



Assinaturas Aerogeofísicas Regionais da Área de Ocorrências de Depósitos de Ni-Cu-PGE no Domínio Tectônico Rio Capibaribe (NE-Brasil)

Edlene P. da Silva (CPRM-SGB); Nitzschia R. R. Domingos (CPRM-SGB); Roberto G. de Oliveira (CPRM-SGB), Marília A. C. Rodrigues (CPRM-SGB)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The integration of airborne gamma-ray spectrometric, magnetic and geological data in the west of the Pernambuco state revealed a significant correlation between different types of rocks and airborne geophysical signatures. They emphasized the excellent capacity to separate between granitic rocks and metasediments, as well as, the possibility of interpreting structures and tectonic domains from aeromagnetic data. Based on the magnetic data were separated three different domains and four directions of magnetic alignments correlated with shear zones and brittle structures. From the gamma-ray data were separated several domains correlated with recent covers, gneisses, granites and metasedimentary sequences. The ultramafic rocks mineralized in Ni-Cu-PG show good correlation with magnetic NE-SW alignments.

Introdução

Até recentemente a região leste do Estado de Pernambuco não possuía recursos minerais metálicos importantes. Após a contratação por parte da CPRM-Serviço Geológico do Brasil do Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema (LASA S.A. & Prospectors, 2008), companhias de mineração iniciaram trabalhos de pesquisas e checagem de anomalias gamaespectrométricas e magnéticas localizadas em sequências metavulcanossedimentares que afloram na região. Esses trabalhos culminaram com a descoberta de depósitos de Ni-Cu-PGE hospedados em rochas ultramáficas encaixadas em metassedimentos do Complexo Surubim-Carolina (Mota e Silva et al., 2013). As descobertas indicaram uma forte correlação com anomalias magnéticas que despertou o interesse pelo entendimento do arcabouço geofísico das estruturas regionais e complexos de rochas em torno dos depósitos.

Localização e Contexto Geológico

A área de estudo está localizada na Província Borborema (PB) e ocupa parte dos Terrenos Rio Capibaribe (TRC) e Pernambuco-Alagoas (PEAL) (Figura 1). A PB foi formada pela superposição de eventos geológicos do Arqueano ao Neoproterozoico. O seu arcabouço é resultante da Orogênese Brasileira no final do Neoproterozoico. O TRC ocorre a norte da Zona de Cisalhamento Pernambuco e apresenta embasamento

gnáissico e migmatítico paleoproterozoico e faixas móveis neoproterozoicas com intrusões associadas ao desenvolvimento de arcos magmáticos e zonas de cisalhamento (Brito Neves et al., 2013). O Terreno PEAL está localizado a sul da Zona de Cisalhamento Pernambuco, sendo composto por ortognaisses e migmatitos com intercalações de quartzitos e intrusões de granitos peraluminosos e em menor volume de intrusões calcioalcalinas neoproterozoicas (Silva Filho et al., 2002). As rochas ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE (Mota e Silva et al., 2013) ocorrem no TRC (Figura 1) e estão encaixadas nas rochas do Complexo Surubim-Carolina composto por quartzitos, mármore, paragnaisses e xistos (Brito Neves et al., 2013).

Dados Aerogeofísicos

Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho foram levantados no Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema (LASA S.A. & Prospectors, 2008). Foram levantados perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos com linhas de voo espaçadas de 500 m e linhas de controle de 10 km, orientadas, respectivamente, nas direções N-S e E-W. A altura de voo foi fixada em 100 metros sobre o terreno. Foram empregadas aeronaves equipadas com magnetômetro e gamaespectrômetro, posicionadas pelo sistema de observação de satélite GPS. O magnetômetro de vapor de céσιο registou medidas a cada 0,1 segundo. O gamaespectrômetro com detectores de cristais de iodeto de sódio (NaI) permitiu a análise individual e precisa dos fotopicos de K, eU e eTh, com medidas a cada 1,0 segundo.

Resultados

i) Interpretação dos Dados Magnetométricos

A observação dos dados magnetométricos indica a existência de três grandes domínios (A, B e C) (Figura 2), interpretados a partir da análise das direções dos alinhamentos magnéticos, dos padrões e de distribuição das anomalias. Foram também considerados os gradientes magnéticos classificados de acordo com a tabela abaixo obtida a partir da análise estatística dos dados.

Parâmetro	Baixo	Médio	Alto	Máximo
Gradiente Magnético (nT/m)	<0,02	0,1	>0,24	7,19

i) **Domínio A:** está localizado na parte central da área de trabalho e apresenta padrão magnético caracterizado por alinhamentos de direção NE-SW e gradiente magnético alto. As anomalias estão correlacionadas principalmente com rochas do embasamento (ortognaisses e anortositos). O limite norte deste domínio (em relação ao Domínio B) é marcado por um forte alinhamento

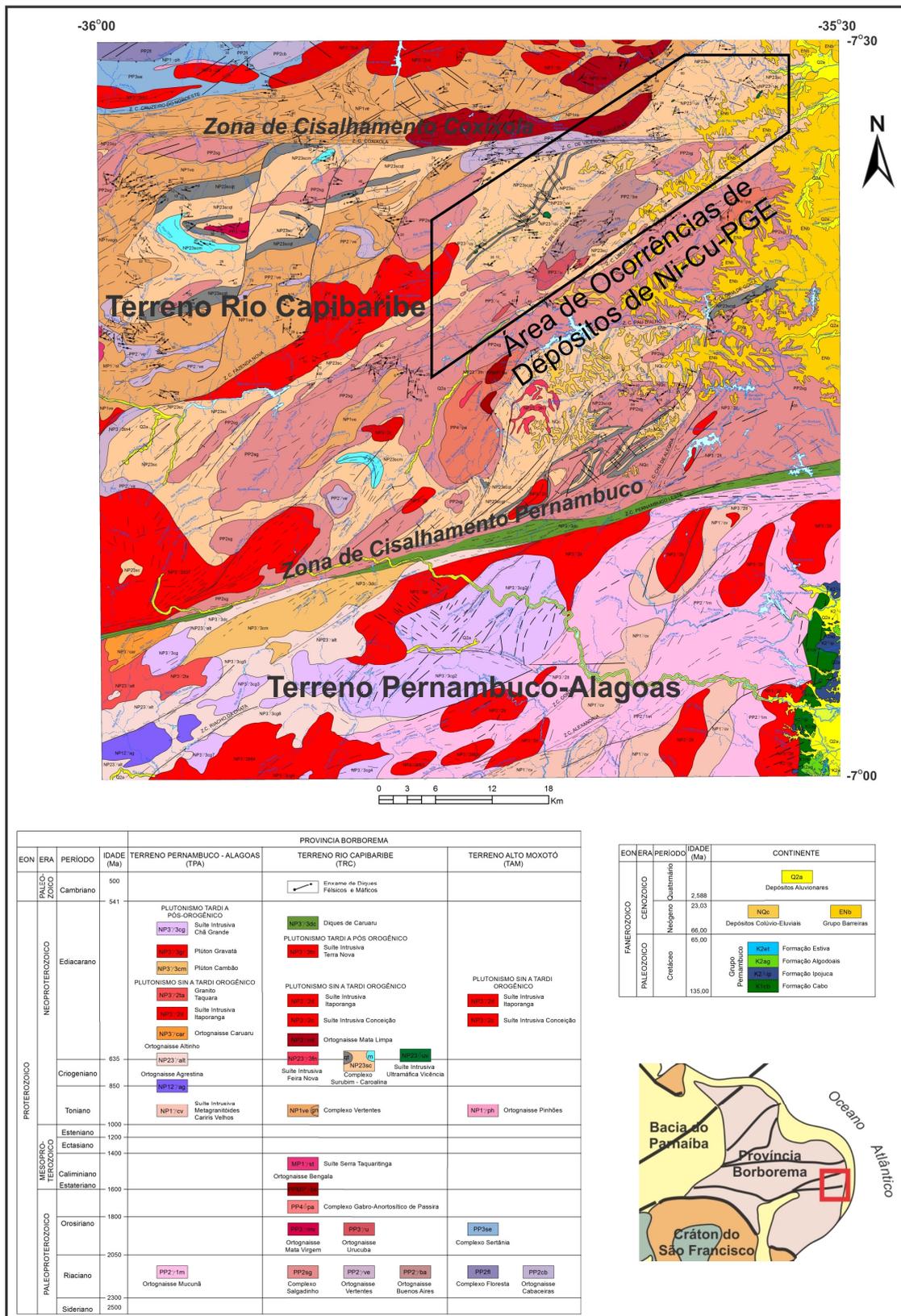


Figura 1 - Geologia da área de estudo com localização dos limites de dominância das ocorrências de rochas ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE. Fonte: Santos et. al (2016).

magnético de direção E-W associado com a zona de cisalhamento Coxixola. No sul, a separação deste domínio como o Domínio C está definida por um forte alinhamento com direção ENE-WSW que corresponde à Zona de Cisalhamento Pernambuco. Neste domínio foram observados alinhamentos alongados na direção NE-SW correlacionados com zonas de cisalhamentos que marcam o limite entre as rochas do embasamento gnáissico e as formações metassedimentares do Complexo Surubim-Caroalina. No embasamento, a maioria dos alinhamentos magnéticos corresponde à foliação tectônica e intercalações de rochas básicas. Truncando ortogonalmente esta direção principal ocorrem alinhamentos secundários com direção NW-SE. Estes alinhamentos estão relacionados com zonas de deformação frágil geradas posteriormente às estruturas de cisalhamento de direção NE-SW. Várias destas zonas de deformação frágil estão preenchidas por diques de rochas magnéticas. No centro-norte deste domínio, em uma região com baixo gradiente magnético associada com afloramentos de metassedimentos do Complexo Surubim ocorrem um agrupamento de anomalias (Figura 5) de pequeno comprimento de onda, gradiente médio e direção principal NE-SW associadas com intrusões de rochas máficas-ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE sulfetados.

ii) Domínio B: está localizado a norte da área do projeto e a norte do alinhamento magnético relacionado com a zona de cisalhamento Coxixola. Possui padrão magnetométrico caracterizado por anomalias com gradientes altos associadas com granitos magnéticos encaixados na direção E-W ao longo desta zona de cisalhamento. No restante do Domínio B ocorrem alinhamentos alongados na direção NE-SW também correlacionados com zonas de cisalhamentos. Neste domínio foram observados alinhamentos secundários que truncam ortogonalmente a direção principal. Neste caso, os alinhamentos estão relacionados com zonas de deformação frágil, por vezes preenchidas com diques de rochas magnéticas.

iii) Domínio C: está localizado a sul da área do projeto e a sul do alinhamento magnético correlacionado com a Zona de Cisalhamento Pernambuco. Este domínio possui alinhamentos principais nas direções E-W e NE-SW, com interferência de alinhamentos secundários na direção NW-SE que, como nos outros domínios, também foram interpretados como zonas de deformação frágil. A maioria das fontes magnéticas foi correlacionada com zonas de cisalhamento, foliação tectônica, granitos magnéticos e corpos de rochas básicas. No sudeste do domínio ocorre uma região com gradiente magnético alto e indício da existência de rochas magnéticas profundas. Neste caso, a correlação geológica mais evidente é com rochas vulcânicas e intrusivas do rifte da Bacia do Cabo. Esta bacia tem sua instalação relacionada com as primeiras tentativas de abertura do Oceano Atlântico no Mesozóico e o magmatismo principal tem em torno de 100 Ma.

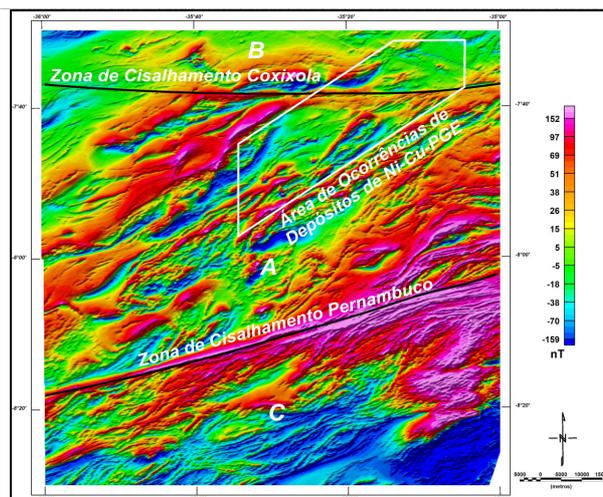


Figura 2 - Campo magnético anômalo com separação em domínios magnéticos e indicação das principais zonas de cisalhamentos.

II) Interpretação dos Alinhamentos Magnéticos

Anomalias magnéticas estreitas e alongadas são comumente interpretadas segundo três tipos de correlação geológica: i) estruturas tectônicas do tipo falha ou cisalhamento; ii) contato entre unidades geológicas; e iii) intrusões do tipo dique. Neste trabalho, para enfatizar as fontes mais rasas, a interpretação dos alinhamentos (Figura 3) foi efetuada com emprego da imagem da 1ª derivada vertical do campo magnético anômalo. Na área de estudo ocorrem inúmeros alinhamentos magnéticos alguns alongados e sinuosos, cuja correlação geológica mais adequada é com estruturas dúcteis tais como zonas de cisalhamento e corpos magnéticos alongados. Contudo, também ocorrem alinhamentos retilíneos que truncam os alinhamentos anteriores e que devem corresponder a zonas de deformação frágil ou diques associados com eventos tectônicos posteriores a Orogênese Brasileira. A observação da interpretação desses alinhamentos na Figura 3 permitiu identificar quatro direções principais de alinhamentos. O diagrama de roseta da Figura 4 apresenta graficamente as quatro direções: NE-SW, NW-SE, E-W e ENE-WSW.

a) Alinhamentos NE-SW: ocorrem por toda a área de estudo, sendo mais expressivos na parte central e sul. Seus comprimentos podem chegar até 16 km. Estão correlacionados às zonas de cisalhamento que definem a relação de contato entre rochas do embasamento e metassedimentos do Complexo Surubim-Caroalina ou com foliações tectônicas refletindo contatos entre unidades geológicas.

b) Alinhamentos NW-SE: ocorrem em toda a área de estudo. Entretanto eles são mais evidentes na porção norte, onde ocorrem de maneira retilínea chegando até 20 km de comprimento. Os alinhamentos com esta direção foram interpretados como sendo de origem rúptil e podem corresponder a falhas e/ou diques.

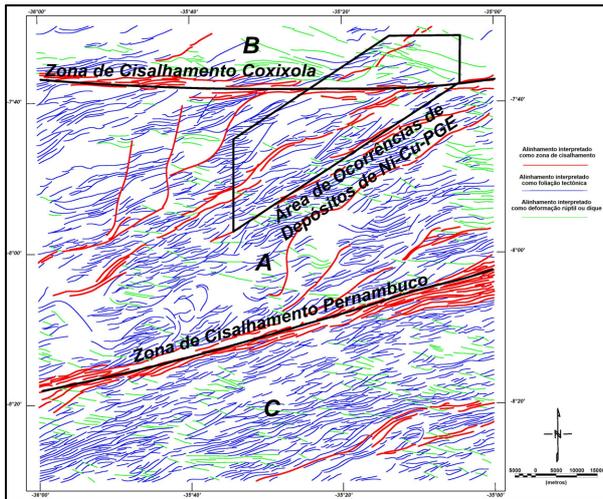


Figura 3 - Alinhamentos magnéticos interpretados e suas correlações geológicas.

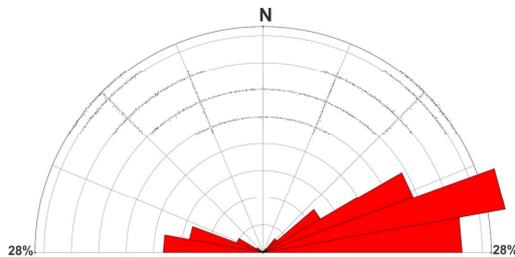


Figura 4 - Diagrama em roseta dos alinhamentos magnéticos.

c) **Alinhamentos E-W:** são retíneos e mais evidentes nas proximidades da Zona de Cisalhamento Coxixola, onde os alinhamentos apresentam comprimentos de até 20 km.

d) **Alinhamentos ENE-WSW:** são alinhamentos longos e retíneos associados com zonas de cisalhamento e foliação tectônica.

III) Modelagem Euler 3D das anomalias correlacionadas com as intrusões máficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE

Na área de estudo ocorrem intrusões de rochas máficas-ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE correlacionadas com anomalias magnéticas. A maior concentração das intrusões mineralizadas está localizada na área indicada pela seta branca na Figura 5. Estas anomalias foram modeladas pelo método de Euler 3D (Reid et al., 1990; Mushayandebvu et al., 2001).

Os resultados definiram as formas tridimensionais dos quatro corpos de rochas ultramáficas mineralizados: Bofe, Piçarra, Retiro e Parnazo (Mota e Silva et al., 2013). Eles formam um alinhamento na direção NE-SW e estão separados por zona de falhas com direção N-S. Por causa da correlação desses corpos com anomalias de amplitude do sinal analítico foram selecionadas anomalias com os mesmos parâmetros objetivando a localização de corpos ultramáficos desconhecidos (Figura 5).

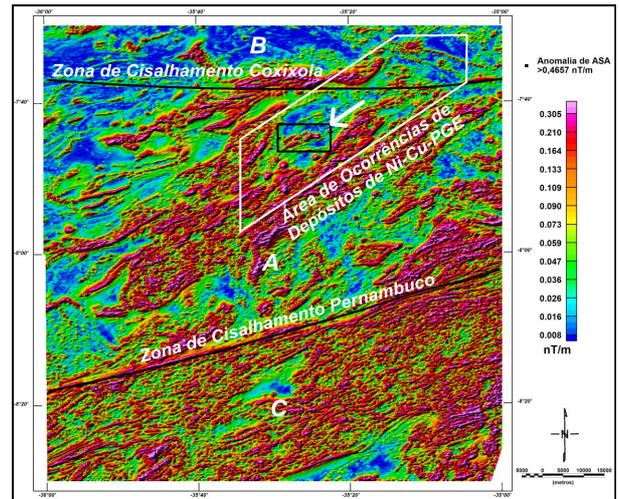


Figura 5 - Amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo com localização das anomalias com gradiente acima de 0,47 nT/m (pontos pretos). A seta branca indica a localização das anomalias magnéticas modeladas por Euler 3D cujos resultados estão apresentados na Figura 6.

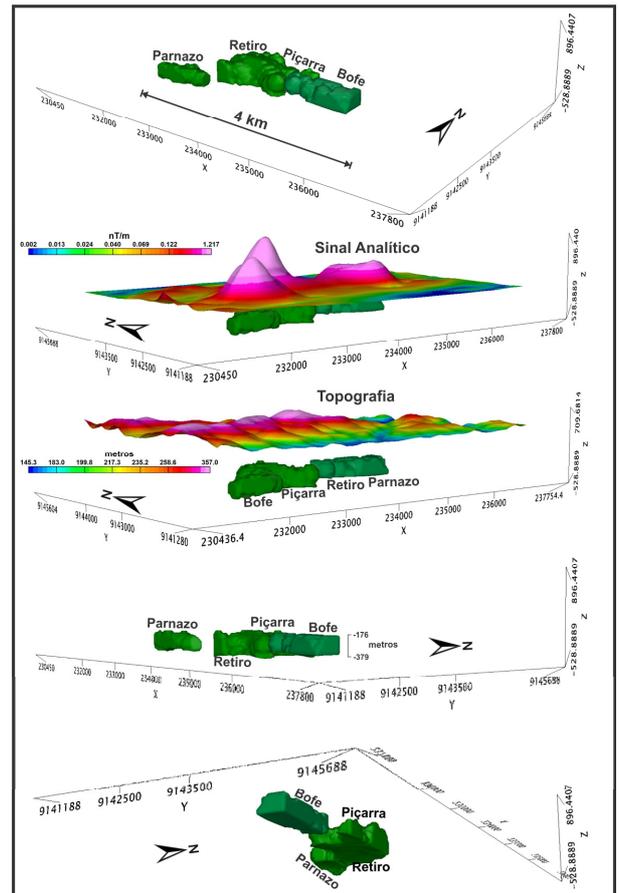


Figura 6 - Modelagem Euler 3D de anomalias magnéticas associadas com intrusões de rochas máficas-ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE.

IV) Interpretação dos Dados Gamaespectrométricos

Para a interpretação e correlação geológica dos dados gamaespectrométricos foi utilizada a composição ternária em falsa cor RGB (R-red, G-green, B-blue) dos três radioelementos potássio (K), equivalente tório (eTh) e equivalente urânio (eU) (Figura 7). A correlação e interpretação dos dados gamaespectrométricos está descrita por unidade geológica de acordo com o seu posicionamento estratigráfico.

Na interpretação e descrição dos padrões foi considerado que K corresponde ao Red (R), o eTh ao Green (G) e o eU ao Blue (B). A análise estatística dos dados permitiu separá-los em: 1-baixo, 2-médio e 3-alto (tabela abaixo) (Figura 8).

Radio-elemento	Baixo (1)	Médio (2)	Alto (3)	Máximo
K (%)	<0,1	0,54	>0,98	7,5
eTh (ppm)	<5,98	11,52	>17,06	70,37
eU (ppm)	<0,8	1,58	>2,36	6,66

a) Lateritas e Aluviões: as lateritas são caracterizadas pela combinação ternária 133 (azul esverdeada) que representa baixo teor de K e alto de eTh e eU. Ocorrem mais expressivamente nas partes centro-oeste e sudeste. Os aluviões apresentam três combinações ternárias distintas: 321 e 322 com sedimentos clásticos e ricos em feldspatos e 333 com sedimentos clásticos e ricos em feldspatos, monazita e zircão.

b) Coberturas Sedimentares Recentes: apresentam cinco combinações que variam com a composição dos sedimentos que pode ser desde arenosa até argilosa. Aquelas mais arenosas, ricas em sílica são classificadas em 111. As de composição argilosas e arenosas são representadas por 132 e 122, com tons mais esverdeados. As coberturas argilosas são representadas por 123 e 113, de tonalidade às vezes azul claro, às vezes azul escuro.

c) Sedimentos Cenozoicos: representados pelos arenitos e argilitos da Formação Barreiras, são descritos com a combinação 123 (cor verde escura). Ocorrem na porção oriental da folha constituindo tabuleiros.

d) Granitóides: são agrupados em sete combinações a depender de sua composição. Os ricos em K são representados pelos trios 311 e 312, sendo eles os mais frequentes, que ocorrem com mais ou menos urânio. Os granitos magnéticos ricos em K, eTh e eU (combinação 333, cor branca) ocorrem a noroeste e centro-sul da área de trabalho. Os sienitos, na parte sudoeste da folha, em tons alaranjados possuem alto valor de K, médio de eTh e baixo de eU (combinação 321). Os granitos com filiação indeterminada apresentam geralmente a combinação 322 (tons rosados).

e) Complexo Surubim-Caroalina: corresponde ao afloramento de rochas metassedimentares. Apresenta padrão gamaespectrométrico heterogêneo com nove

combinações ternárias (111, 233, 223, 213, 212, 221, 222, 132 e 232) que refletem uma variação de rochas geralmente com teores médio a baixo de K e médio a alto de eTh e eU.

f) Embasamento: composto por anortositos, ortognaisses dioríticos, tonalíticos e granodioríticos e rochas ultramáficas. Possui padrão descrito por duas combinações ternárias: 211, amarronzada para os anortositos e ortognaisses e 111 para as ultramáficas.

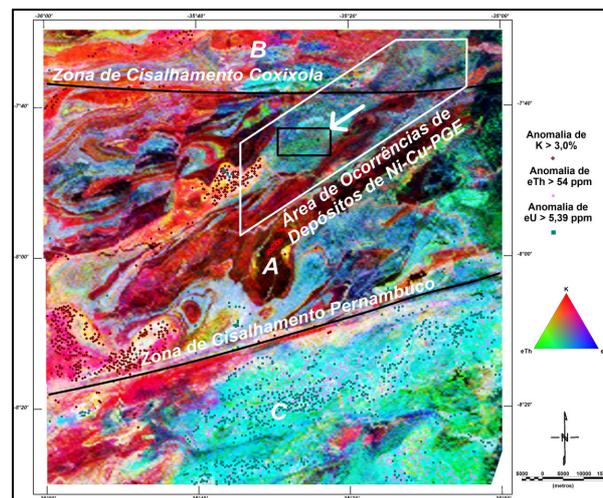


Figura 7 - Composição radiométrica ternária RGB com localização das anomalias de K, eTh e eU. A seta branca indica a localização das principais ocorrências de rochas ultramáficas mineralizadas.

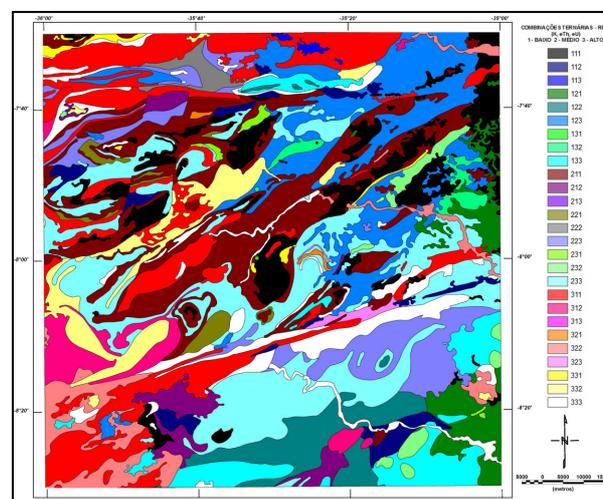


Figura 8 - Interpretação dos domínios gamaespectrométricos em 27 classes de acordo com valores baixos (1), médios (2) e altos (3) dos radioelementos K, eTh e eU.

Conclusões

A partir dos dados magnetométricos foram separados domínios e alinhamentos magnéticos pela diferenciação dos padrões magnéticos anômalos. Na interpretação dos dados gamaespectrométricos com base na composição

ternária falsa cor RGB dos três radioelementos, K, eTh e eU foi possível identificar e delimitar diferentes padrões em correlação com unidades geológicas previamente conhecidas, que serviram como mapa de serviço para posterior checagem de dados em trabalhos de campo. Os resultados deste trabalho indicaram uma forte correlação entre unidades geológicas e padrões radiométricos, bem como, entre alinhamentos magnéticos e estruturas tectônicas que resultaram em ferramenta importante nos trabalhos de mapeamento e prospecção. A aplicação do método Euler 3D na modelagem das fontes magnéticas associadas com intrusões ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE apresentou resultados compatíveis com aqueles obtidos por observação direta mediante perfurações de poços apresentada em (Mota e Silva et al., 2013).

Agradecimentos

A CPRM-Serviço Geológico do Brasil pelo apoio para realização desta pesquisa.

Referências

Brito Neves, B. B.; Sproesser, W. M.; Petronilho, L. A.; Souza, S. L. 2013. Contribuição à Geologia e à Geocronologia do Terreno Rio Capibaribe (TRC, Província Borborema). Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v. 13, n.2, p.97-122.

LASA Engenharia e Prospecções S.A. & Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas Ltda. 2008. Projeto Levantamento Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Relatório Final, Texto e Anexos (Mapas), Rio de Janeiro, 401p.

Mota e Silva, J.; Ferreira Filho, C. F. and. Della Giustina, M. E. S. 2013. The Limoeiro Deposit: Ni-Cu-PGE Sulfide Mineralization Hosted Within an Ultramafic Tubular Magma Conduit in the Borborema Province, Northeastern Brazil. *Economic Geology*, v. 108, pp. 1753–1771.

Mushayandebvu, M.F., Van Driel, P., Reid, A.B., & Fairhead, J.D. 2001. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution: *Geophysics*, 66(3): 814-823.

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.

Santos et. al 2016. Programa Geologia do Brasil-PGB. Projeto Rio Capibaribe. Estados de Pernambuco e Paraíba. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 1 mapa, Escala 1:250.000.

Silva Filho, A.F., Guimarães, I.P., Van Schmus, W.R., 2002. Crustal evolution of the Pernambuco–Alagoas complex, Borborema Province, NE Brazil: Nd isotopic data from Neoproterozoic granitoids. *Gondwana Res.* 5, 409–422.