, A. P., Rostirolla, S. P. (1998). Organização estratigráfica dos terrenos alóctones no Cinturão Ribeira, no Vale do Ribeira. *XL Congresso Brasileiro de Geologia*, 1, 40. Belo Horizonte: SBG.
- Soares, P. C., Riffel, S. B., Fiori, A. P. (2011b). Geomorphological and geophysical evidences for neotectonics, central and southern Brazil. *XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos e VII International Symposium on Tectonics*. 1, 401-404. Campinas: SBG.
- Soares, P. C., Rostirolla, S. P. (1997). Tectônica de escape no cinturão Ribeira, Sul do Brasil. V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1, 28-32. Pirenópolis: SBG
- Thompson, D. T. (1982). EULDPH: A New Technique for Making Computer-assisted Depth Estimates from Magnetic Data. *Geophysics*, 47(1), 31-37.
- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M. (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23(2), 116-119.
- Zalán, P. V., Wolff, W., Conceição, V. J., Astolfi, M. A. M., Vieira, J. S., Appi, V. T., Zanotto, O. A. (1987). Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. *III Simpósio Sul-brasileiro de Geologia*, 1, 441-476. Curitiba: SBG.