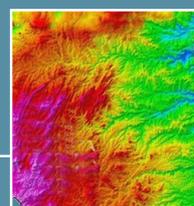
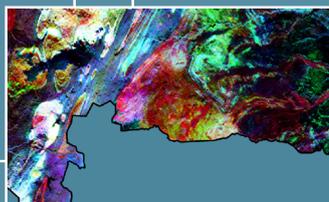
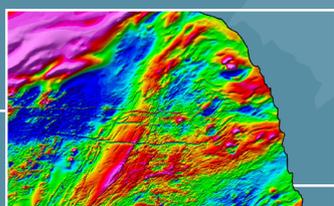


PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO E DE
POTENCIAL MINERAL DE NOVAS FRONTEIRAS

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado de Pernambuco



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Fernando Pereira de Carvalho

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Geologia

Lúcia Travassos da Rosa Costa

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Vladimir Cruz de Medeiros

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Marcelo Esteves Almeida

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Düringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Washington José Ferreira Santos

Chefe do Departamento de Apoio Técnico

Maria José Cabral Cezar

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Ricardo Luiz Barreiros Motta

SUPERINTENDÊNCIA DE RECIFE

Superintendente

Vanildo Almeida Mendes

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Silvana de Carvalho Melo

Responsável Técnico do Produto

Roberto Gusmão de Oliveira

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
| PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL |

**LEVANTAMENTO GEOLÓGICO
E DE POTENCIAL MINERAL DE NOVAS FRONTEIRAS**

**ATLAS AEROGEOFÍSICO
DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

ORGANIZADORES

Roberto Gusmão de Oliveira
Marília de Araújo Costa Rodrigues



RECIFE
2019

REALIZAÇÃO

Superintendência de Recife

COORDENADOR DO PROJETO

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

ELABORAÇÃO DOS TEXTOS E MAPAS

Roberto Gusmão de Oliveira

Marília de Araújo Costa Rodrigues

COLABORADORES

Edlene Pereira da Silva

APOIO TÉCNICO**PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO****Capa (DIEDIG)**

Agmar Alves Lopes

Miolo (DIEDIG)

Agmar Alves Lopes

Diagramação (ERJ)

Agmar Alves Lopes

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Larissa Natália da Silva Santos

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

048a

Oliveira, Roberto Gusmão de
Atlas aerogeofísico do estado de Pernambuco /
Organizadores Roberto Gusmão de Oliveira [e] Marília
de Araújo Costa Rodrigues. – Recife : CPRM, 2019.
61 p. : il.

Levantamento geológico e de potencial mineral de
Novas Fronteiras.

ISBN: 978-85-7499-564-9

1. Aerogeofísica – Atlas – Brasil – Pernambuco.
I. Rodrigues, Marília de Araújo Costa (Org.). II. Título.

CDD 550.98134

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB 5663

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O conhecimento geológico do território brasileiro constitui um instrumento indispensável para o planejamento e a execução das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais, e simultaneamente é fonte de dados imprescindível para o conhecimento e gestão do meio físico.

É com esta premissa que o **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** tem a grata satisfação de disponibilizar à comunidade técnico-científica, aos empresários do setor mineral e à sociedade em geral os resultados alcançados pelo **Projeto Atlas Aerogeofísicos dos Estados**, vinculado ao **Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral**.

A grande importância dos levantamentos aerogeofísicos está na sua capacidade para desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos. Dessa forma, feições geológicas como corpos, estruturas e depósitos minerais podem ser inferidas em profundidade por meio de interpretações e modelagens. Portanto, em um país continental como o Brasil, a execução de levantamentos aerogeofísicos com capacidade para abranger grandes áreas e regiões de difícil acesso é uma estratégia rápida e eficiente de investigar o seu subsolo.

Ao longo das duas últimas décadas importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), tendo sido recoberta uma área de cerca de 3.726.364 km², que corresponde a 43,76% do território brasileiro e aproximadamente 92% do embasamento cristalino do Brasil. Este grande esforço foi realizado com a expectativa de contribuir para o aprimoramento do conhecimento geológico do país e a descoberta de jazidas minerais.

Para incrementar a divulgação do conhecimento e a disponibilização dos dados, o **Projeto Atlas Aerogeofísicos dos Estados** integra dados aerogeofísicos de acordo com os limites das unidades federativas do Brasil. Esta compartimentação objetiva facilitar a gestão e emprego dos dados de acordo com a preferência e prioridades de cada gestor estadual, e segundo as características geológicas e potencialidades minerais locais.

A preparação do **Atlas Aerogeofísico de Pernambuco** necessitou de partes de cinco diferentes projetos aerogeofísicos, que foram unidos em uma única malha conforme os limites do estado. Esta tarefa implicou na necessidade do reprocessamento e nivelamento dos dados brutos, e aplicação de filtros para enfatizar assinaturas anômalas. A principal assinatura magnética de Pernambuco é o alinhamento associado com a extensa zona de cisalhamento que atravessa longitudinalmente o estado, de leste a oeste, denominado Lineamento Pernambuco. Nos dados gamaespectrométricos são observadas, sobretudo, formas circulares ou elípticas alongadas decorrentes de sua correlação com intrusões de rochas com composição granítica.

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, através dos levantamentos geológicos básicos, geoquímicos e geofísicos, e da avaliação integrada das informações, fundamental para o desenvolvimento regional e importante subsídio à formulação de políticas públicas e de apoio à tomada de decisão de investimentos. Este produto está disponível para download no banco de dados corporativo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>).

Esteves Pedro Colnago

Diretor-Presidente

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
PRIMEIROS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS.....	6
LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DE ALTA DENSIDADE DE DADOS	6
INVESTIMENTOS EM LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS A PARTIR DE 2004	7
CESSÃO GRATUITA DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS AO PÚBLICO EM GERAL	7
CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE PERNAMBUCO.....	9
CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	9
CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS.....	10
MATERIAIS E MÉTODOS	13
DADOS AEROGEOFÍSICOS	13
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO MAGNETOMÉTRICO.....	14
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO	15
PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS.....	15
Plataforma de Processamento	16
Interpolação.....	16
Junção dos Diferentes Projetos	16
Aplicação de Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos	17
MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS	18
ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS	19
1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA	21
GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA	23
ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA REDUZIDA AO POLO MAGNÉTICO	25
SEPARAÇÃO DAS ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS EM RASAS E PROFUNDAS.....	27
PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO.....	30
MAPAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS.....	31
POTÁSSIO	32
EQUIVALENTE TÓRIO.....	34
EQUIVALENTE URÂNIO	36
COMPOSIÇÃO TERNÁRIA RGB (K-eTH-eU).....	38
POTÁSSIO ANÔMALO	40
URÂNIO ANÔMALO.....	42
PARÂMETRO F	44
PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO	46

ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS... 48

AEROGEOFÍSICA DO CORPO MÁFICO-ULTRAMÁFICO DE JUREMA MINERALIZADO EM FE-TI-V
NA REGIÃO DE FLORESTA..... 50

AEROGEOFÍSICA DA FAIXA DE OCORRÊNCIA DE ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS MINERA-
LIZADAS EM NI-CU-EGP DE LIMOEIRO..... 53

AEROGEOFÍSICA DOS GARIMPOS DE OURO DA REGIÃO DE SERRITA 57

REFERÊNCIAS 59

INTRODUÇÃO

Os primeiros levantamentos aerogeofísicos executados no Brasil, desde a década de 1950, foram patrocinados por instituições federais do governo brasileiro, tais como o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS). A atuação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) se iniciou em 1971, quando assumiu o papel de órgão executor de projetos aerogeofísicos sistemáticos (magnetometria e gamaespectrometria), em princípio realizados por meio de convênios com o DNPM, que procurava atender a política do Ministério de Minas e Energia para realizar o recobrimento aerogeofísico dos terrenos pré-cambrianos do escudo brasileiro.

PRIMEIROS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS

Entre 1971 e 2001 foram executados 48 projetos aerogeofísicos em diversas regiões do país, predominantemente magnetometria e gamaespectrometria. A maioria destes projetos aerogeofísicos tiveram características de levantamentos regionais, ou seja, com espaçamento das linhas de

voo variando entre 2.000 e 1.000 m e altura de voo de 150 m. Nesse período foi recoberta uma área de cerca de 2.413.323 km² (Figura 1).

LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DE ALTA DENSIDADE DE DADOS

A partir de 2004, iniciou-se uma nova fase nos aerolevantamentos geofísicos, onde a maioria dos projetos de magnetometria e gamaespectrometria foram realizados com espaçamento de 500 m entre as linhas de voo, altura de voo de 100 m e direção das linhas de voo N-S.

Foram realizados também dois aerolevantamentos eletromagnéticos de detalhe na região de Nova Redenção/BA e Rio das Velhas/MG, além de um grande aerolevantamento gravimétrico regional na região de Carajás/PA.

Nesse período foi recoberta uma área de cerca de 3.726.364 km² (Figura 2), que corresponde a 43,76% do território brasileiro e aproximadamente 92% do embasamento cristalino do Brasil. De 2004 a 2014, os investimentos para aquisição de dados aerogeofísicos atingiram cerca de US\$ 188 milhões.

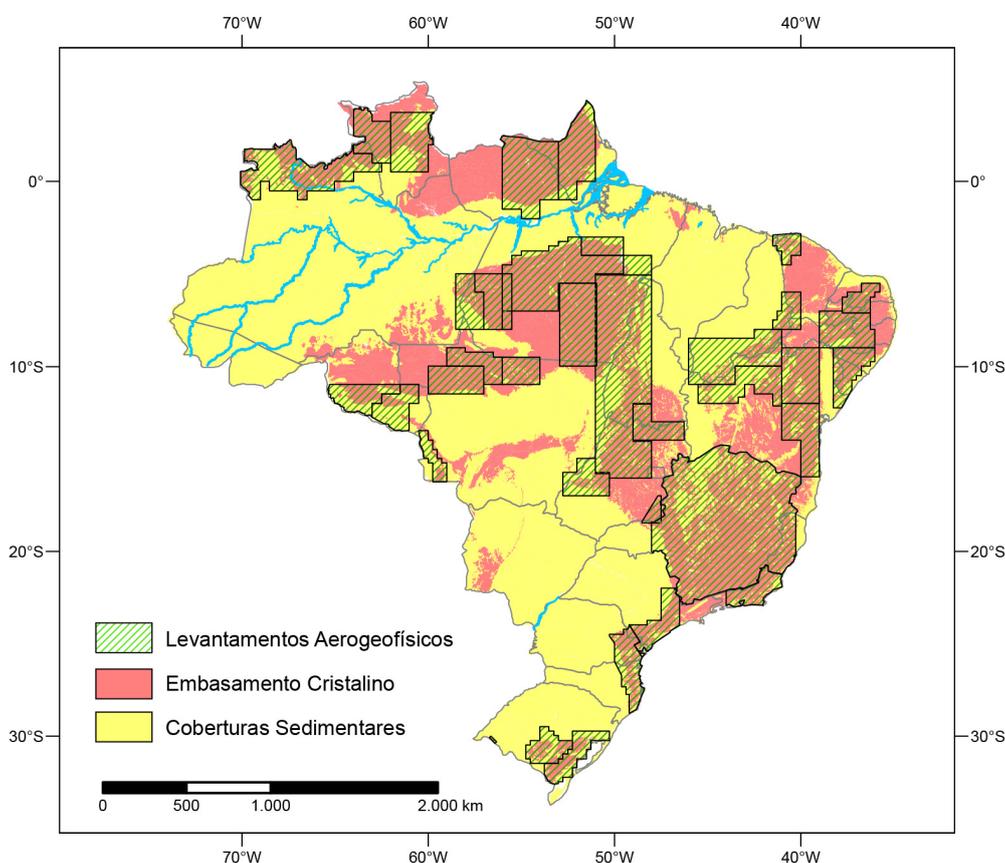


Figura 1 - Levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) adquiridos entre 1971 e 2001.

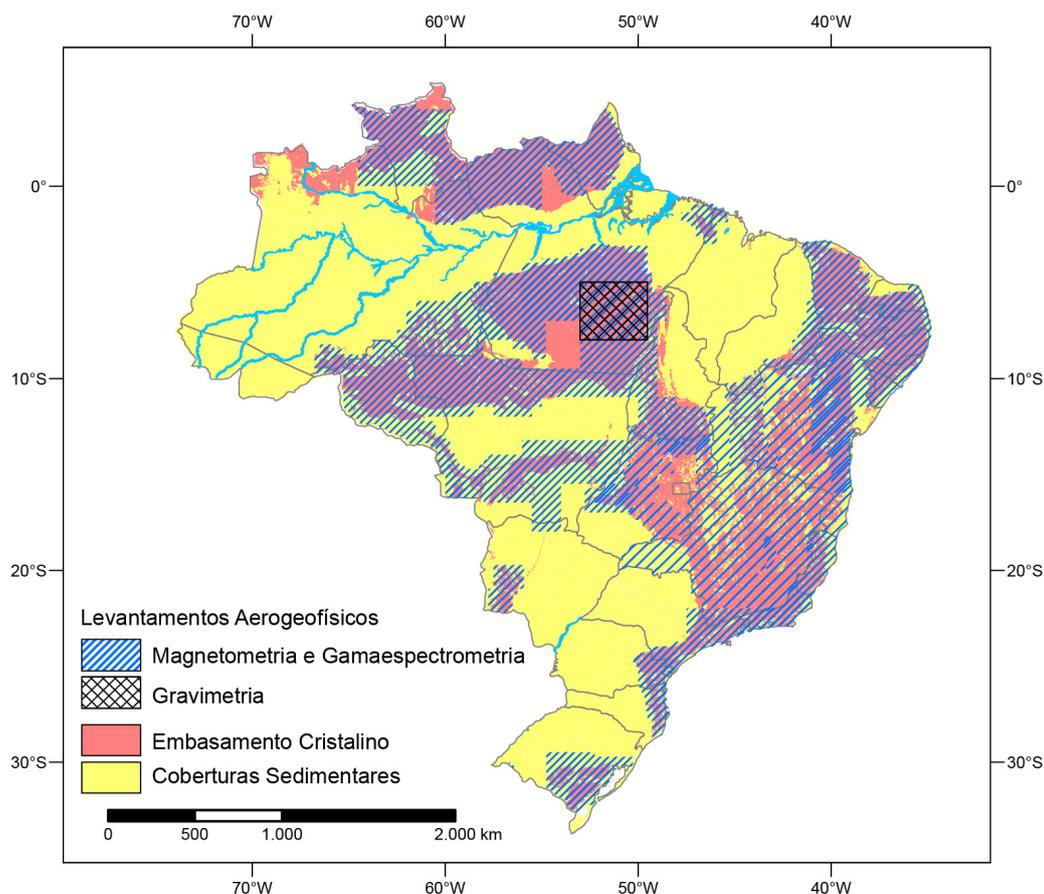


Figura 2 - Levantamentos aerogeofísicos adquiridos entre 2004 e 2014.

INVESTIMENTOS EM LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS A PARTIR DE 2004

Os investimentos em levantamentos aerogeofísicos foram crescentes a partir de 2004, e atingiram o seu ápice entre os anos de 2008 e 2013. A Tabela 1 e o Gráfico 1 apresentam a evolução dos investimentos em aerogeofísica entre 2004 e 2014.

CESSÃO GRATUITA DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS AO PÚBLICO EM GERAL

Até 2017 os dados aerogeofísicos adquiridos pela CPRM eram vendidos para empresas privadas, ou cedidos à universidades e instituições de pesquisa seis meses após a realização dos projetos aerogeofísicos e disponibilização dos dados. Quando vendidos para empresas privadas, os valores cobrados não eram compatíveis com os custos da aquisição e valor real dos dados, e eram decrescentes. Por exemplo, o custo do quilômetro voado oscilava entre R\$ 40,00 e R\$ 50,00, e os dados eram vendidos por R\$ 2,00, R\$ 1,00 e R\$ 0,50 por quilômetro, do primeiro ao terceiro ano após a disponibilização dos dados, respectivamente. Os recursos arrecadados com a venda dos dados aerogeofísicos

Tabela 1 - Valores investidos em aerolevantamento pela CPRM entre os anos de 2004 e 2014. Valores em reais e dólares (referente à cotação média do ano do aerolevantamento).

Ano	Investimento R\$ (em milhões)	Investimento U\$ (em milhões)
2004	10,226	3,494
2005	38,931	15,989
2006	22,260	10,219
2007	15,343	7,876
2008	51,405	28,015
2009	40,649	20,350
2010	57,359	32,584
2011	39,007	23,287
2012	21,418	10,958
2013	62,985	29,191
2014	15,052	5,971
Total	374,635	187,934

retornavam ao Tesouro Nacional, de modo que nenhum recurso retornava à CPRM.

Embora os valores cobrados pela CPRM fossem muito abaixo dos custos de aquisição, estes eram considerados elevados por empresas juniores.

Desta forma, a partir de maio de 2017 optou-se pela cessão ampla e gratuita dos dados a todos os usuários,

como forma de estimular investimentos do setor mineral. Os dados aerogeofísicos em formato XYZ e imagens aerogeofísicas georreferenciadas são acessados através do banco de dados corporativo da empresa, o GeoSGB (geosgb.cprm.gov.br/geofisica).

O volume de dados baixados por tipo de acesso está apresentado no Gráfico 2.

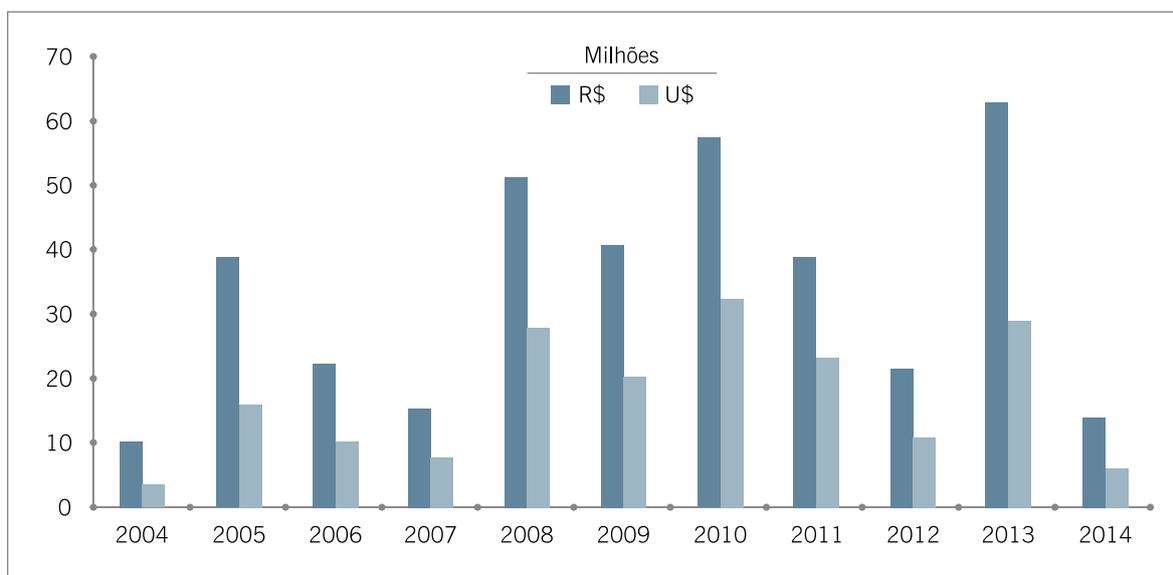


Gráfico 1 - Valores investidos na aquisição de dados aerogeofísicos entre 2004 e 2014.

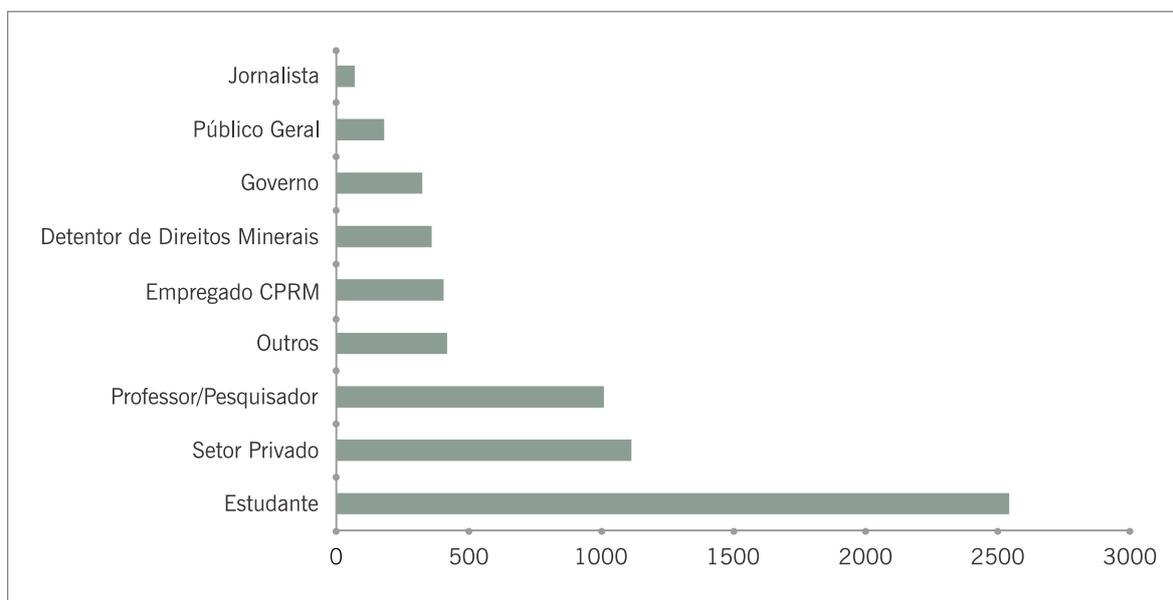


Gráfico 2 - Volume de dados (em Gb) de projetos aerogeofísicos acessados de forma gratuita entre maio de 2017 a setembro de 2019.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE PERNAMBUCO

CONTEXTO GEOGRÁFICO

O estado de Pernambuco está localizado na Região Nordeste do Brasil (Figura 3), tem uma área de 98.076,021 km², possui 185 municípios e uma população total estimada em 9.496.294 pessoas (Fonte: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>, acesso em janeiro de 2019).

No clima, Pernambuco está inserido na Zona Intertropical apresentando predominantemente temperaturas altas, podendo variar no quadro climático devido à interferência do relevo e das massas de ar. No Recife, por exemplo, a temperatura média é de 25°C, com máximas de 32°. Já em cidades do interior, nos meses de inverno (entre maio e julho) as temperaturas podem baixar consideravelmente, podendo chegar, em alguns locais, até a 8°C (Fonte: <http://www.pe.gov.br/conheca/geografia/>, acesso em janeiro de 2019).

O estado de Pernambuco também é dotado de uma vegetação muito diversificada, com matas, manguezais e cerrados, além da grande presença da caatinga. Possui uma rede hidrográfica extensa com rios intermitentes na região semiárida e perenes na Zona da Mata, sobretudo na Região Metropolitana do Recife (RMR) que conta com 14 municípios. Existem também muitas barragens de contenção de enchentes e abastecimento populacional, como Tapacurá, Carpina e Jucazinho. Os principais rios são o Capibaribe e Beberibe, Ipojuca, Una, Brígida, Moxotó, Pajeú, Jaboatão e São Francisco. Este último extremamente importante para o desenvolvimento da Região do Sertão, uma vez que possibilita a distribuição de águas nas regiões secas e irrigação de extensas áreas agrícolas (Fonte: <http://www.pe.gov.br/conheca/geografia/>, acesso em janeiro de 2019).

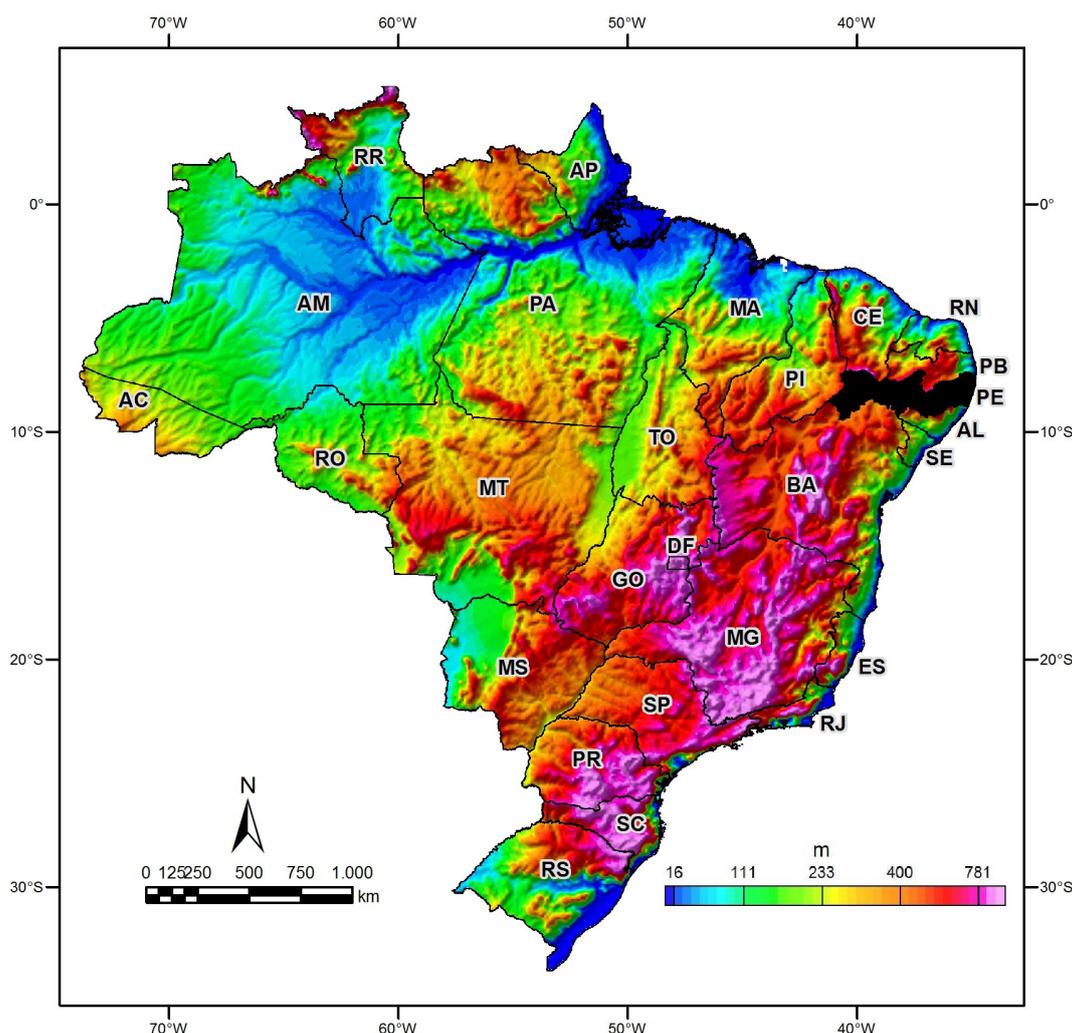


Figura 3 - Localização geográfica do estado de Pernambuco. Dados topográficos do GLOBE DEM do projeto Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) (HASTINGS et al., 1999).

Segundo FERREIRA, DANTAS; SHINZATO (2014), o estado de Pernambuco apresenta grande variedade de formas de relevo, esculpidas em terrenos cristalinos e sedimentares. A diversidade das paisagens foi condicionada por um conjunto de fatores que interferiram na geomorfogênese, tais como estrutura geológica, evolução morfoclimática e processos atuais. Também, segundo FERREIRA, DANTAS; SHINZATO (2014), a evolução dos eventos geológicos que resultou na atual configuração do relevo do estado de Pernambuco está fortemente associada ao processo de abertura do Oceano Atlântico durante o Cretáceo, em um sistema de falhamentos e instalação de bacias sedimentares implantadas sobre o Escudo Pré-Cambriano da Província Borborema BRITO NEVES; SANTOS; VAN SCHMUS, 2000. Posteriormente, durante o Neógeno, destaca-se o soerguimento epirogenético e o arqueamento do Planalto da Borborema, alçado, por vezes, a cotas superiores a 1.000 m de altitude (OLIVEIRA, 2008).

FERREIRA, DANTAS; SHINZATO compartimentaram os terrenos pernambucanos em nove domínios geomorfológicos com altitudes que variam de 0 a 1200 metros. Os quatro domínios geomorfológicos principais são (Figura 4): Patamares Orientais da Borborema, Planalto da Borborema, Depressão Sertaneja e Chapada do Araripe.

CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS

O estado de Pernambuco é formado por rochas pré-cambrianas que abrangem cerca de 90% do seu território

(Figura 5). Em menor proporção ocorrem bacias sedimentares paleo/mesozóicas interiores e bacias litorâneas meso/cenozoicas (GOMES, 2001). No contexto geotectônico, o estado de Pernambuco está localizado na Província Borborema (ALMEIDA et al., 1977), que corresponde a um cinturão orogênico meso/neoproterozoico que teve sua configuração final estabelecida na Orogênese Brasileira (Brito Neves et al., 2000). Na Província Borborema, SANTOS (1996; 2000) reconheceu os domínios Externo, Transversal, Rio Grande do Norte, Cearense e Médio Coreaú, separados entre si por lineamentos crustais brasileiros, que podem ou não representar suturas (JARDIM DE SÁ et al., 1992).

De acordo com GOMES (2001), o estado de Pernambuco inclui diversos terrenos dos domínios Transversal e Externo e uma pequena porção do Cráton do São Francisco (Figura 5). A porção preservada do Cráton do São Francisco inclui uma pequena parte do cinturão Salvador-Curaçá e do bloco de Sobradinho (ANGELIM; KOSIN, 2001). O domínio Externo inclui a Faixa Riacho do Pontal e os terrenos Pernambuco-Alagoas oeste e leste. A Faixa Riacho do Pontal constitui uma colagem dos terrenos mesoproterozoicos Paulistana e Monte Orebe, acoplados ao terreno neoproterozoico Casa Nova (ANGELIM; KOSIN, 2001). O limite da faixa com o cráton é o sistema de empurrões empilhados de Rajada, ao qual está associado o klippe de Barra Bonita. O oeste do Terreno Pernambuco-Alagoas corresponde a uma nappe cristalina mesoproterozoica, formada por rochas metaplutônicas e supracrustais imbricadas, incluindo fragmentos paleoproterozoicos.

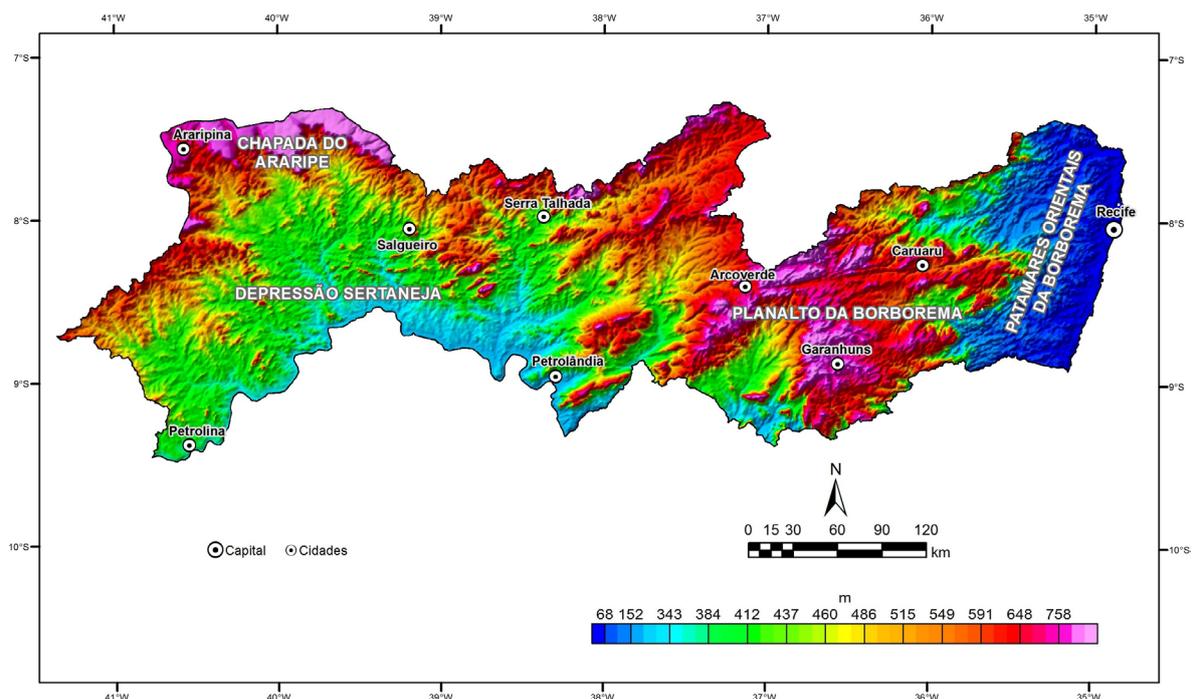


Figura 4 - Topografia do estado de Pernambuco (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission - NASA) com indicação dos principais domínios geomorfológicos.

O Lineamento Pernambuco, uma zona de cisalhamento transcorrente de regime dúctil e extensão superior à 900 km, limita a faixa Riacho do Pontal e o terreno Pernambuco-Alagoas com o domínio Transversal (GOMES, 2001). No terreno Pernambuco-Alagoas ocorreram inúmeras intrusões graníticas neoproterozoicas durante a Orogênese Brasileira. O domínio Transversal situa-se ao norte do Lineamento Pernambuco e abrange de oeste para leste o Terreno São Pedro, a Faixa Piancó-Alto Brígida e os terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe (Figura 5).

De acordo com GOMES (2001), as bacias sedimentares podem ser agrupadas em três tipos, relacionadas aos estágios de evolução do Continente Sulamericano. Distinguem-se as bacias interiores do Araripe, São José do Belmonte, Mirandiba, Carnaubeira, Betânia, Fátima e Jatobá, e as bacias costeiras de Pernambuco e Paraíba. As bacias costeiras são formadas por pilhas sedimentares relacionadas à abertura do Oceano Atlântico (Cretáceo Superior e Cenozoico). A evolução pós-abertura do Atlântico está representada pelos sedimentos continentais cenozoicos correlativos dos episódios de aplainamento do relevo.

O estado de Pernambuco possui uma grande variedade de bens minerais metálicos e não metálicos, incluindo uma grande potencialidade para matérias de construção civil, entre eles areia e cascalho (GOMES, 2001). Os principais depósitos/jazidas minerais são rochas ornamentais, gipsita, ferro-titânio-vanádio, ouro e níquel (Figura 5).

Segundo GOMES (2001), jazidas de rochas ornamentais estão amplamente distribuídas em todo o estado e compreendem granitoides, ortogneisses e migmatitos de variadas composições.

Os depósitos de gipsita estão situados na Bacia do Araripe. A gipsita se constitui em uma das vocações econômicas de Pernambuco por causa do volume elevado das reservas, qualidade e posição geográfica.

Os depósitos de ferro estão encaixados no Grupo Cachoerinha (Formação Santana dos Garrotes). O minério tem como paragênese a hematita, magnetita e quartzo. Ele ocorre de forma lenticular e estratiforme (SANTOS, 1967).

Os depósitos de ferro-titânio estão associados às suítes máficas-ultramáficas do Serrote das Pedras Petras e Malhada Vermelha. Na Suíte Serrote das Pedras os depósitos de ferro e titânio maciço estão hospedados em metaperidotitos, metagabros (com ou sem granada), metapiroxenitos e metahornblenditos (LAGES; DANTAS, 2016). Nela encontram-se as maiores reservas de ferrotitânio do estado (GOMES, 1967). A Suíte Malhada Vermelha compreende intrusões maciças gabro-anortosíticas em metaplutônicas do Complexo Floresta.

De acordo com GOMES (2001), no estado de Pernambuco ocorrem dois distritos auríferos. O distrito Brejinho-Itapetim situa-se no extremo centro-norte no sertão do Alto Pajeú, enquanto o distrito Serrita-Cedro localiza-se no extremo oeste do estado, próximo à borda da Chapada do Araripe. Na região de Brejinho e Itapetim, garimpos de ouro têm sido lavrados desde a década de 40. Essas mineralizações auríferas estão relacionadas a hidrotermalismo com filões de quartzo em zonas de cisalhamento, com evidências de estilos tipicamente epigenéticos em ambiente de ortogneisses mesoproterozoicos e em boudins e filonetes de quartzo encaixados em gnaisses xistosos e xistos grafitosos, no Terreno Alto Pajeú (GOMES, 2001). Na região de Serrita e Cedro, no oeste do estado, existem mineralizações/garimpos de ouro em rochas metavulcânicas do Complexo Riacho Gravatá, junto ao batólito granito-granodiorítico de Serrita. As zonas mineralizadas são caracterizadas pela associação de ouro, galena, esfalerita, calcopirita, pirita e hematita em veios de quartzo (MARINHO, 2012).

Uma Jazida de Ni-Cu e elementos do grupo da platina foi descoberta em 2009 na região leste do estado, nas proximidades da cidade de Limoeiro (MOTA-E-SILVA; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA, 2013). O depósito que forma tubos afetados por falhas rúpteis é hospedado por rochas ultramáficas parcialmente deformadas e metamorfisadas intrudidas em xistos e gnaisses. O volume da mineralização em todos os corpos de minérios forma massas de rochas espessas e alongadas contendo sulfetos disseminados concordantes com a estrutura (MOTA-E-SILVA; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA, 2013).

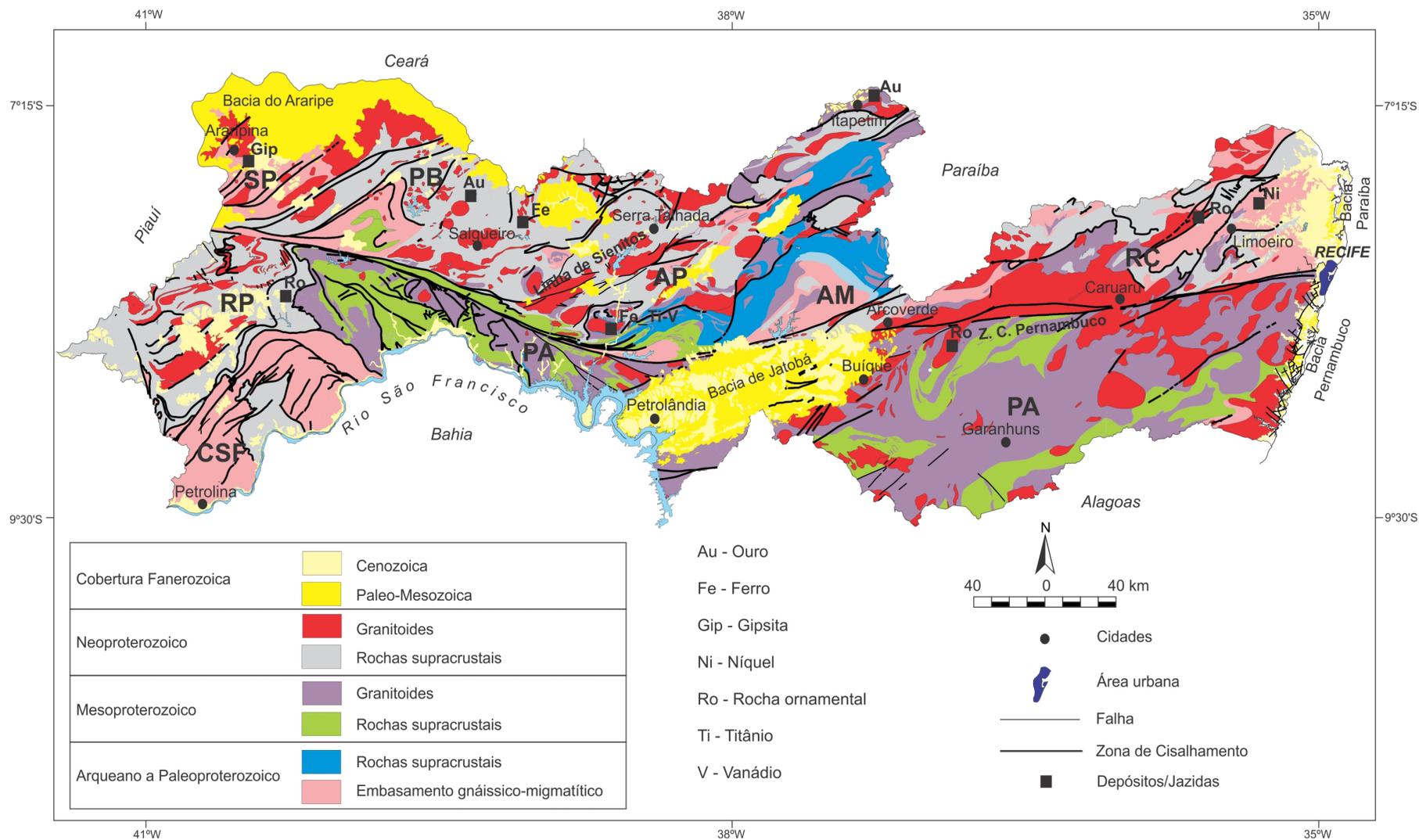


Figura 5 - Geologia simplificada do estado de Pernambuco (GOMES, 2001, modificada), com localização das principais jazidas/depósitos minerais. CSF – Cráton São Francisco. Terrenos e faixas dobradas: RP – Riacho do Pontal, SP – São Pedro. PB – Piancó-Alto Brígida, AP – Alto Pajeú, AM – Alto Moxotó, PA – Pernambuco-Alagoas, RC – Rio Capibaribe.

MATERIAIS E MÉTODOS

DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados aerogeofísicos do estado de Pernambuco foram levantados em cinco projetos (Figura 6):

- i) Borda Leste do Planalto da Borborema (CPRM, 2008)
- ii) Pernambuco – Paraíba (CPRM, 2010a).
- iii) Paulo Afonso – Teotônio Vilela (CPRM, 2011).
- iv) Pernambuco – Piauí (CPRM, 2006)
- v) Centro Sudoeste do Ceará (CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2010b)

Estes projetos levantaram perfis magnetométricos do campo magnético total e gamaespectrométricos de alta densidade, com linhas de voo e controle espaçadas de 500 m e 5.000 m, orientadas nas direções N-S e E-W,

respectivamente. A altura de voo foi fixada em 100 m acima do terreno. Foram empregadas aeronaves equipadas com magnetômetro e gamaespectrômetro, posicionadas pelo sistema de observação de satélite GPS com precisão de 1 m. O magnetômetro com sensor de vapor de césio foi montado na cauda da aeronave (tipo stinger) (Fotografia 1). As medidas foram realizadas a cada 0,1 s, o que equivale, dependendo da velocidade média da aeronave a uma medida a cada 7,7 m. O gamaespectrômetro com detectores de cristais de iodeto de sódio (NaI) (Fotografia 2) realizou a análise individual e precisa dos fotopicos de potássio, equivalente tório (eTh) e equivalente urânio (eU). As medidas foram efetuadas a cada 1,0 s, representando medições a intervalos médios de amostragem de aproximadamente 77,0 m.

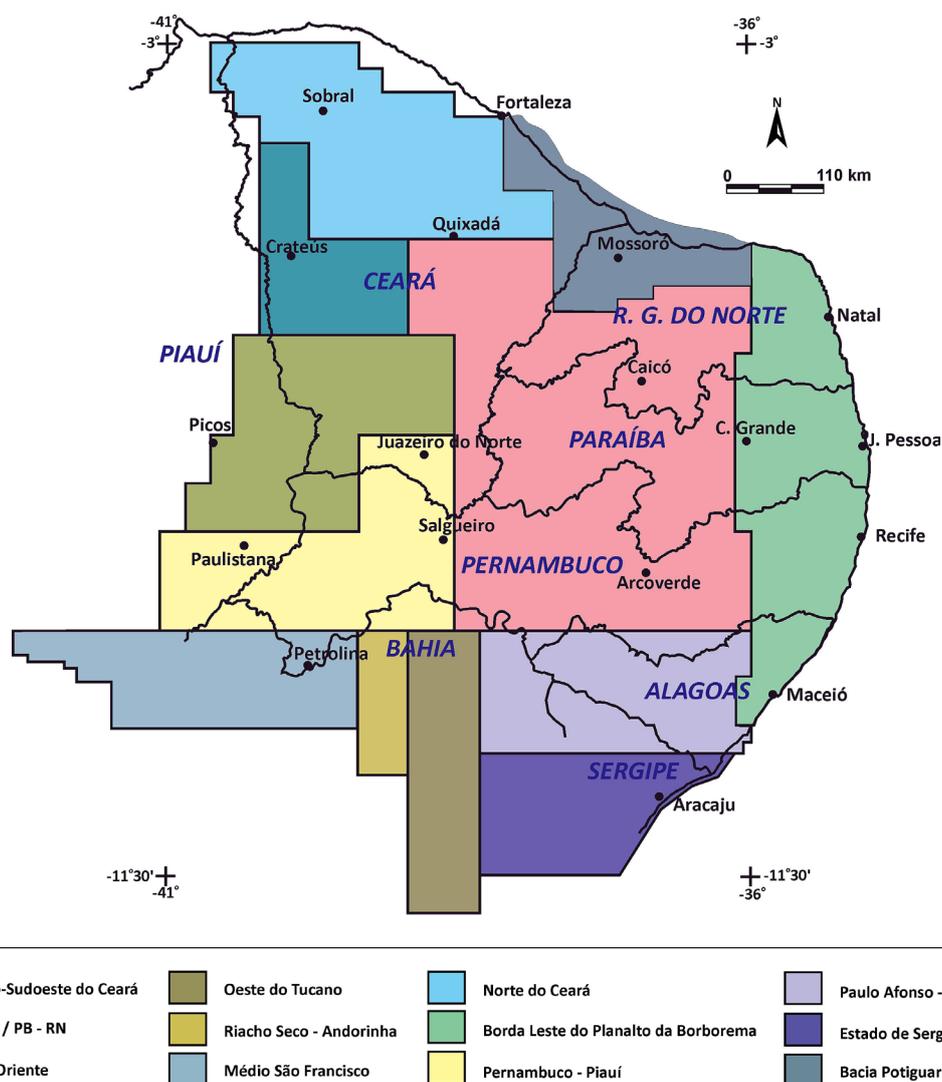


Figura 6 - Localização dos levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) realizados na Região do Nordeste Oriental do Brasil entre 1987 e 2011 com linhas de voo N-S espaçadas de 500 m e altura de voo igual 100 m.



Fotografia 1 - Avião equipado com magnetômetro do tipo vapor de céσιο montado na cauda da aeronave (tipo stinger). Este magnetômetro mede o campo magnético total a cada 0,1 s..

Fotografia 2 - Avião equipado com gamaespectrômetro com detector de cristal de iodeto de sódio. Este gamaespectrômetro mede dados de radioatividade natural a cada 1,0 s.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO MAGNETOMÉTRICO

O método magnetométrico é um dos mais antigos métodos geofísicos. Desde o seu início foi muito utilizado nos estudos exploratórios de recursos minerais metálicos. A indústria de exploração de petróleo também fez e ainda faz intenso emprego dessa metodologia. Na pesquisa de minerais metálicos, sobretudo àqueles portadores de ferro, a importância e a relação direta com jazidas são bastante evidentes. Em outros casos, como o do petróleo, a magnetometria permite a identificação de estruturas, tais como domos e falhas, que podem condicionar a formação de jazidas.

O método magnetométrico mede o campo magnético da Terra. O campo magnético terrestre pode ser considerado como produzido por um momento de dipolo localizado no centro da Terra, apontando para o sul e formando com um ângulo em relação ao eixo de rotação. Os pontos em que o eixo do dipolo intercepta a superfície da Terra são denominados polos geomagnéticos (Figura 7). As linhas de forças que atravessam a esfera terrestre ficam paralelas com a superfície nas proximidades do equador. Ele é composto por três partes: o campo principal que tem origem no núcleo externo da Terra; o campo externo produzido por correntes

elétricas que circulam na ionosfera e varia rapidamente e, variações do campo principal que são constantes no tempo e são causadas por anomalias magnéticas locais geradas por rochas e minerais magnéticos próximos da superfície da Terra (TELFORD et al., 1990).

De acordo com TELFORD et al. (1990), todos os materiais podem ser classificados em três grupos de acordo com as suas propriedades magnéticas: diamagnético, paramagnético e ferromagnético. As substâncias diamagnéticas apresentam susceptibilidade magnética (μ) negativa. Isso significa que a magnetização induzida (B) por um campo externo (H) apresenta direção oposta à do campo H . As substâncias que não são diamagnéticas são denominadas paramagnéticas, ou seja, apresentam susceptibilidade magnética positiva. Os ferromagnéticos são materiais paramagnéticos no qual a interação entre os átomos é tão forte que ocorre um alinhamento de momentos magnéticos em grandes domínios das substâncias. A temperatura Curie é a temperatura a partir da qual um material perde as suas características ferromagnéticas e passa a se comportar como paramagnético (Fe 750°C, Ni 310°C, magnetita 515°C).

A susceptibilidade magnética é um parâmetro adimensional que define a intensidade da magnetização induzida em uma rocha ($H = \mu B$). Ela tem relação direta com a

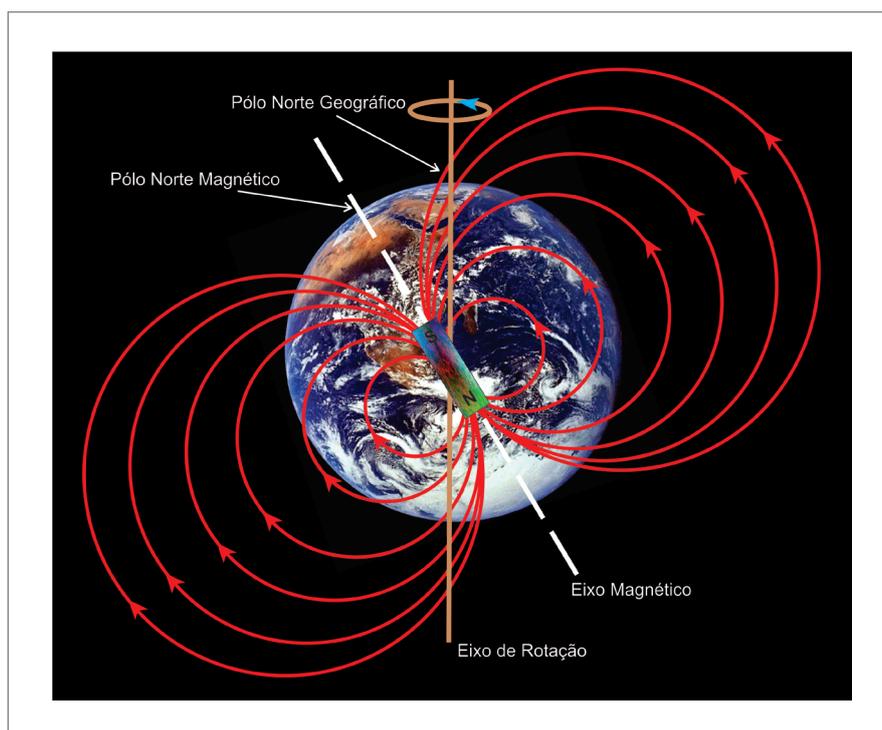


Figura 7 - Representação esquemática do Campo Magnético da Terra. Ele pode ser comparado com um grande ímã cuja direção forma um ângulo agudo com o eixo de rotação.

quantidade e dimensão dos minerais magnéticos contidos nas rochas. Os principais minerais magnéticos são magnetita, ilmenita e pirrotita. Entre eles, a magnetita é o que apresenta os maiores valores de susceptibilidade. Entre as rochas, os basaltos e peridotitos são as que têm maiores susceptibilidades (TELFORD et al., 1990).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO

O método radiométrico é baseado na detecção da emissão natural de raios gama produzidos pelo decaimento radioativo de isótopos. Alguns isótopos são instáveis e se tornam estáveis pela emissão de radiação energética ionizada. Estes isótopos são denominados radioisótopos (KEAREY et al., 2002).

O decaimento radioativo que leva a formação de elementos estáveis é exponencial e sua taxa de decaimento segue a fórmula: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, onde N é o número de átomos restantes após um tempo t , a partir de um número inicial N_0 a um tempo $t = 0$. λ é a constante de decaimento característica de cada elemento (KEAREY et al., 2002).

A importância do método radiométrico nas últimas décadas se deve a grande demanda de minerais radioativos provocado pela necessidade de combustíveis nucleares (KEAREY et al., 2002). Entretanto, levantamentos radiométricos também são muito úteis no mapeamento geológico para o reconhecimento e diferenciação de diversos tipos de rochas (PIRES; HARTHILL, 1989).

Na natureza ocorrem em torno de 50 isótopos radioativos, mas a maioria é rara ou fracamente radioativa. Os elementos com interesse principal em radiometria são urânio (^{238}U), tório (^{232}Th) e potássio (^{40}K). Eles são os únicos elementos com radioisótopos que produzem raios gama com energia suficiente para serem medidos em levantamentos aéreos (MINTY, 1997). O fotopico mais energético da série de decaimento do Th é emitido pelo isótopo ^{208}Tl , enquanto o U é detectado pelo fotopico emitido pelo isótopo ^{214}Bi (MINTY, 1997). Em média a crosta da Terra contém 2,5 % de K, 12 ppm de Th e 3,5 ppm de U (DICKSON; SCOTT, 1997).

Existe um grande número de minerais radioativos, porém os mais comuns são aqueles apresentados na Tabela 2.

PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS

Neste item estão descritas as metodologias utilizadas para o tratamento dos dados magnetométricos objetivando sua apresentação em formato adequado para os trabalhos de interpretação e integração geológica. De acordo com ISLES; RANKIN (2013), a tarefa de controle de qualidade de um levantamento aeromagnetométrico requer experiência geofísica especializada e nem sempre é realizada pela pessoa responsável pela interpretação dos dados. Os principais problemas para o intérprete são os níveis de ruído nos dados. Eles precisam ser baixos e sua remoção não deve afetar os objetivos dos trabalhos de interpretação e correlação geológica.

Tabela 2 - Minerais Radioativos de acordo com TELFORD et al. (1990).

Mineral	Ocorrência
Potássio	
Feldspatos (ortoclásio, microclinas)	Rochas ígneas ácidas e pegmatitos
Alunita	Rochas ígneas ácidas e pegmatitos Alterações em ácidas vulcânicas
Silvita, carnalita	Depósitos salinos em sedimentos
Tório	
Monazita	Granitos, pegmatitos, gnaisses
Torianita	Granitos, pegmatitos, aluviões
Torita, uranotorita	Granitos, pegmatitos, aluviões
Urânio	
Uraninita	Granitos, pegmatitos
Carnotita	Arenitos
Gumita	Associadas com uraninita

Os projetos aerogeofísicos contratados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM incluem contratualmente que as companhias de aerolevantamentos entreguem os resultados com os dados nivelados em malhas interpoladas e, no caso dos dados magnetométricos, com o efeito do campo magnético da Terra removido por meio de um modelo do campo denominado *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*.

Plataforma de Processamento

Nos trabalhos de processamento foram empregadas ferramentas disponíveis no programa *Oasis Montaj* da Geosoft, versão 9.0 ou maior. Entre as várias ferramentas disponíveis, as mais usadas foram: *Geophysic Leveling* para nivelamento, *Grid and Image* para interpolação e apresentação dos resultados, *GridKnit* para junção de diferentes projetos em uma mesma malha e *MAGMAP filtering* para aplicação de transformações e filtros nos dados.

Interpolação

Os dados são entregues pelas companhias de aerolevantamentos já interpolados. Entretanto, pode ser necessária, de acordo com a necessidade do geofísico a repetição do processo em diferentes etapas do seu projeto de trabalho. A interpolação é o processo em que se determina o valor de uma função em um ponto interno de um intervalo

a partir dos valores dessa função nas fronteiras desse intervalo. Esse procedimento é executado com o objetivo de transformar dados discretos em um mapa de registro contínuo, mais adequado à interpretação. A partir do banco de dados produzido pelos levantamentos aerogeofísicos, os dados corrigidos e nivelados são interpolados em uma malha de 125 x 125 m pelo método de Bi-directional. Este método produz malhas interpoladas em duas etapas de processamento: a) cada linha é interpolada ao longo da linha original de levantamento produzindo valores na intersecção de cada linha da malha com o valor observado; b) os pontos de intersecção para cada linha são interpolados na direção ortogonal para produzir valores em cada ponto requerido da malha.

Junção dos Diferentes Projetos

No estado de Pernambuco, o levantamento completo com dados aerogeofísicos necessitou a execução de cinco diferentes projetos (Figura 6). Portanto, uma das tarefas mais importantes deste projeto foi juntar os dados magnetométricos e gamaespectométricos de cada projeto em malhas individuais para todo o estado. Esta tarefa implicou algumas vezes na necessidade do reprocessamento e nivelamento dos dados brutos. Para junção dos projetos foi empregada a ferramenta *GridKnit*, que utiliza técnicas de fusão de malhas que reduzem o efeito de artefato que ocorre geralmente na interfaces entre dados de diferentes projetos. Esta tarefa foi

muito mais complicada quando aplicada nos dados gamaespectrométricos. Isto decorre por causa das diferenças nos sensores utilizados em cada levantamento. Devido à baixa qualidade do resultado da junção do canal de contagem total ele não será apresentado neste atlas.

Aplicação de Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos

Os procedimentos de filtragens dos dados aeromagnetométricos foram efetuados por meio do *MAGMAP filtering*. Esse sistema é constituído por um grupo programas que aplicam filtragens bidimensionais em dados interpolados de

campo potencial (magnéticos e gravimétricos) no domínio do número de onda. As técnicas utilizadas são adaptadas dos trabalhos de BHATTACHARYYA (1966) e SPECTOR; GRANT (1970). Os filtros são aplicados aos dados após um pré-processamento para remover tendências, preenchimento de espaços vazios e sua transformação para o domínio do número de onda por meio da técnica de *Fast Fourier Transform (FFT)*. Após a filtragem a malha de dados é transformada de volta para o domínio do espaço. Nos itens a seguir, onde estão apresentados os mapas aerogeofísicos, para cada produto resultante de uma transformação ou filtragem existe uma breve descrição dos fundamentos teóricos e utilidades práticas dos resultados.

▶ MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS

Um das principais finalidades do uso de dados magnetométricos é encontrar corpos de minério. Só com uma extensa cobertura de dados magnetométricos é possível descobrir novas jazidas de minerais metálicos. De acordo com Isles; RAKIN (2013), sem os extensos levantamentos magnetométricos realizados na Austrália e Canadá grandes minas de classe mundial não teriam sido encontradas.

Um das mais importantes contribuições dos dados magnetométricos é sua potencialidade para desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos. Feições geológicas como corpos e estruturas podem ser inferidas em profundidade por meio de interpretações e modelagens. As zonas de cisalhamentos são um dos objetos geológicos mais evidentes em mapas magnetométricos; contudo, sua contribuição para a delimitação tridimensional de formações vulcânicas, intrusões de rochas básicas e de granitoides magnéticos é fundamental.

Atualmente, em todo mundo, sobretudo nos países com dimensão continental, os governos tem empreendido um grande esforço de levantamento de dados magnetométricos

com vistas ao reconhecimento geológico de seus territórios. O Brasil foi um entre esses países que nas últimas décadas empreendeu uma grande campanha de levantamentos aerogeofísicos como apresentado na introdução deste atlas. No Brasil, entre os principais empregos dos dados magnetométricos está o mapeamento geológico.

No início das pesquisas para localização de jazidas de petróleo e antes do advento e avanços nas técnicas do método sísmico, a magnetometria foi uma ferramenta importante. Entretanto, a mesma técnica aplicada com dados magnetométricos na pesquisa de petróleo pode ser empregada para estudos de água subterrânea. Estruturas, tais como zonas de cisalhamentos, facilmente identificadas pelo método, podem estar condicionando depressões tectônicas com maior acúmulo de água ou barreiras hidráulicas, que dificultam o fluxo da água e compartimentam bacias sedimentares. Nas rochas cristalinas, alinhamentos magnéticos são correlacionados com falhas ou zonas de fraturas regionais, com importância na identificação de áreas de detalhes para prospecção de aquíferos fraturados.

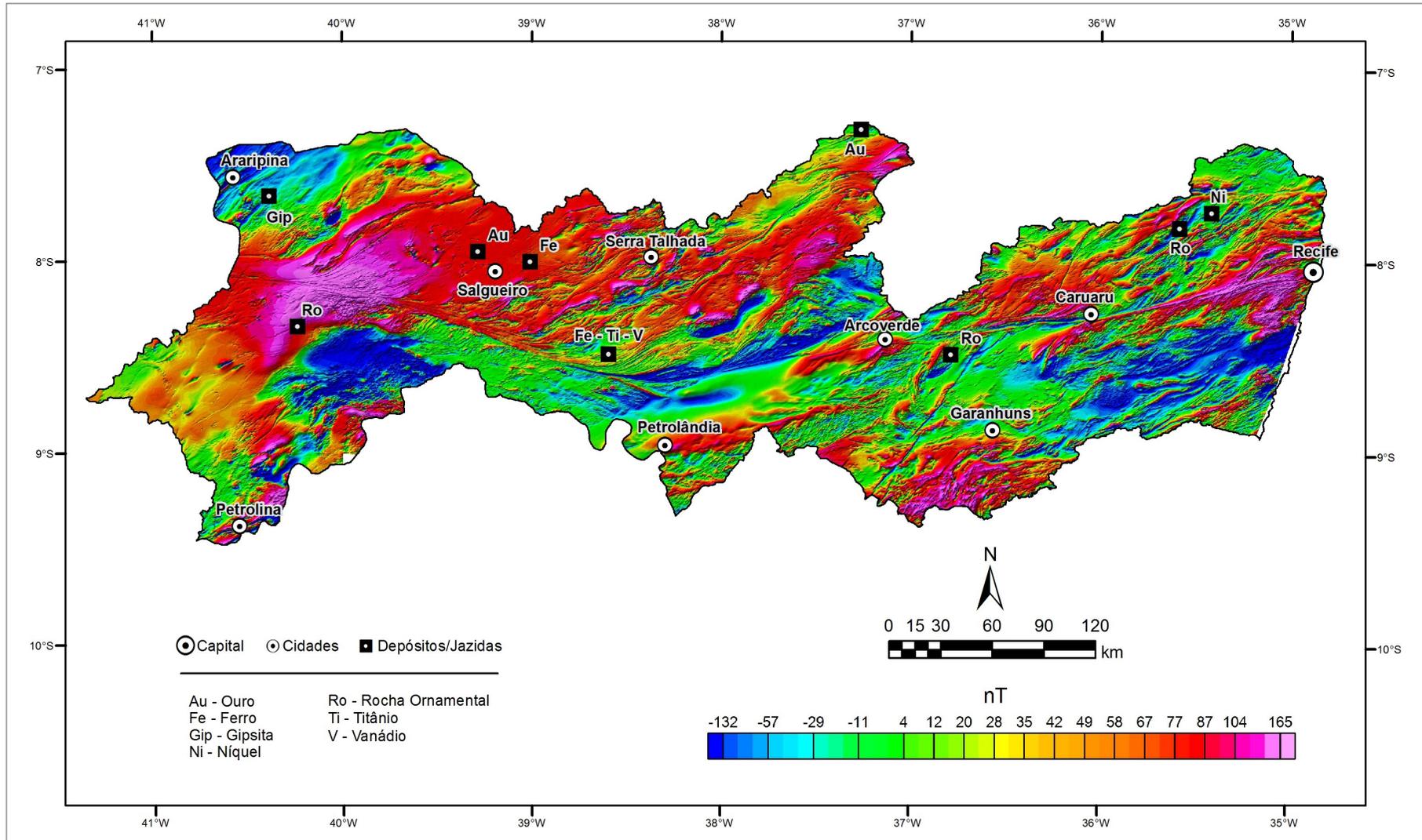
▶ ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS

PARA A INTEPRETAÇÃO de dados magnetométricos regionais e sua aplicação em estudos geológicos é necessária a remoção de um modelo de campo magnético da Terra (*International Geomagnetic Referencel Field - IGRF*). O resíduo resultante é empregado na interpretação de anomalias, domínios, alinhamentos e modelagens dos dados para integração com informações geológicas e de recursos minerais.

Observa-se na Anomalia Magnetométrica que o padrão mais frequente é de emparelhamento de positivos e negativos, com o positivo a noroeste e o negativo a sudeste. Este padrão é característico de levantamentos próximos do equador magnético. Neste caso, a relação frequência-amplitude das anomalias permite interpretá-las qualitativamente em termos de dimensão e profundidade. Nos trabalhos de mapeamento e prospecção devem ser destacadas as anomalias cuja relação frequência-amplitude indique profundidades rasas. Nas latitudes magnéticas atuais do estado de Pernambuco, as fontes das anomalias magnéticas devem ser procuradas próximas dos centros dos dipolos. Variações no formato desses dipolos são importantes, e podem indicar diferenças quanto à forma, sentido de mergulho e profundidade do corpo magnético.

Para ISLES; RAKIN (2013), embora a Anomalia Magnetométrica sem aplicação de transformações ou filtros possa não ser a forma de dados mais usada na interpretação, deve sempre ser considerada como o passo inicial na interpretação e um ponto de referência essencial em relação aos produtos transformados ou filtrados.

Anomalias Magnetométricas



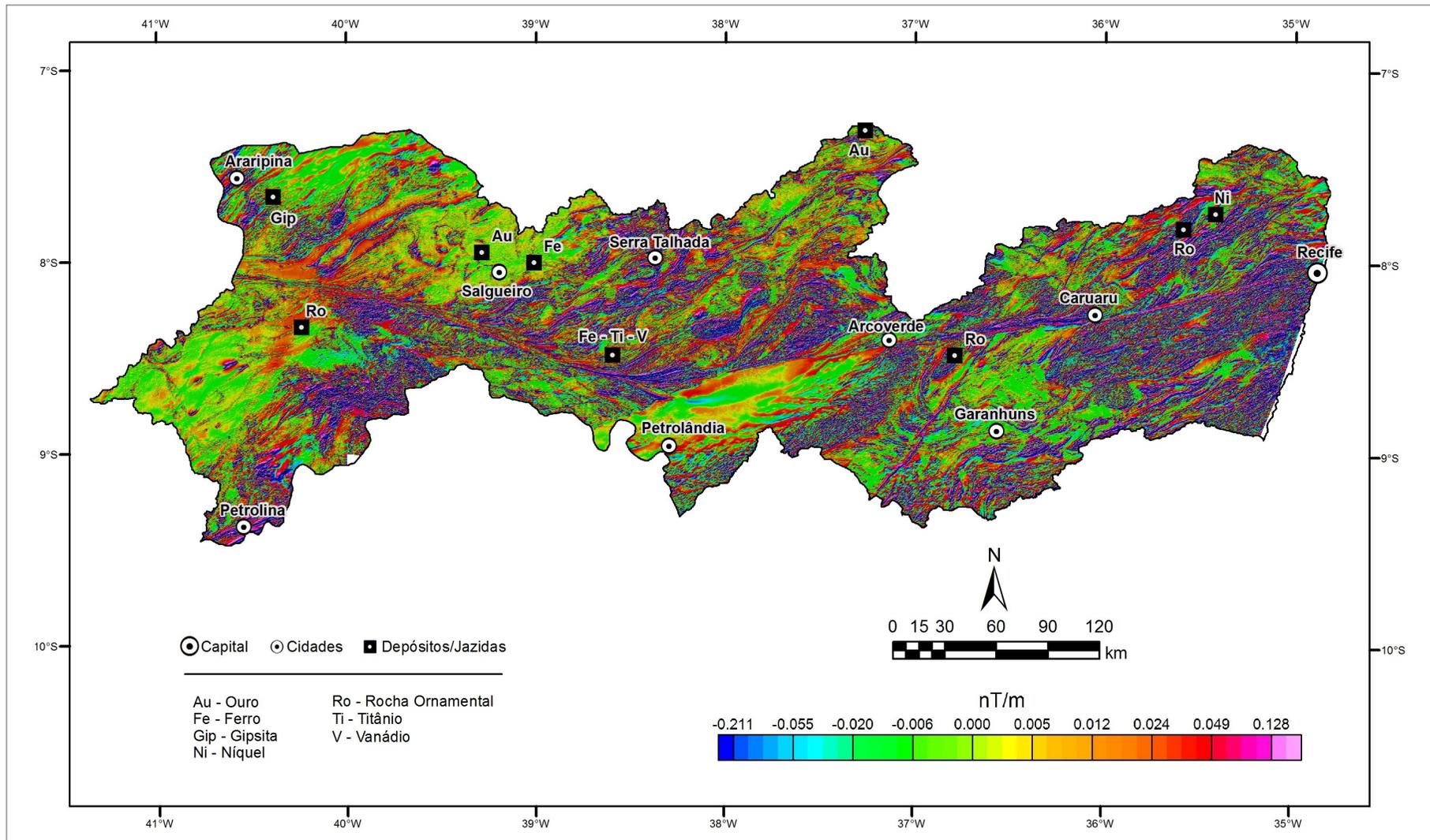
▶ 1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

AS DERIVADAS SÃO FILTROS empregados para enfatizar fonte rasas e são muito utilizados para interpretar alinhamentos magnéticos. Pela sua capacidade de remover fontes profundas apresentam boa aplicabilidade no entendimento da tectônica rasa e em trabalhos de prospecção. O operador matemático da 1ª derivada é definido pela seguinte expressão:

$$L(r) = r^n,$$

onde $n=1$ é a ordem de diferenciação aplicada.

1ª Derivada Vertical da Anomalia Magnetométrica



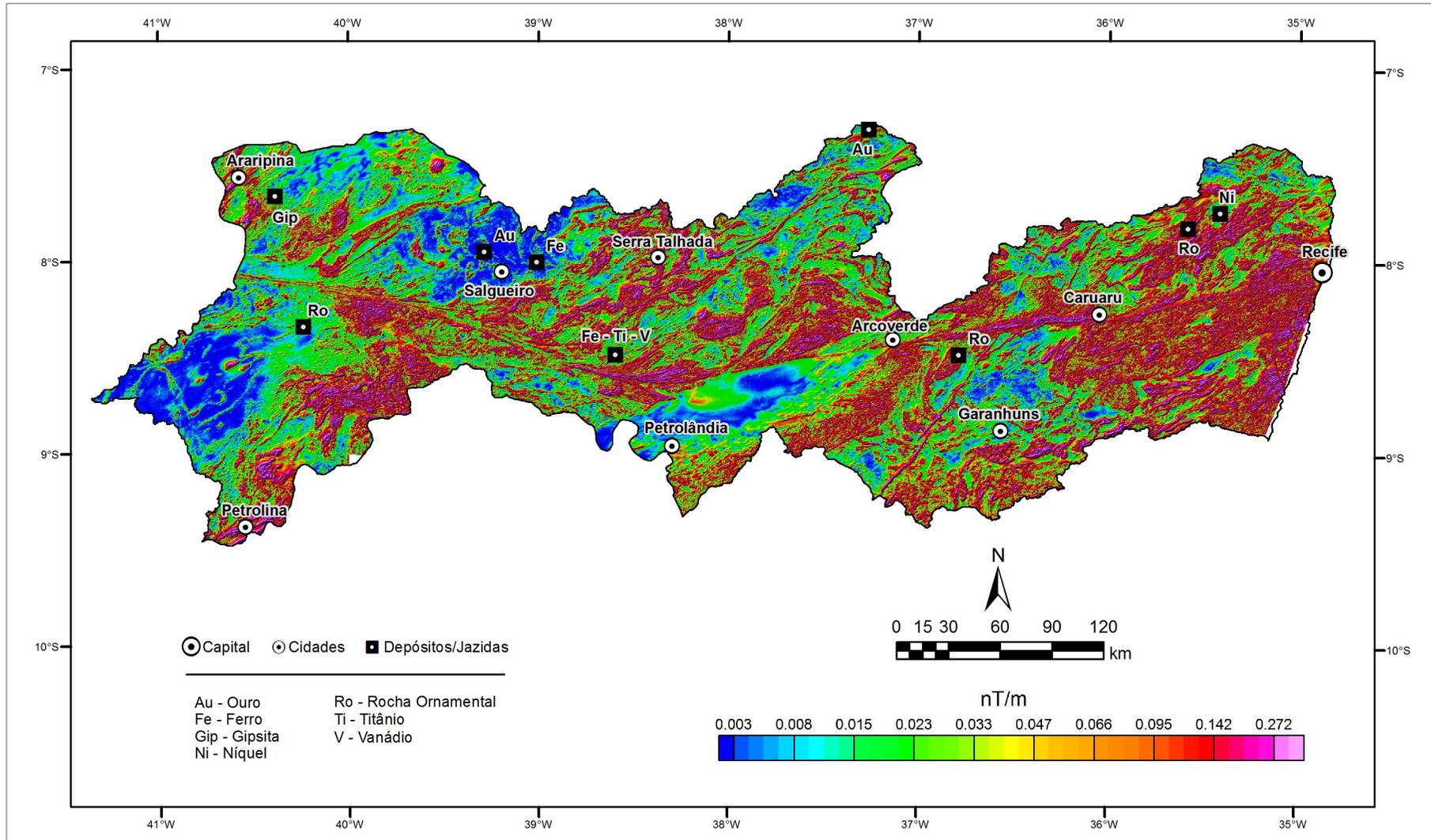
▶ GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

ANTERIORMENTE DENOMINADO Amplitude do Sinal Analítico (MACLEOD; JONES; DAI, 1993), o Gradiente Total é uma técnica de filtragem muito eficiente na localização de limites e na profundidade dos corpos. Sua função é expressa por um vetor de adição de duas componentes reais nas direções (X e Y) e por uma imaginária na direção Z. O Gradiente Total é uma opção alternativa muito boa à redução ao polo para o problema de localização de fontes magnéticas em baixas latitudes. Por causa do emprego de derivadas, este filtro remove fontes profundas. Porém, define muito bem a localização das fontes rasas, tendo um emprego bastante eficiente em estudos de prospecção e na definição de pontos para perfuração de corpos magnéticos. O operador matemático do Gradiente total é definido pela seguinte expressão:

$$GT = \sqrt{\frac{\partial M^2}{\partial x} + \frac{\partial M^2}{\partial y} + \frac{\partial M^2}{\partial z}},$$

onde M é a Anomalia Magnetométrica e x e y são direções horizontais e z é a direção vertical.

Gradiente Total da Anomalia Magnetométrica



▶ ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA REDUZIDA AO POLO MAGNÉTICO

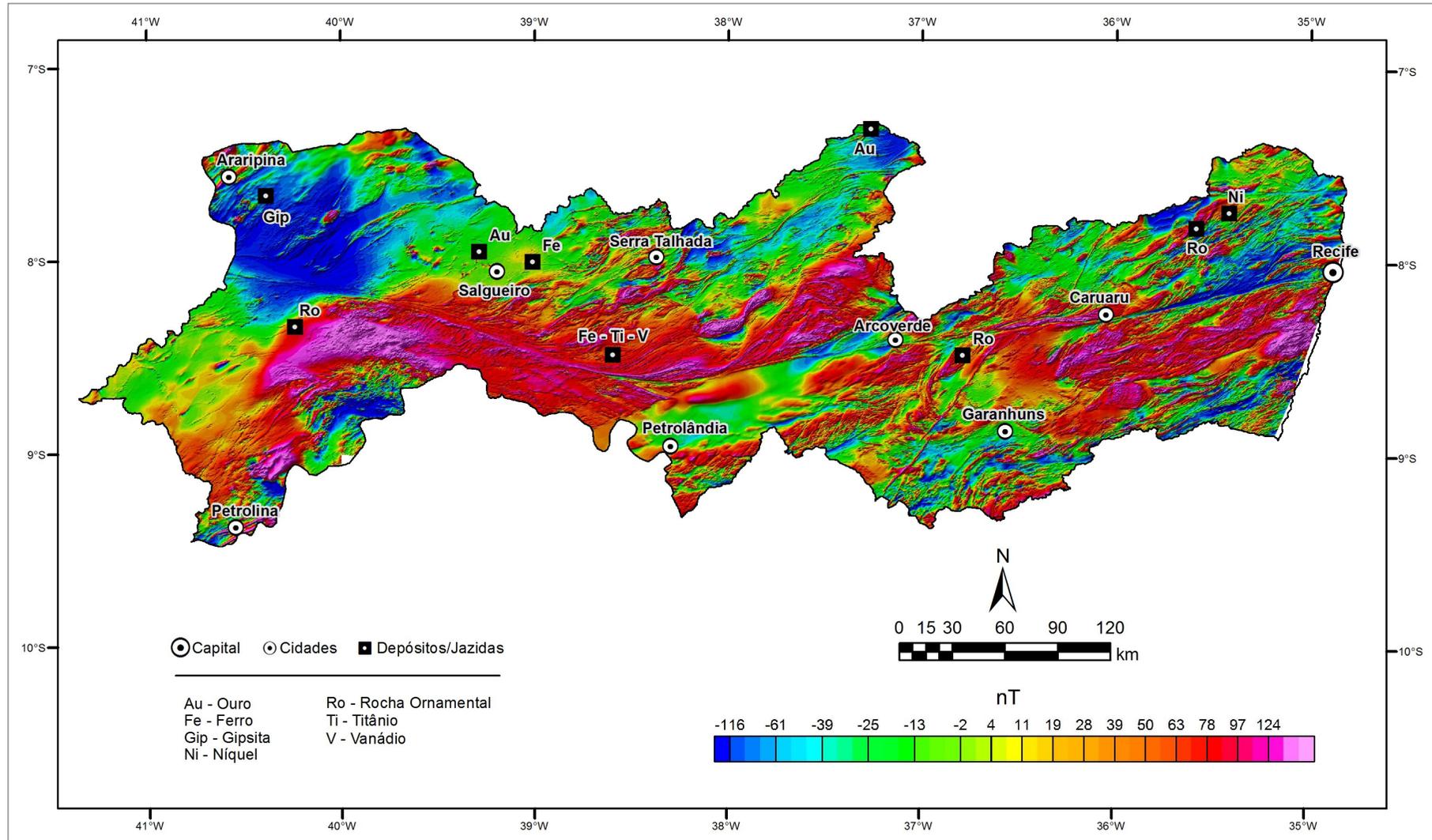
A REDUÇÃO AO POLO é uma transformação que produz uma nova versão dos dados de anomalias magnetométricas. Ela é utilizada para centralizar os picos das anomalias sobre suas fontes, sem perder significado geofísico, tornando os dados mais fáceis de serem interpretados. O seu operador matemático é expresso da seguinte maneira:

$$L(\theta) = \frac{1}{[\text{sen}(I_a) - i \cos I \cdot \cos(D + \theta)]^2},$$

onde, I_a = é a inclinação geomagnética, I = é a inclinação para a correção da amplitude e D = é a declinação.

A Redução ao Polo é efetuada na malha de dados das Anomalias Magnetométricas com o objetivo de restaurar diretamente sobre o corpo causador uma assinatura de amplitude positiva, ajudando na interpretação qualitativa dos dados. Esse procedimento é inspirado no conceito de anomalia pseudo-gravimétrica desenvolvido por Baranov (1957), visando simplificar a forma complexa apresentada pelos dados magnéticos, de maneira que eles simulem um comportamento semelhante ao de corpos com contrastes de densidade. O emprego do parâmetro de inclinação para a correção da amplitude é empregado para minimizar os efeitos causados pelo crescimento da instabilidade no uso dos operadores matemáticos nas regiões próximas ao equador magnético.

Anomalia Magnetométrica Reduzida ao Polo Magnético



SEPARAÇÃO DAS ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS EM RASAS E PROFUNDAS

DADOS MAGNETOMÉTRICOS fornecem uma visão em profundidade que corresponde à terceira dimensão simplificada dos dados geológicos, sendo imprescindível em áreas de escudos e faixas dobradas pré-cambrianas pouco conhecidas ou parcialmente encobertas por sedimentos fanerozóicos. Em razão disto, na interpretação geológica de dados magnetométricos é necessário discriminar as anomalias causadas por fontes rasas das anomalias causadas por fontes profundas. As fontes magnéticas profundas podem estar associadas com corpos e estruturas geológicas, tornando-se importantes para a compreensão do arcabouço geotectônico; as fontes rasas podem ser de interesse prospectivo nas pesquisas de minerais metálicos, restritas aos níveis crustais rasos. Para a interpretação das fontes rasas e profundas é necessário a aplicação de filtros no domínio do número de onda objetivando separá-las. Com essa intenção foi empregado o filtro gaussiano regional/residual.

O filtro gaussiano é um filtro de suavização que permite a separação regional/residual de dados de métodos potenciais (magnetométricos e gravimétricos). Ele funciona como um passa banda, porém os dados de saída apresentam uma distribuição gaussiana (normal) e o ponto de corte (*cut off point*) escolhido é o desvio padrão da função gaussiana.

O operador matemático do filtro gaussiano é dado pela equação:

$$L(r) = 1 - e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2},$$

onde r_0 é o desvio padrão da função gaussiana em ciclos/metros.

A escolha do ponto de corte r_0 foi efetuada a partir da análise do espectro de potência (Figura 8). Observa-se que o número de onda correspondente ao limite entre fontes mais profundas (profundidades médias do topo em torno de 10 km) e as mais rasas (profundidades médias do topo em torno de menor que 1,0 km) é 0,066 ciclos/km.

O operador gaussiano residual foi utilizado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais maiores que 0,066 ciclos/km, gerando o mapa representativo das fontes rasas e anomalias com comprimentos de onda menores que 15 km.

O operador gaussiano regional foi aplicado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais menores que 0,066 ciclos/km, gerando, teoricamente, uma malha de dados com assinaturas causadas apenas por fontes profundas e anomalias com comprimentos de onda maiores que 15 km.

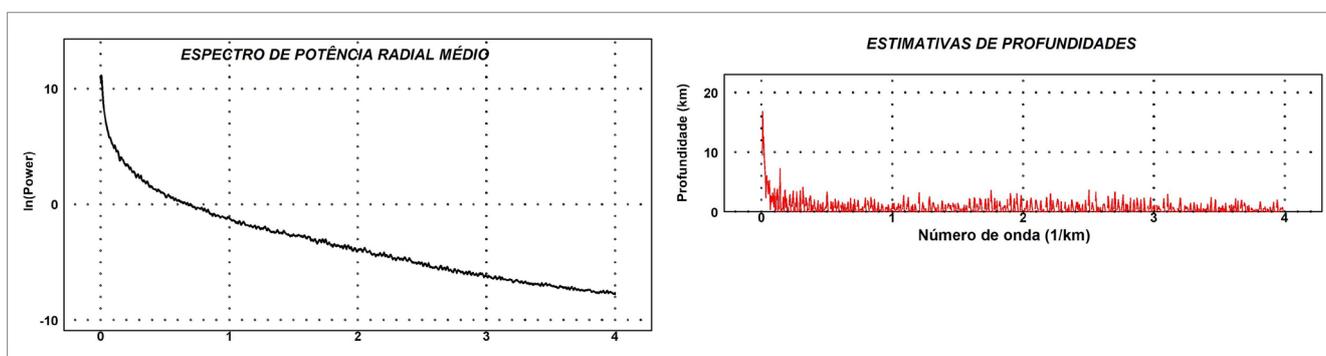
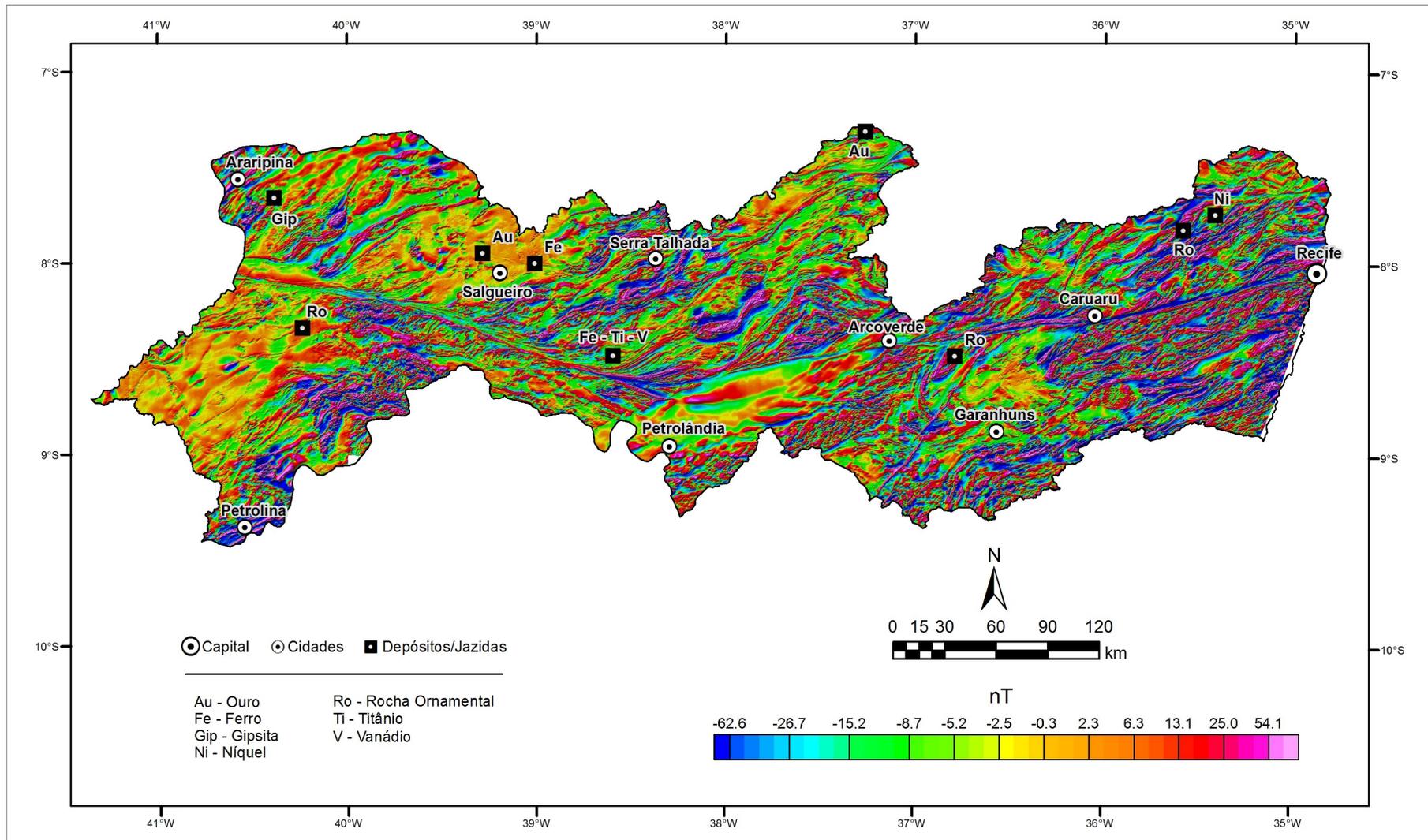
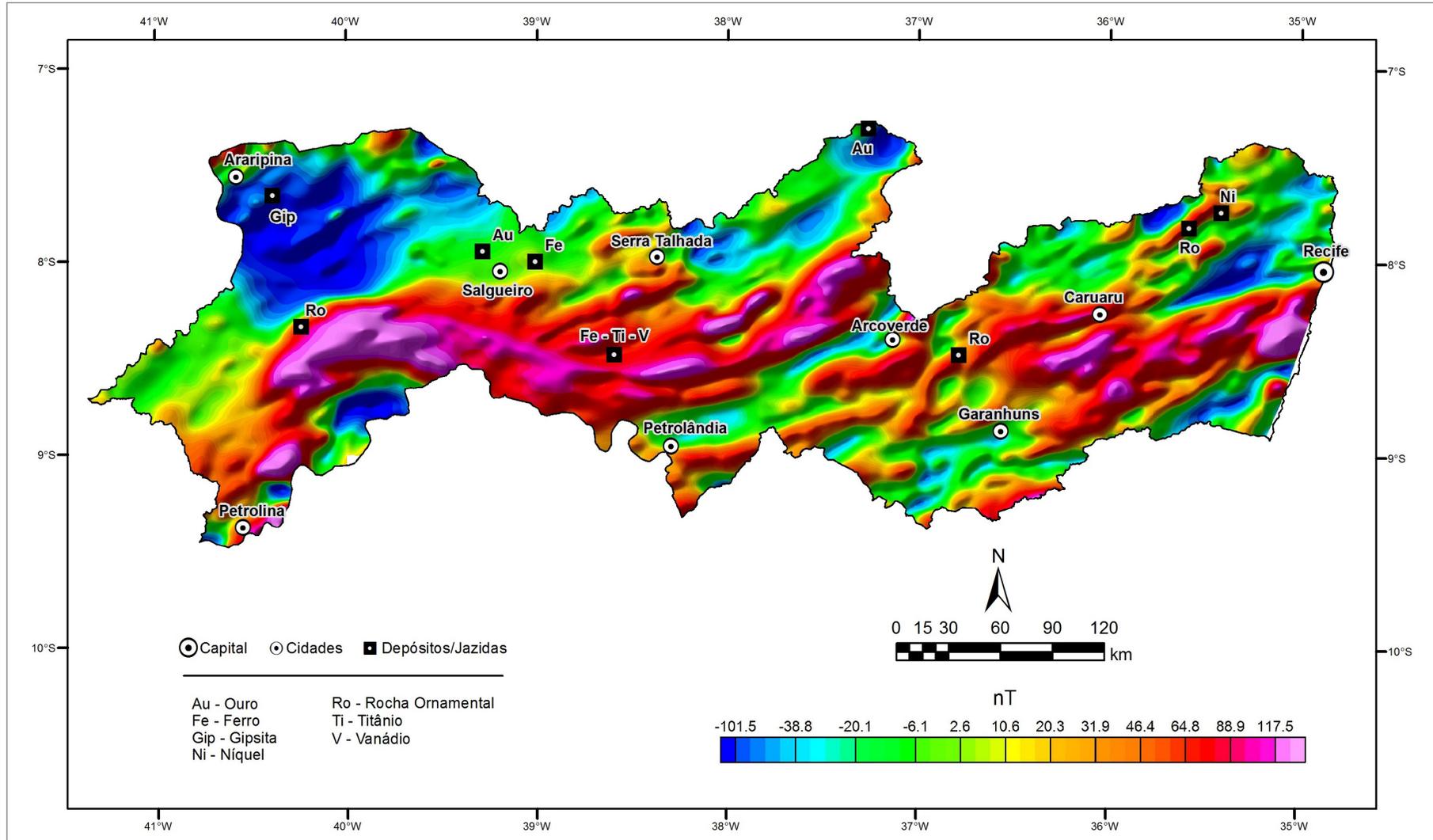


Figura 8 - Espectro de potência radial médio com estimativas de profundidades médias do topo das fontes magnéticas do estado de Pernambuco. Este espectro foi empregado para separar fontes magnéticas rasas (componente residual) e fontes profundas (componente regional) por meio do filtro gaussiano de separação regional-residual.

Componente Residual da Anomalia Magnetométrica Reduzida ao Polo (Fontes Rasas)



Componente Regional da Anomalia Magnetométrica Reduzida do Polo (Fontes Profundas)



▶ PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

A PRINCIPAL ASSINATURA magnética do estado de Pernambuco é o alinhamento associado com a extensa zona de cisalhamento que atravessa longitudinalmente o estado de leste a oeste denominado Lineamento Pernambuco. Percebe-se claramente que é uma estrutura importante, pois separa feições magnetométricas com diferentes padrões que correspondem a variações de domínios tectônicos e tipos litológicos. Ramificando-se a partir deste alinhamento principal ocorrem outros alinhamentos secundários, com direções predominantemente NE-SW, a maioria correlacionada com zonas de cisalhamentos. No mapa de anomalias magnetométricas destacam-se anomalias com grandes amplitudes e grandes comprimentos de onda que são produzidas por fontes magnéticas com profundidades de até 15 km. No Leste do estado observa-se uma importante anomalia marcada por um amplo negativo (cor azul) localizado ao sul de Recife produzido pelas rochas vulcânicas do Rifte do Cabo (NASCIMENTO, 2003). Esta anomalia indica a existência de um grande volume de rochas magnéticas em subsuperfície e intercaladas nas rochas sedimentares da Bacia de Pernambuco. As rochas magnéticas mais rasas associadas com essas fontes profundas podem ser identificadas na faixa de anomalias que acompanha a linha de costa no mapa de Gradiente Total. No Oeste de Pernambuco ocorre outra anomalia importante (grande negativo que ocorre no Mapa de Anomalias Magnetométricas e positivo na Redução ao Polo) produzida também por fontes profundas e que indica a existência de um grande volume de rochas magnéticas em subsuperfície nos limites entre os domínios geológicos Pernambuco-Alagoas e Cráton São Francisco. Neste caso também se observa uma correspondência com fontes magnéticas mais rasas no mapa de Gradiente Total. Contudo, as fontes profundas e rasas dessas anomalias ainda não foram identificadas.

Em diversas regiões do estado ocorrem anomalias magnetométricas com comprimentos de onda menores relacionadas com fontes rasas, algumas com causa conhecida, outras ainda necessitando a investigação de campo. Terrenos geológicos com concentração importante de anomalias magnetométricas rasas e profundas associadas com rochas máficas-ultramáficas com importância metalogenética por causa da ocorrência de jazidas de Fe-Ti (SILVA et al., 1984) e de rochas sulfetadas (ACCIOLY; SCOATES; SANTOS, 2011) ocorrem no Terreno Alto Moxotó na parte central do estado. No noroeste desse domínio ocorre outra faixa com anomalias magnetométricas alongadas na direção NE-SW correlacionadas com rochas metavulcânicas da Faixa Piancó-Alto Brígida com potencial metalogenético importante na região de Serra Talhada (SILVA FILHO, 1993).

Os locais com afloramentos de rochas sedimentares ou metassedimentares apresentam nos dados magnetométricos comportamento suave por causa da ausência de minerais ou rochas magnéticas intercaladas. Para as bacias sedimentares destacam-se as bacias de Jatobá e Araripe. Contudo, os dados magnetométricos são importantes na interpretação de estruturas associadas com evolução dessas bacias e na identificação de rochas magnéticas encobertas pelos sedimentos. No caso das faixas dobradas metassedimentares o efeito da pilha de rochas na atenuação do sinal magnético do embasamento é bastante evidente nas faixas Riacho do Pontal e Piancó-Alto Brígida. De outra forma, nos complexos metamórficos vulcanossedimentares a intercalação de rochas magnéticas e não magnéticas pode produzir assinaturas expressivas, como é o caso do Complexo Vertentes, na região de Limoeiro, onde ocorre uma jazida de Ni-Cu em rochas ultramáficas (MOTA-E-SILVA; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA, 2013).

MAPAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS

O método gamaespectrométrico mede a taxa e a energia da radiação gama proveniente do potássio, tório e urânio contido nas rochas (MINTY, 1997). Nos levantamentos são empregados cristais detectores (geralmente de iodeto de sódio). Eles absorvem a radiação gama e a cintilação dessa radiação no cristal pode ser medida em contagem por segundo (cps). Quando existem sistemas calibradores é possível quantificar o potássio (em porcentagem), o tório (em ppm) e urânio (em ppm). Contudo, não é medida diretamente a intensidade da energia desses radioisótopos, e sim, dos radioisótopos filhos ^{40}K para o potássio, ^{208}Tl para o tório e ^{214}Bi para o urânio. Por este motivo, foi convencionado o uso de e antes dos símbolos do urânio (**eU**) e do tório (**eTh**), para indicar que as concentrações são equivalentes. É importante enfatizar que o método gamaespectrométrico é empregado para investigação de variações que ocorrem apenas na superfície da rocha. Qualquer obstáculo não radioativo sobre a rocha causa supressão do sinal. Por exemplo, uma cobertura de 20 cm de areia quartzosa é capaz de suprimir metade da radiação da rocha. Por esse motivo, é necessário ao intérprete levar em consideração

o efeito causado por coberturas sedimentares alóctones, vegetação densa e corpos de água que ocorrem na área de levantamento. Neste último caso, rios que carregam muito material erodido em suspensão na água, podem apresentar sinal radioativo, como é o caso dos rios da Região Amazônica. Por outro lado, os rios secos da região semiárida do Nordeste do Brasil podem apresentar aluviões com sinal radioativo de material que foi carregado por longas distâncias.

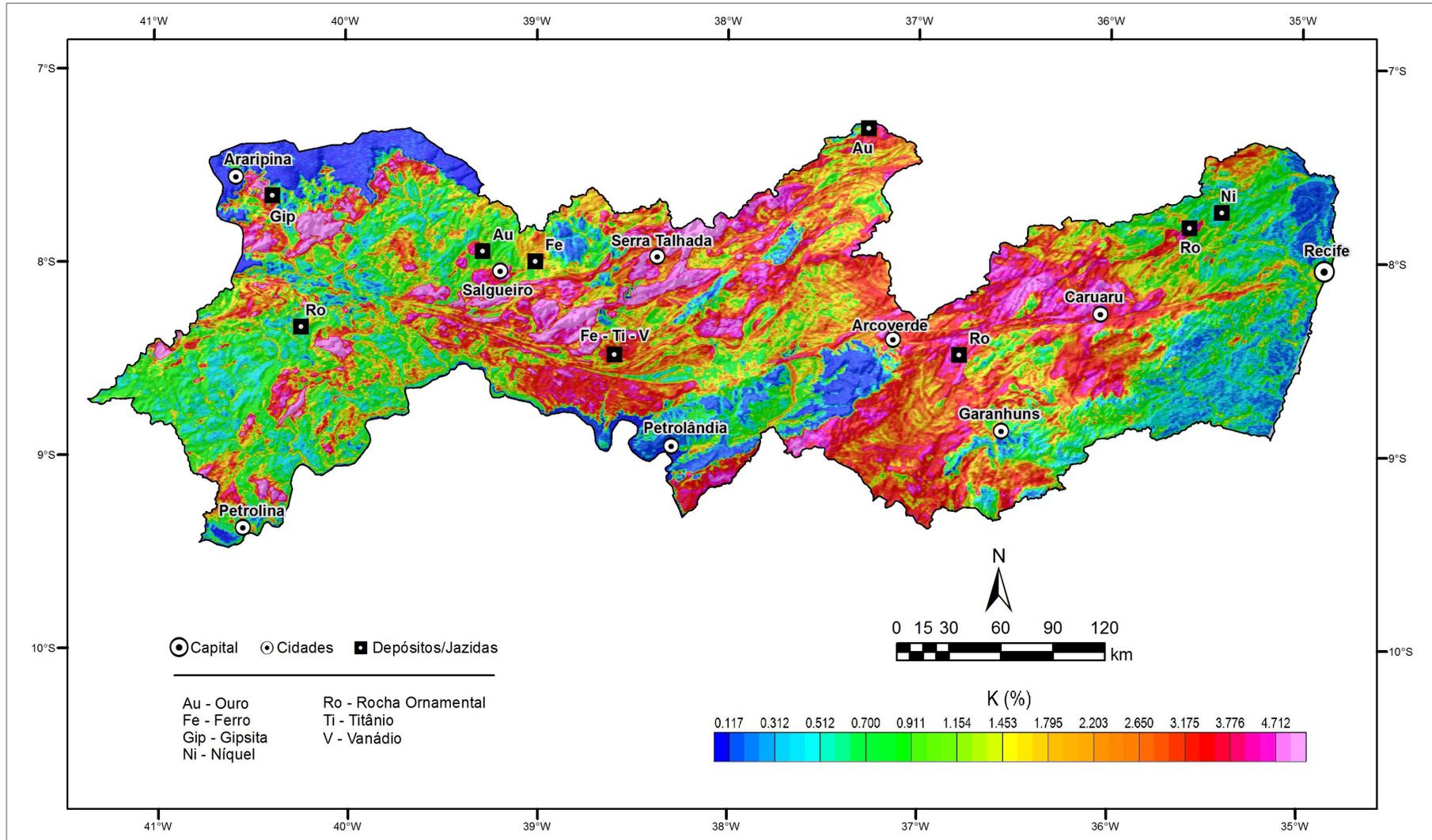
O potássio, o tório e o urânio aumentam nas rochas ácidas e diminuem nas rochas básicas. Entre eles, o tório tem o comportamento menos móvel, enquanto o urânio é o mais móvel. Comumente, o urânio quando liberado das rochas hospedeiras, tende a ser absorvido pelos minerais argilosos formados pelo intemperismo. De outra forma, nas rochas sedimentares arenosas, a existência de anomalias radiométricas indica a presença de minerais pesados, tais como, zircão e monazita, ricos em tório. Também, é possível inferir pela observação prática e como regra geral que nas rochas graníticas o aumento de concentração desses radioelementos é às vezes também uma indicação do aumento da alcalinidade.

► POTÁSSIO

NO ESTADO DE PERNAMBUCO o potássio apresenta uma média de 2,98 %. Esta média está um pouco acima dos valores médios informados em DICKSON; SCOTT (1997) para a crosta da Terra (2,35%). As principais características do elemento potássio de acordo com o texto do Atlas Geoquímico de Roraima (FREITAS; MAR-MOS, 2017) são apresentadas a seguir.

O potássio é um metal alcalino, de cor prateada, mole, bom condutor de calor e eletricidade, que se oxida facilmente e, depois do Li, é o metal mais leve. Em virtude de sua alta reatividade não é encontrado livre na natureza. Devido à similaridade entre os raios atômicos, pode ser substituído por Rb, Cs, Ba, Pb e Tl. É um dos constituintes maiores dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Durante a diferenciação magmática o mesmo se concentra progressivamente em K-feldspatos, como o ortoclásio e microclina, e outros silicatos, entre eles alunita, leucita e muscovita, o que faz com que fique mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas (KOLJONEN, 1992). Pode também estar presente em soluções hidrotermais associado a mineralizações de cobre pórfiro e em pegmatitos (MINEROPAR, 2005). Minerais de minério: evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita e halita), nitro ou caliche, carnalita, polialita, cainita, langbeinita, schoenita e singernita (DNPM, 2009). Principais utilidades: o principal uso do K é como fertilizante na agricultura, na forma de sulfatos e cloretos, em complementação ao uso de nitratos e fosfatos. A liga de K-Na é usada como meio de transferência de calor. Como agente redutor é utilizado em aplicações terapêuticas, na produção de sal sem Na. Impactos biológicos: seus sais são essenciais para os processos vitais. É um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas. É um elemento importante para o crescimento das plantas e da dieta humana. Os íons de K^+ assim como os de Na^+ agem nas membranas celulares na transmissão de impulsos eletroquímicos dos nervos e fibras musculares. Por outro lado, os sais de K são extremamente tóxicos quando injetados na corrente sanguínea. O composto KCN (cianeto de potássio) e o HCN (ácido cianídrico) são letais, considerados hematóxicos (PEIXOTO, 2004). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes ($pH < 4$ e $5-8$) e redutoras são ligeiramente móveis (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Tipos de depósitos: depósito sedimentar químico, derivado de exalações relacionadas a evaporitos (BIONDI, 2003). Principais jazidas: Canadá, Rússia, Bielorrússia, Alemanha e China. O Brasil até 2009 ocupava a décima colocação em termos de reservas e produção mundial de sais de potássio. As principais reservas subterrâneas de sais de potássio no Brasil localizam-se nos estados de Sergipe (mina Taquari/Vassouras e Santa Rosa do Lima) e Amazonas (Fazendinha e Arari) (DNPM, 2009).

Potássio

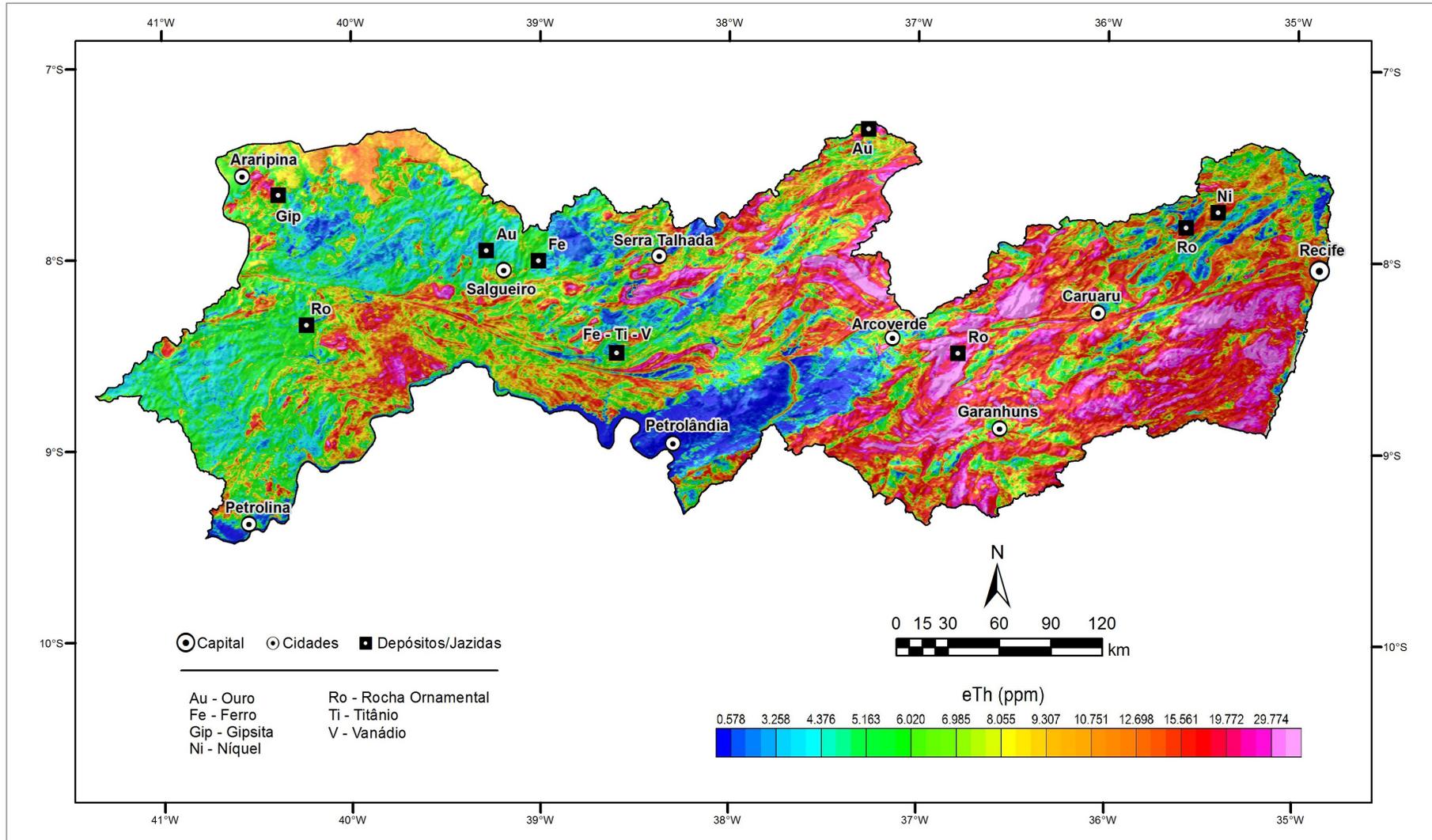


► EQUIVALENTE TÓRIO

NO ESTADO DE PERNAMBUCO o equivalente tório apresenta uma média de 14,9 ppm. Esta média está um pouco acima dos valores médios informados em DICKSON; SCOTT (1997) para a crosta da Terra (12 ppm). As principais características do elemento tório de acordo com o texto do Atlas Geoquímico de Roraima (FREITAS; MARMOS, 2017) são apresentadas a seguir.

O tório é um metal da série dos actínídeos, sendo o isótopo ^{232}Th o único disponível na natureza. Em condição ambiente é sólido, de cor branca brilhante a prateada, e quando exposto ao ar é levemente radioativo. É um condutor intermediário de calor e corrente elétrica. Possui forte caráter litófilo concentrando-se nas partes superiores da litosfera, sendo sua distribuição fortemente controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O íon Th^{+4} é facilmente solúvel e rapidamente adsorvido ou precipitado em sedimentos de materiais hidrolisados. Os minerais de tório e os enriquecidos em tório são geralmente resistentes e possuem mobilidade reduzida no intemperismo, concentrando-se assim nos sedimentos residuais em regiões de clima tropical, ou em areias e placers como minerais pesados (KOLJONEN, 1992). Minerais de minério: monazita [(Ce, La, Nd, Th) PO_4], thorita, euxenita, sendo também encontrado em outros minerais, associado a ETR e urânio, bem como a esferita, apatita e zircão. Principais utilidades: como fonte de energia nuclear (no processo de obtenção de ^{233}U), ligas metálicas com o Mg, catalisador de reações, fabricação de filamentos de W e células fotoelétricas. Impactos biológicos: o tório não tem função biológica conhecida e quando disperso no ar, geralmente pela mineração, pode ocasionar câncer de pulmão, pâncreas e sangue. Caso esteja acondicionado em algum recipiente e posteriormente seja exposto ao ar, pode explodir. Mesmo com baixa radioatividade, oferece risco à saúde humana, pois pode originar espécies radioativas como o gás radônio ^{220}Rn e o ^{208}Pb . Mobilidade ambiental: em condições oxidantes, seja com $\text{pH} < 4$ ou entre 5-8, ou ainda em ambiente redutor, o mesmo é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Tipos de depósitos: em veios de rochas alcalinas, tipo Barra do Itrapirapuã. Principais jazidas: Estados Unidos, Índia, Sri Lanka, Austrália e Madagascar. No Brasil, o tório é encontrado incluso no minério de ferro-nióbio nas minas de Catalão-Ouvidor em Goiás, e associado a uma série de intrusões alcalinas de idade neocretácea, situadas entre a borda NE da Bacia do Paraná e a borda SW do Cráton São Francisco.

Equivalente Tório

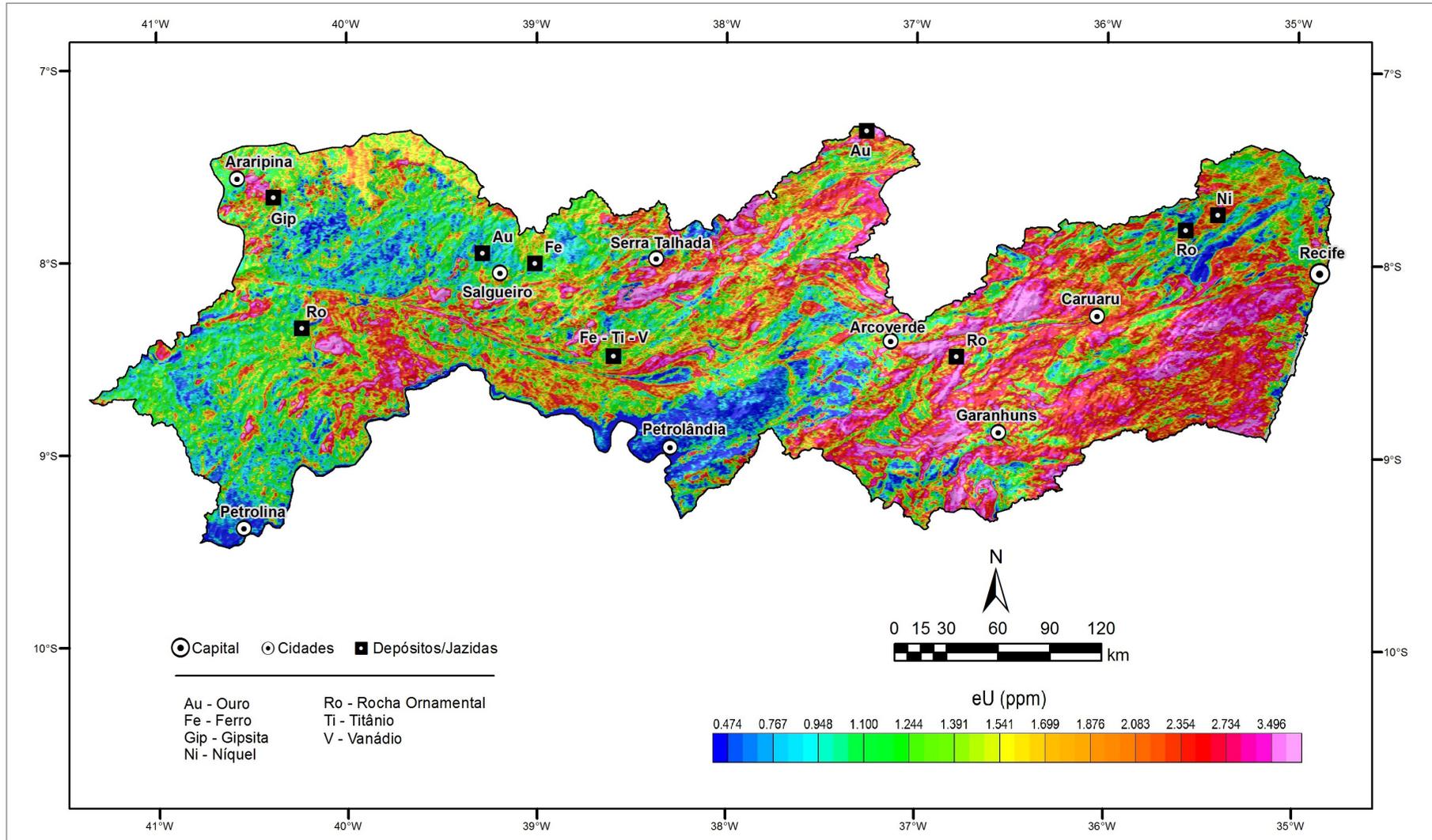


▶ EQUIVALENTE URÂNIO

NO ESTADO DE PERNAMBUCO o equivalente urânio apresenta uma média de 1,67 ppm. Esta média está abaixo dos valores médios informados em DICKSON; SCOTT (1997) para a crosta da Terra (3,0 ppm). As principais características do elemento urânio de acordo com o texto do Atlas Geoquímico de Roraima (FREITAS; MARMOS, 2017) são apresentadas a seguir.

O urânio é um metal do grupo dos actínídeos, não possui cor característica, é denso, reativo, dúctil, maleável, oxida-se facilmente e possui como característica principal ser altamente radioativo. Existe na forma de três isótopos: ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U . O íon U^{+4} concentra-se nos últimos estágios de diferenciação magmática, nas estruturas do zircão, allanita, esfalerita, apatita, monazita e minerais de tório, ítrio e lantanídeos. O urânio é comumente enriquecido nos granitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais. Suas associações metalogenéticas são com V, As, P, Mo, Se, Pb, e Cu (KOLJONEN, 1992). Em condições de intemperismo, forma complexos orgânicos facilmente solúveis e móveis, relativamente estáveis em condições áridas. Na litosfera sua distribuição é controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH. Por ser muito reativo, não é encontrado em seu estado elementar (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Minerais de minério: uraninita (UO_2), pechblenda (variedade impura e amorfa da uraninita), carnotita, euxenita, autunita, torbenita, samarskita, margaritasita, lantinita e albertnyite. Principais utilidades: como combustível nuclear para geração de energia elétrica, explosivos nucleares e produção de raios X. Impactos biológicos: não é um elemento nutriente e ocorre em alguns locais devido a vazamentos e acidentes em usinas nucleares e no armazenamento do lixo atômico. Por ser radioativo e bioacumulativo, pode causar sérios problemas ao sangue, ossos, rins e fígado, sendo altamente carcinogênico (ATSDR, 1999). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes, com $\text{pH} < 4$ e $\text{pH} \geq 5$ à ≤ 8 , a mobilidade é moderadamente alta, e em condições redutoras mostra-se imóvel (MINEROPAR, 2005; KOLJONEN, 1992). Tipos de depósitos: relacionados com vulcânicas félsicas e máficas subaéreas; associado aos depósitos de Au em rochas sedimentares clásticas, tipo folhelhos negros (Suécia) ou conglomerados e arenitos tipo Witwatersrand; em rochas metamórficas regionais do tipo discordância junto com o Au; em rochas alcalinas (carbonatitos) e depósitos do tipo IOCG; relacionados a inconformidades (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Principais jazidas: Austrália, Cazaquistão, Canadá, Namíbia, Rússia, Níger e Uzbequistão. No Brasil, encontra-se na Bahia (Lagoa Real, município de Caitité), no Ceará (Itataia, município de Santa Quitéria) e Minas Gerais (Poços de Caldas).

Equivalente Urânio



► COMPOSIÇÃO TERNÁRIA RGB (K-eTh-eU)

ESTE MAPA É RESULTANTE de uma composição em falsa cor dos canais de K, eTh e eU, em que para cada radioelemento é atribuída uma cor. Na Composição Ternária RGB, a cor é vermelha (R-red) para as rochas ricas em K; verde (G-green) para as rochas ricas em eTh; e azul (B-blue) para as rochas ricas em eU. Quando os três são altos, a soma das cores resulta na cor branca. Quando os três são baixos a cor é preta. Porém, corpos d'água quando não possuem muito material em suspensão também apresentam cor preta porque na água limpa a radioatividade é baixa para os três radioelementos.

Este mapa tem o potencial de distinguir muito bem as unidades geológicas a partir da análise combinada dos três radioelementos. Contudo, alguns cuidados são necessários na sua interpretação, sobretudo pela ambiguidade associada ao processo de interpretação e correlação geológica de dados geofísicos. Como exemplos, a cor vermelha que deve representar teores alto de K e baixos teores de eTh e eU pode está correlacionada com granitos ou sedimentos imaturos como grauvacas. A cor branca pode ser produzida por sienitos ou vulcânicas ácidas. A cor preta pode ser rochas ultramáficas ou arenitos puros quartzosos. A cor verde pode ser associada com metassedimentos ou lateritas. Portanto, a interpretação de dados gamaespectrométricos requer a adição de informações complementares para que seja consistente no seu emprego em mapeamentos geológicos e na pesquisa de recursos minerais.

A Figura 9 apresenta as diversas possibilidades de correlações geológicas que podem ser feitas a partir da Composição Ternária RGB. Além de demonstrar o seu potencial, também revela as muitas possibilidades de interpretações ambíguas.

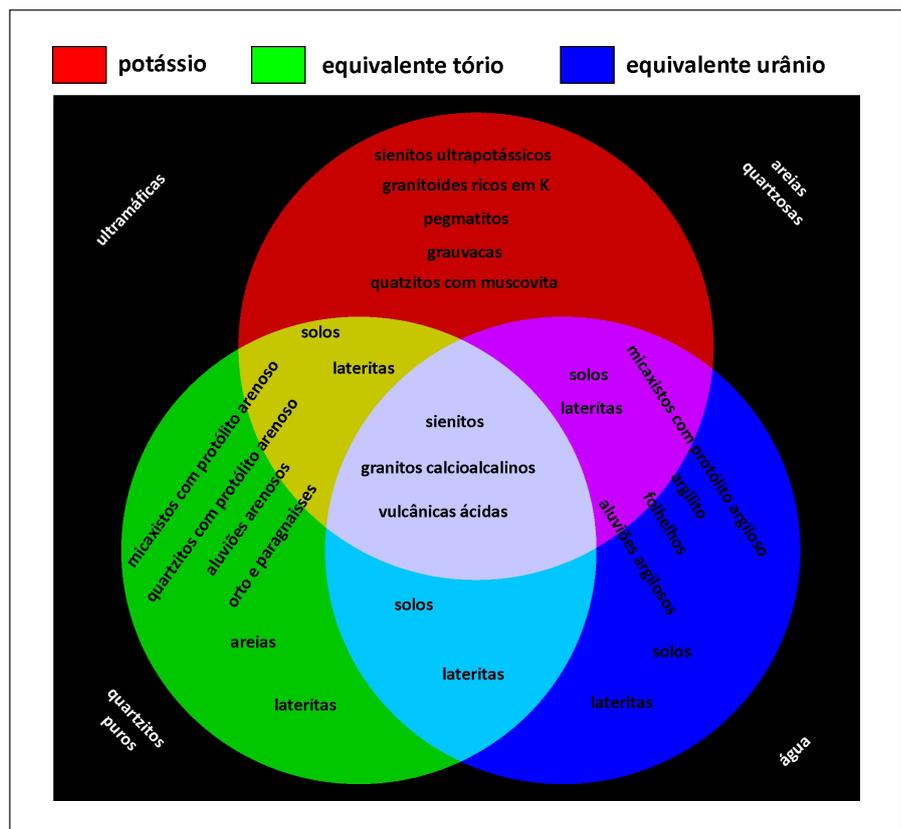
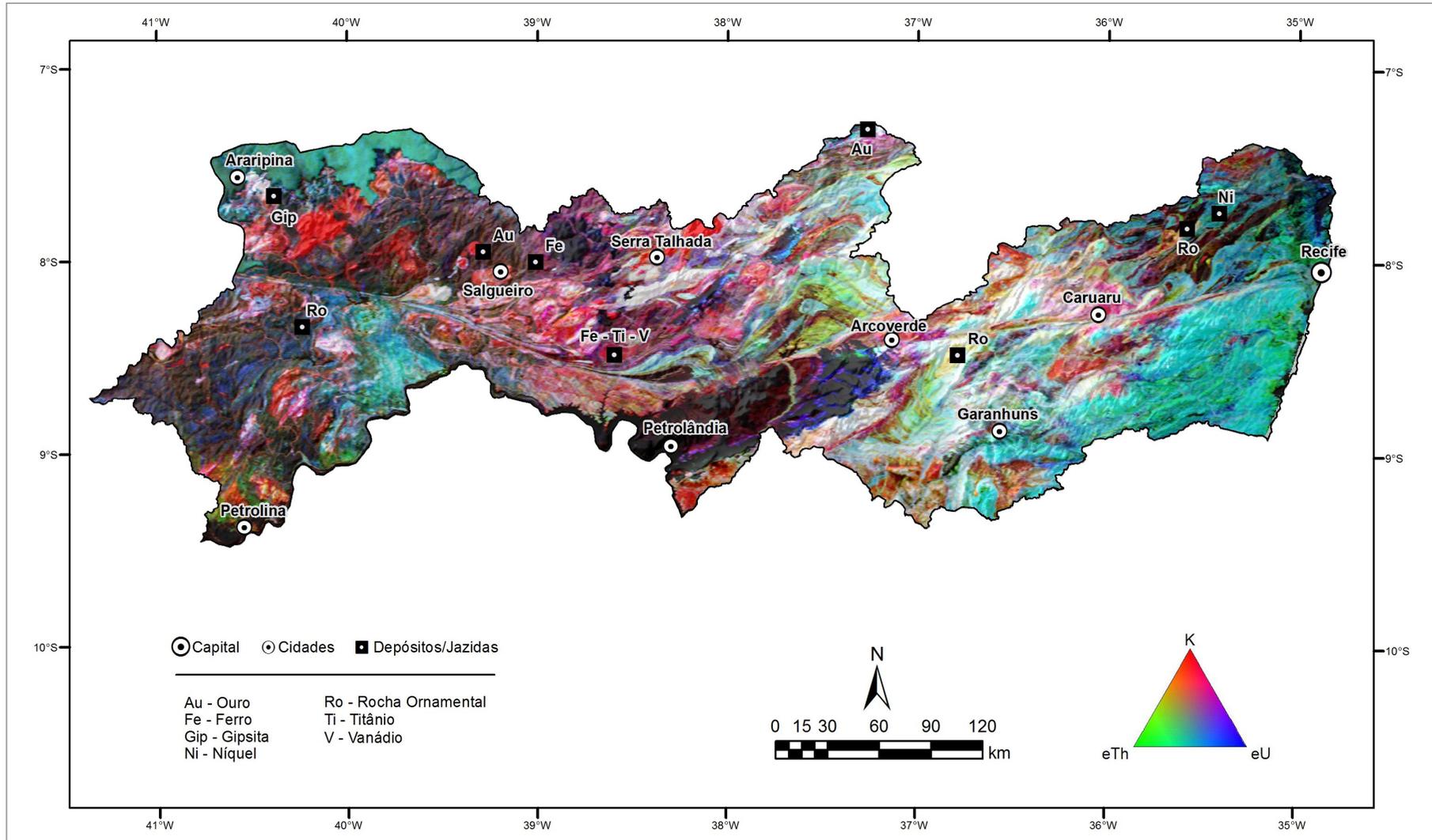


Figura 9 - Possibilidades de correlação entre tipos litológicos e tonalidades de cores em uma Composição Ternária RGB.

Composição Ternária RGB (K-eTh-eU)



POTÁSSIO ANÔMALO

DEPÓSITOS MINERAIS associados com processos hidrotermais e com expressão em superfície podem ser identificados através da análise de dados gamaespectrométricos (AIRO, 2002). A análise da presença anômala de K é melhor observada quando a supressão das contribuições primárias da radiação gama (litologia, condições ambientais, solos e geometria da fonte) é efetuada (PIRES,1995). A supressão é efetuada através da normalização dos dados de K em função dos valores de eTh . A diferença entre valores previstos de potássio e valores realmente medidos indicam áreas de acumulação secundária deste elemento (PIRES, 1995).

A Figura 10 apresenta o gráfico de correlação do K versus eTh . A dependência da concentração de K com relação ao eTh é representada por uma função linear. A inclinação da reta é determinada pela razão entre os valores das observações de potássio K e os de eTh . O método descrito em PIRES (1995) considera o K ideal (K_i) em relação ao eTh calculado pela equação:

$$K_i = (\text{média de } K_s / \text{média de } eTh_s) \times eTh$$

Em seguida, os desvios dos valores reais a partir dos valores ideais foram obtidos pela seguinte equação:

$$K_d (\text{anômalo}) = (K - K_i) / K_i.$$

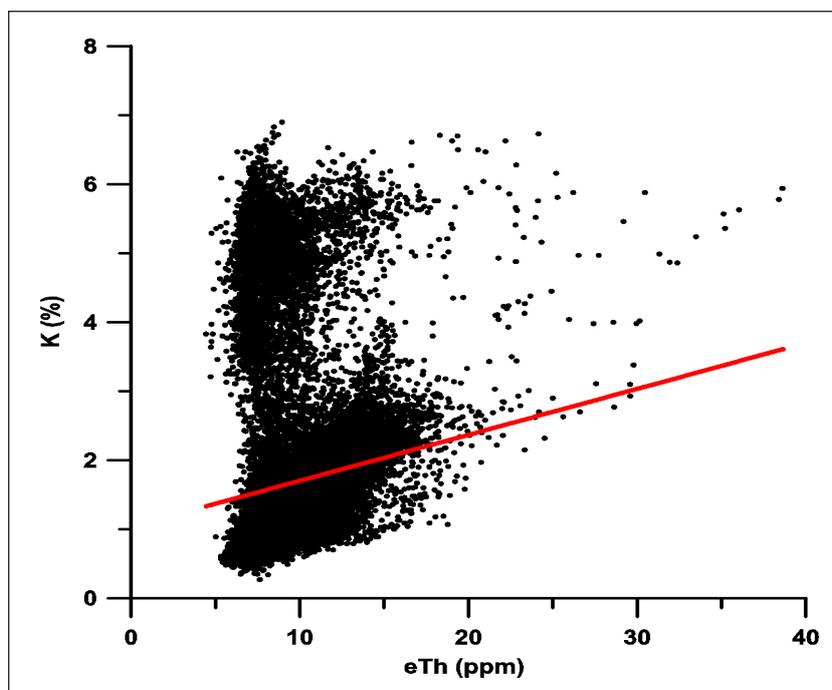
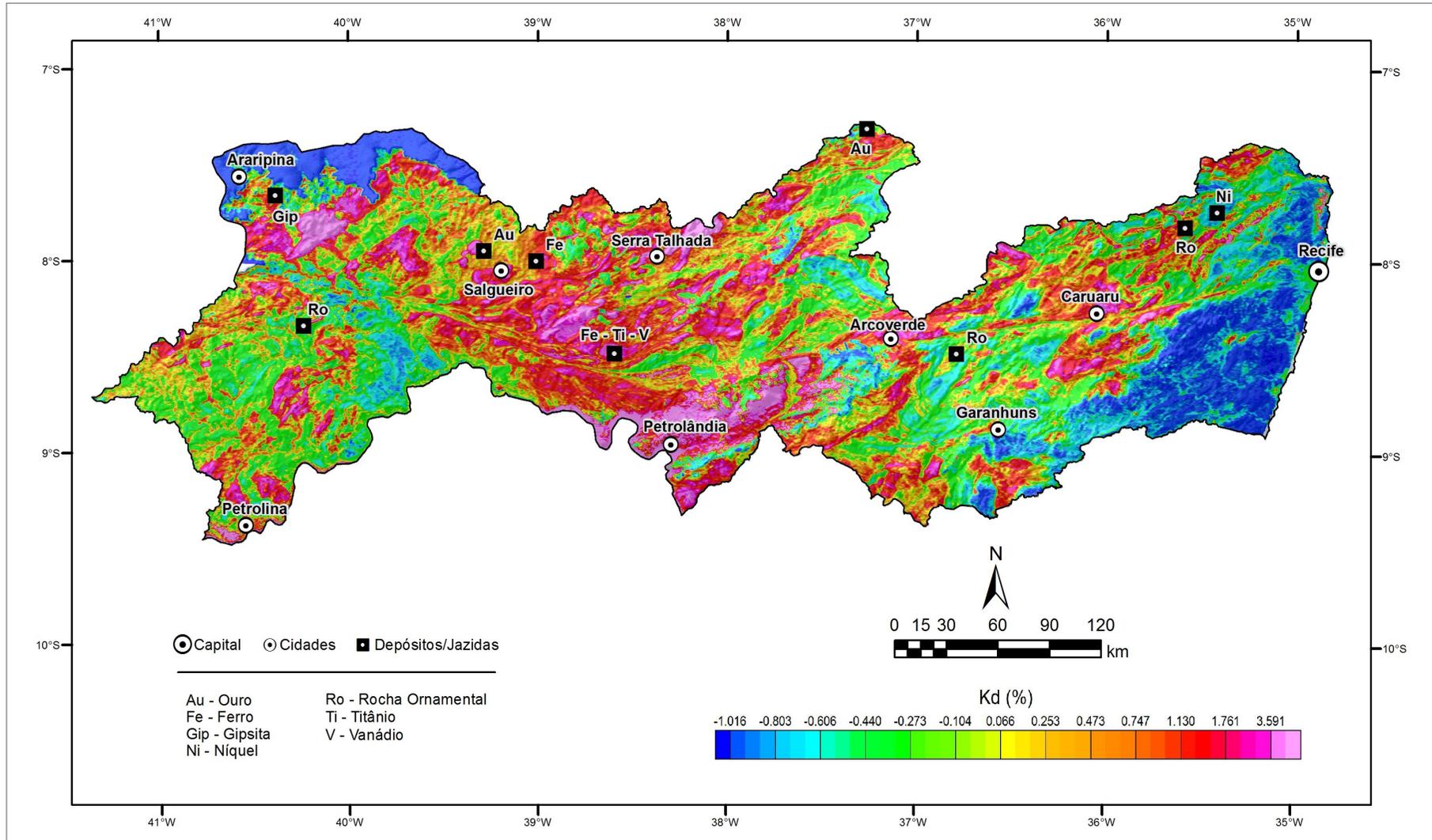


Figura 10 - Gráfico de correlação de K x eTh com reta que melhor se ajusta aos dados.

Potássio Anômalo



▶ URÂNIO ANÔMALO

DEPÓSITOS DE FOSFATO com expressão em superfície podem ser identificados através da análise de dados gamaespectrométricos por causa da forte correlação entre U e P (GILL; SHILONI, 1995). A análise da presença anômala de **eU** é melhor observada quando a supressão das contribuições primárias da radiação gama (lito-logia, condições ambientais, solos e geometria da fonte) é efetuada (PIRES, 1995). A supressão é efetuada através da normalização dos dados de **eU** em função dos valores de **eTh**. A diferença entre valores previstos de **eU** e valores realmente medidos indicam áreas de acumulação secundária deste elemento (PIRES, 1995).

A Figura 11 apresenta o gráfico de correlação do **eU** versus **eTh**. A dependência da concentração de **eU** com relação ao **eTh** é representada por uma função linear (reta vermelha). A inclinação da reta é determinada pela razão entre os valores das observações de **eU** e os de **eTh**. O método descrito em PIRES (1995) considera o **eU** ideal (eU_i) em relação ao **eTh** calculado pela equação:

$$eU_i = (\text{média de } eUs / \text{média de } eThs) \times eThs$$

Em seguida, os desvios dos valores reais a partir dos valores ideais foram obtidos pela seguinte equação:

$$eUd(\text{anômalo}) = (eU - eU_i) / eU_i$$

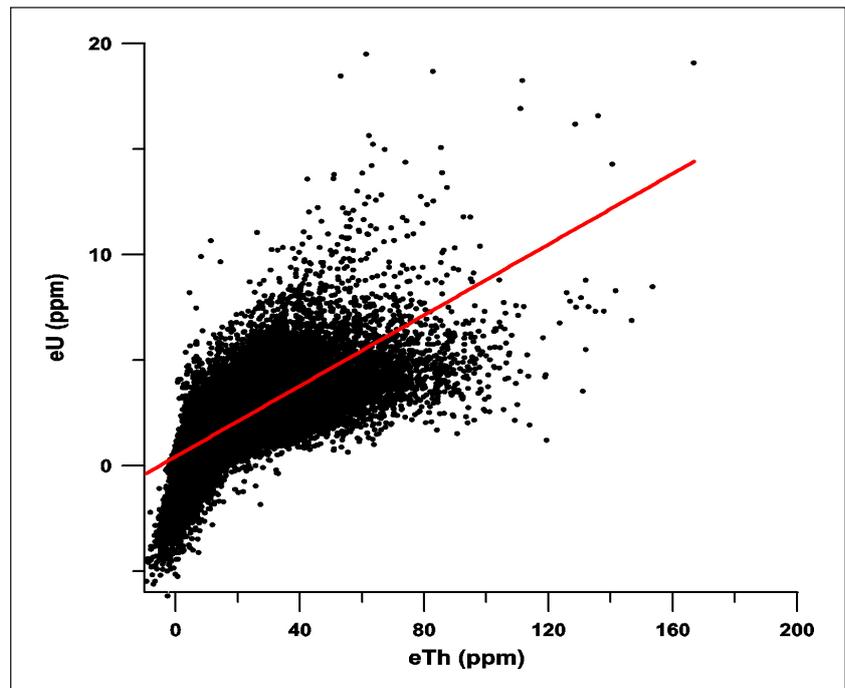
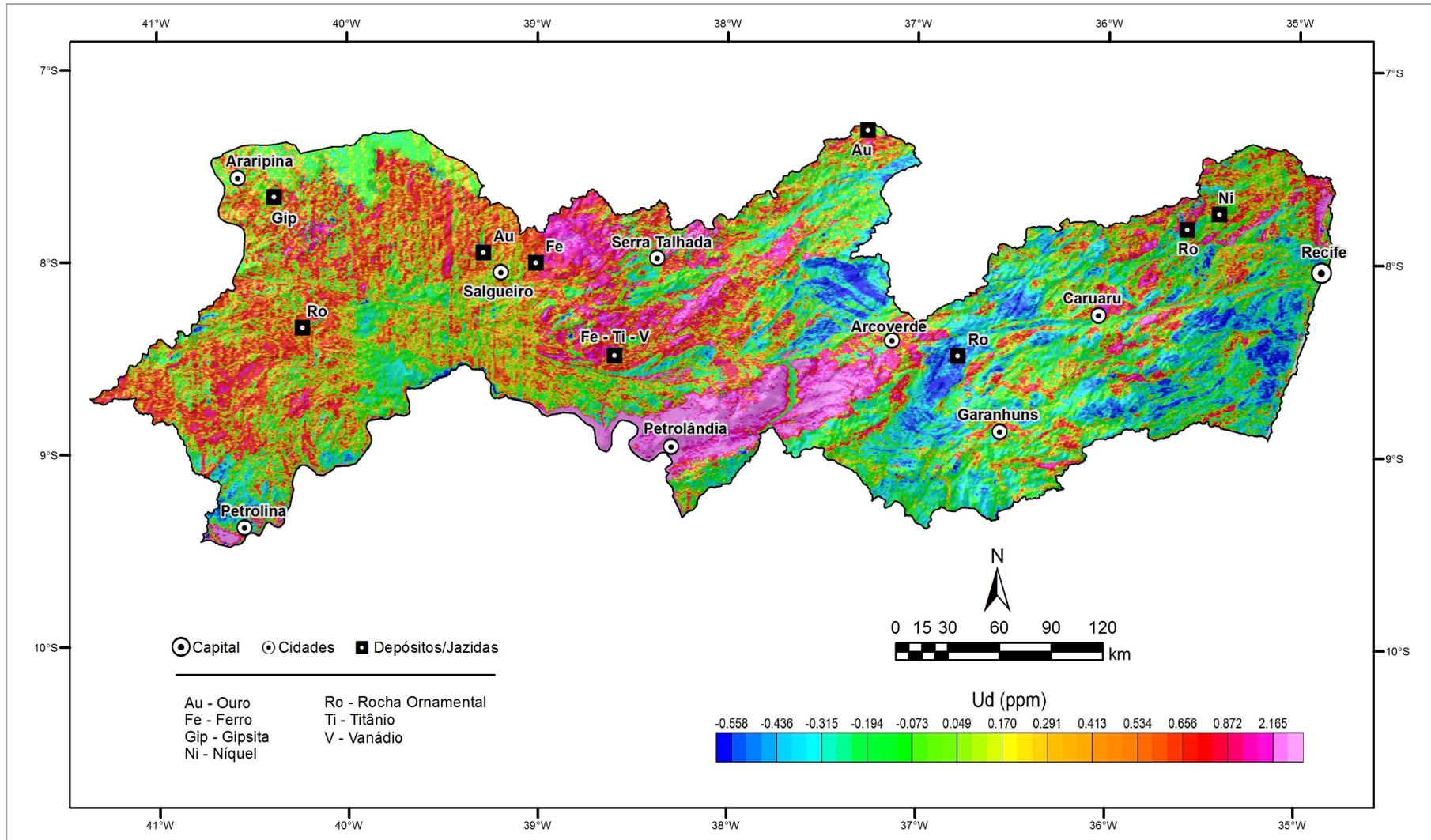


Figura 11 - Gráfico de correlação de eU x eTh com reta que melhor se ajusta aos dados.

Urânio Anômalo

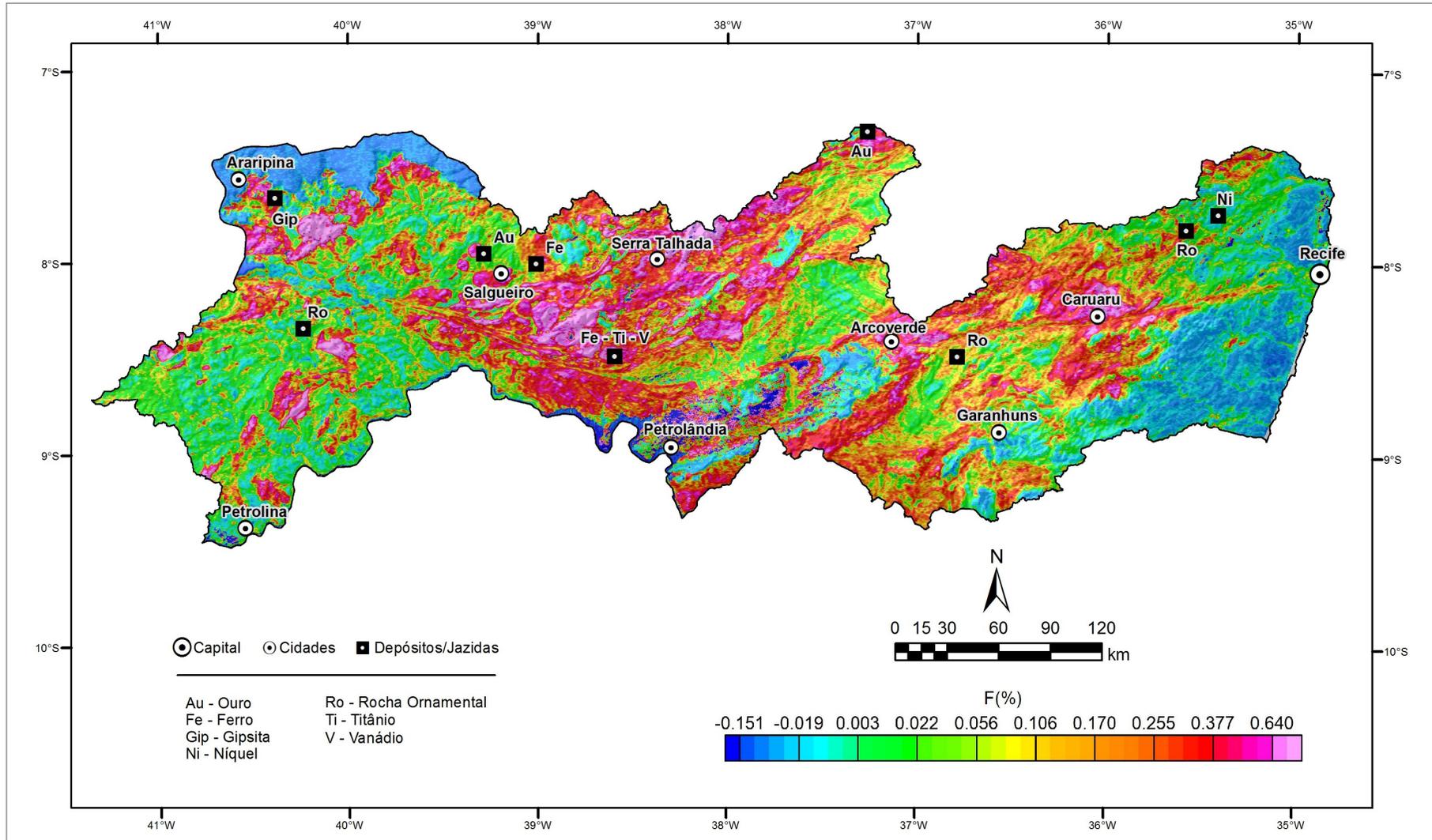


▶ PARÂMETRO F

ESTE PARÂMETRO é obtido por meio do cálculo de efeito de crescimento do K e do eU em relação ao eTh em situações geológicas específicas. Geralmente, o conteúdo relativo dos radioelementos é alterado nos processo de hidrotermalismo. Segundo AIRO (2002) a alteração potássica resulta frequentemente em K elevado particularmente para rochas máficas. Então, relações anômalas entre o K e eTh ao longo de cisalhamentos ou fraturas podem ser indicativas de mineralização de ouro.

O cálculo deste parâmetro é obtido por meio da fórmula proposta por EFIMOV (1978 apud GNOJEK; PRICHYSTAL, 1985): $F = K \cdot eU / eTh$.

Parâmetro F



▶ PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

NO ESTADO DE PERNAMBUCO observa-se que a grande maioria das anomalias de K apresentam formas circulares ou elípticas alongadas. Isto decorre da forte correlação deste elemento com intrusões de rochas ácidas de composição granítica. Destaca-se a linha de intrusões de sienitos que formam um alinhamento na região de Serra Talhada (SIAL, 1986). Neste alinhamento ocorrem rochas ultrapotássicas com teores de K de até 10,0%. Outras assinaturas importantes ocorrem no batólito

Caruaru-Arcoverde (NEVES; VAUCHEZ; FERAUD, 2000), cujas intrusões com teores médios de 5,0% de K foram tectonicamente condicionadas pelo Lineamento Pernambuco e zonas de cisalhamentos secundárias. No Batólito de Buique (ACCIOLY; MORAIS, 2013) onde os afloramentos de rochas graníticas calcioalcalinas estão correlacionados com uma faixa de 15 km de largura na direção NE-SW com teores médios de 5,0% de K. No contexto metalogenético, o K é um elemento importante na localização de mineralizações associadas com processos de hidrotermalismo, como ocorre na forte correlação de granitos ricos em K e zonas de cisalhamentos com mineralizações de Au em Serrita (TORRES et al., 1986) e Itapetim (ARDENT MINES Ltd., 2011).

Os sedimentos das bacias sedimentares são empobrecidos em K (< 1,0%) como pode ser observado pela coloração azulada apresentada no mapa de K nas diversas bacias que ocorrem no estado. A influência do clima na resposta gamaespectrométrica pode ser observada no contraste entre a intensidade e qualidade do sinal de duas regiões climáticas de Pernambuco, o Sertão e a Zona da Mata. No Sertão, por causa da boa exposição das rochas, as assinaturas são mais evidentes do que na Zona da Mata, onde a pluviosidade favorece o intemperismo das rochas, formação de solos e mobilização do K.

No mapa de Equivalente Tório (eTh), em comparação com o mapa de K, observa-se que apenas algumas intrusões da linha de sienitos e dos batólitos de Caruaru-Arcoverde e Buique apresentam o sinal de eTh com a mesma intensidade do K. Isto pode indicar variações de composição entre as diversas intrusões que ocorrem nesses batólitos. Alguns dos corpos mais ricos em eTh possuem teores em torno de 100 ppm, como ocorre no Batólito de Caruaru-Arcoverde.

As faixas dobradas metassedimentares Riacho do Pontal e Piancó-Alto Brígida também apresentam baixos teores de eTh . Isto possivelmente decorre da composição dos micaxistos originados pelo metamorfismo de sedimentos argilosos. Algumas faixas apresentam tons esverdeados, como por exemplo, nos terrenos Rio Capibaribe e Pernambuco-Alagoas, sugerindo nesses locais a predominância de uma sedimentação arenosa cujos derivados metamórficos mantiveram os minerais pesados e resistentes ricos em eTh , como por exemplo, monazita e zircão. No contexto metalogenético, as rochas com alteração por hidrotermalismo possuem Potássico Anômalo e Parâmetro F alto. Por isto, regiões onde houve hidrotermalismo com aumento de K e diminuição de Th são consideradas favoráveis para mineralizações de minerais metálicos como Cu e Au.

Nas bacias sedimentares observa-se uma tendência de diminuição dos teores de eTh (< 5,0 ppm) da mesma maneira como ocorre com o K. Contudo, como no caso dos metassedimentos, a diminuição de intensidade é menor, sobretudo pela possibilidade de alguns sedimentos conterem minerais ricos em eTh . Um exemplo atual da acumulação de monazita e zircão em sedimentos são os aluviões do Rio Moxotó na Bacia de Jatobá que apresentam teores de até 20,0 ppm de eTh .

O Th é menos móvel que o K e U. Portanto, o seu equilíbrio geoquímico lhe dá uma condição de bom marcador litológico (DICKSON; SCOTT, 1997). Quando sua concentração é superior ao K pode ser um indício de que a região em estudo possui intemperismo químico. Uma comprovação desta hipótese é a região da Zona da Mata de Pernambuco onde a diminuição do K por causa do intemperismo das rochas não é acompanhada pela diminuição do eTh .

Como esperado, o mapa de eU tem muitas semelhanças com o mapa eTh . Apesar de ser o mais móvel dos três radioelementos ele tem um padrão de distribuição nas rochas muito semelhante ao eTh . Inclusive, com crescimento nas rochas portadoras de monazita e zircão. No contexto metalogenético é uma ferramenta fundamental na localização de jazidas de U e de fosfato. Além de ajudar a rastrear Elementos Terras Raras e alguns tipos de depósitos de Cu e Au.

▶ ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS

Os dados aerogeofísicos apresentados neste atlas possuem uma forte potencialidade para o entendimento do contexto regional de depósitos minerais já conhecidos, além de fornecer uma grande quantidade de evidências para a localização de novos depósitos. Uma prova disto foi o grande crescimento de requerimentos de novas áreas de pesquisa pelas companhias de mineração que ocorreu a partir de 2004, com o início da grande campanha de novos levantamentos empreendidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Os exemplos apresentados a seguir são uma amostra desta potencialidade. As assinaturas aerogeofísicas de três diferentes jazidas (Figura 12) associadas com três diferentes

associações minerais são apresentadas e discutidas. O corpo máfico-ultramáfico de Jurema mineralizado em Fe-Ti-V é apenas mais um dos inúmeros corpos mineralizados que ocorrem na região de Floresta. O depósito de Ni-EGP da região de Limoeiro foi uma descoberta inusitada em uma área até então considerada estéril para este tipo de depósito. Finalmente, os garimpos de ouro de Serrita são uma importante fonte de recursos em uma área empobrecida pela estiagem frequente. Neste caso, os dados aerogeofísicos revelaram várias assinaturas importantes para o contexto da mineralização que ainda carecem de entendimento e de uma boa correlação geológica.

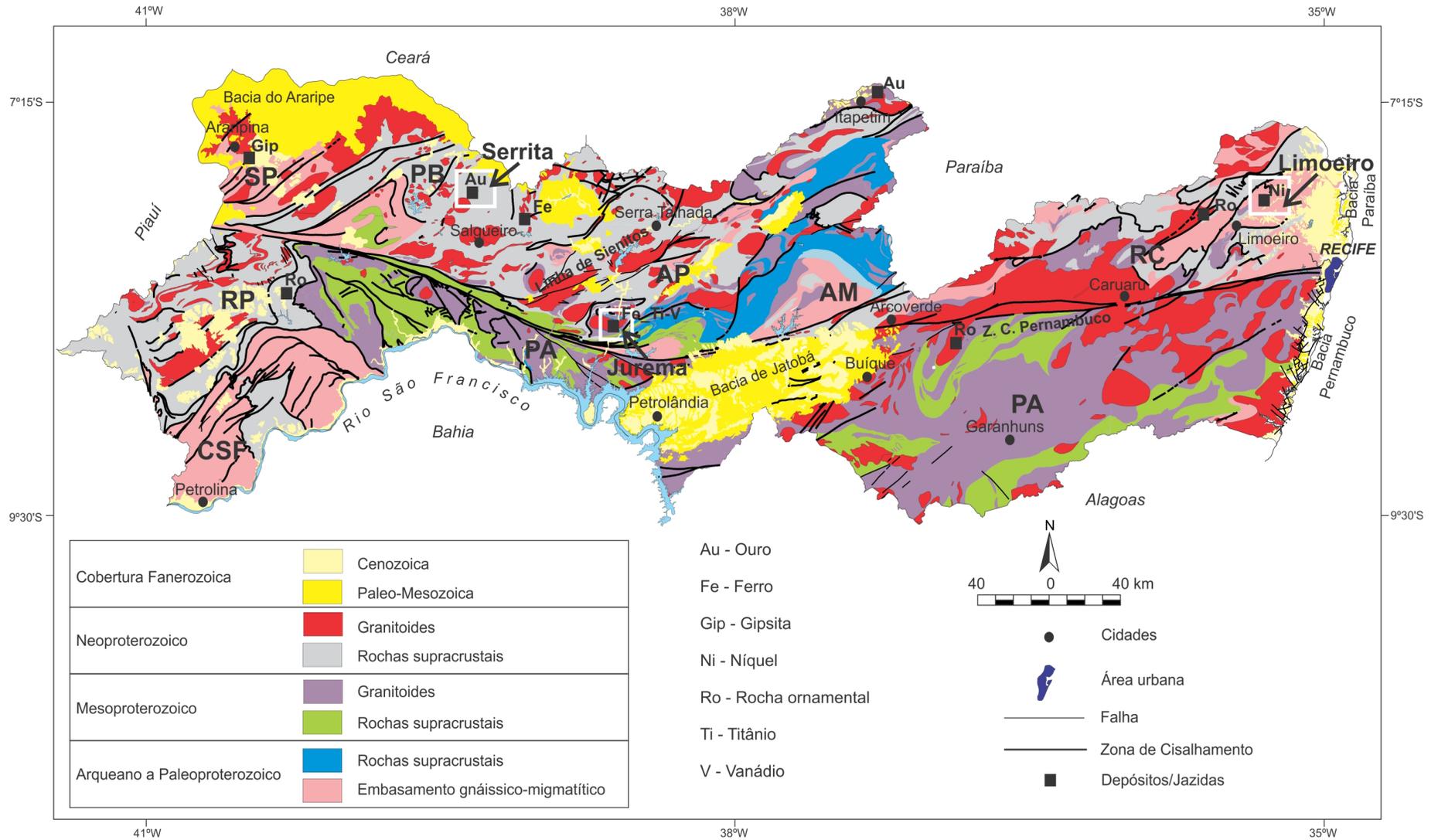


Figura 12 - Geologia simplificada do estado de Pernambuco (GOMES, 2001, modificada), com localização das principais jazidas/depósitos minerais e das áreas de detalhamento das assinaturas aerogeofísicas: Jurema, Limoeiro e Serrita.

▶ AEROGEOFÍSICA DO CORPO MÁFICO-ULTRAMÁFICO DE JUREMA MINERALIZADO EM FE-TI-V NA REGIÃO DE FLORESTA

NOS TRABALHOS de mapeamento geológico deste projeto e durante a checagem de anomalias magnéticas, um novo corpo mineralizado em Fe-Ti-V-Co foi encontrado na localidade de Jurema, município de Betânia-PE (LIMA et al., 2016). A ocorrência de Fe e Ti maciço está hospedada em metaperidotitos, metagabros, metapiroxenitos e metahornblenditos, possivelmente pertencente a Suíte Serrote das Pedras Pretas (LAGES; DANTAS, 2016). O corpo mineralizado está encaixado nas rochas metassedimentares do Complexo São Caetano (LIMA et al., 2016). Neste exemplo de interpretação de dados aerogeofísicos são descritas as características gamaespectrométricas e magnéticas do Corpo de Jurema (CJ), bem como, os resultados da modelagem tridimensional obtida por meio de deconvolução Euler 3D.

Os dados gamaespectrométricos foram analisados a partir da Composição Ternária RGB (K-eTh-eU) (Figura 13). Os afloramentos do CJ estão correlacionados com baixos teores de K-eTh-eU (tonalidades pretas na Figura 13). Esta característica radiométrica é típica de rochas ultramáficas geralmente empobrecidas em radioelementos. A continuidade para leste da assinatura radiométrica sugere que outros afloramentos de rochas ultramáficas podem ocorrer. Nessa região, as tonalidades esverdeadas sugerem enriquecimento em eTh, possivelmente por causa de processos de laterização do solo. As rochas metassedimentares do Complexo São Caetano que encaixam o CJ apresentam padrão radiométrico heterogêneo com variação de concentrações dos três radioelementos. Essa variação produz uma textura pintalgada nas cores vermelha, verde e azul (Figura 13). Ao sul do CJ ocorre uma região de enriquecimento nos três radioelementos que forma uma faixa de tonalidades brancas com largura de 1,0 km e direção WNW-ESE. As rochas associadas com esta assinatura são augen gnaisses com composição sienogranítica a monzogranítica da Suíte Recanto - Riacho do Forno (SANTOS, 1996).

A anomalia magnética associada com o CJ apresenta comprimento de onda de 1,0 km e amplitude de 80 nT (Figura 14). Os dados demonstram que o CJ se estende para leste 3,5 km além da área de afloramentos conhecidos. Na sua extensão para leste, ele mantém uma largura média de 500 m e os mesmos parâmetros magnéticos da área de afloramentos. A anomalia apresenta uma assimetria em que o flanco norte é mais suave do que o flanco sul, sugerindo que o corpo de rochas máficas mergulha para norte.

Com o objetivo de compreender a forma tridimensional das rochas magnéticas, as anomalias foram modeladas pelo método de Euler 3D (REID et al., 1990; MUSHAYANDEBVU et al., 2001). Para a modelagem foi adotado o índice estrutural (IS) igual a 3 (esfera), com janela de cálculo com dimensão de 10 células e 15% de tolerância. Os resultados foram plotados sobre o gradiente total para separar agrupamento de soluções consistentes (Figura 15). Para a exibição dos resultados em 3D foram atribuídos volumes de 40 m para as soluções (voxel) (Figura 16).

Os resultados da modelagem Euler 3D revelou um corpo alongado na direção WNW-ESE com topo e base em profundidades constantes em toda sua extensão. A profundidade máxima das soluções foi 460 m, com valores médios de 211 m (figuras 15 e 16). Para estimativas de volume do corpo as soluções foram interpoladas por voxel pelo método de krigagem em células com dimensão de 40 x 40 m em torno da solução pontual (Figura 16). Em seguida foi criada uma isosurface que envolve externamente e suaviza as células cúbicas do voxel. Os resultados indicam que as rochas magnéticas contidas na isosurface resultante da modelagem Euler 3D possuem volume em torno 1.199.623.525 m³. Esse valor possivelmente superestima o volume real e deve ser considerada apenas uma estimativa aproximada do volume de rochas magnéticas contidas no CJ. Como os dados demonstram que as rochas hospedeiras da mineralização são magnéticas e as análises indicam teores médios de 10% de Ti (LIMA et al., 2016) é possível inferir uma reserva máxima de 119.962.352,5 m³ de Ti.

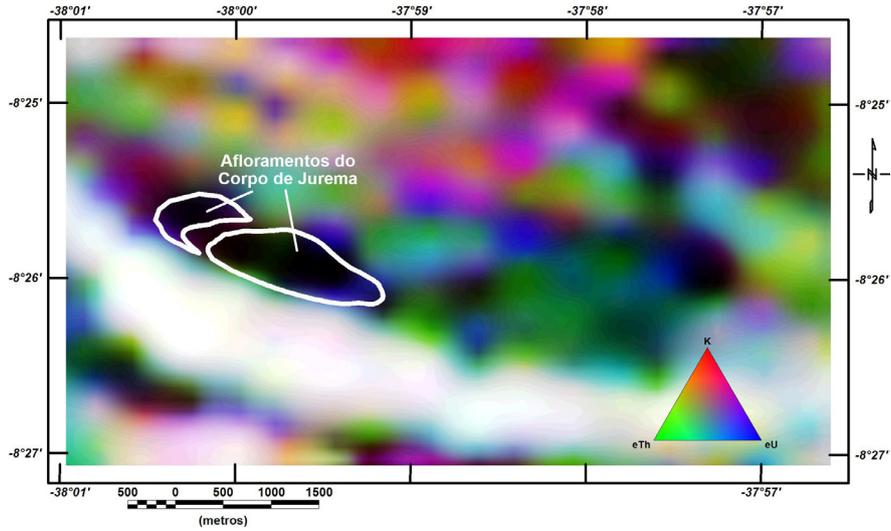


Figura 13 - Composição ternária RGB (K-eTh-eU) da região do Corpo de Jurema.

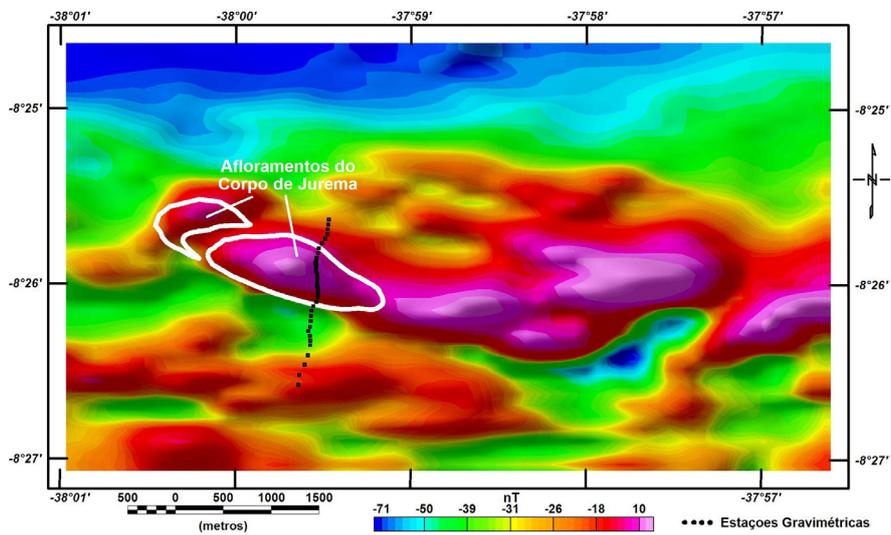


Figura 14 - Anomalia magnetométrica da região do Corpo de Jurema.

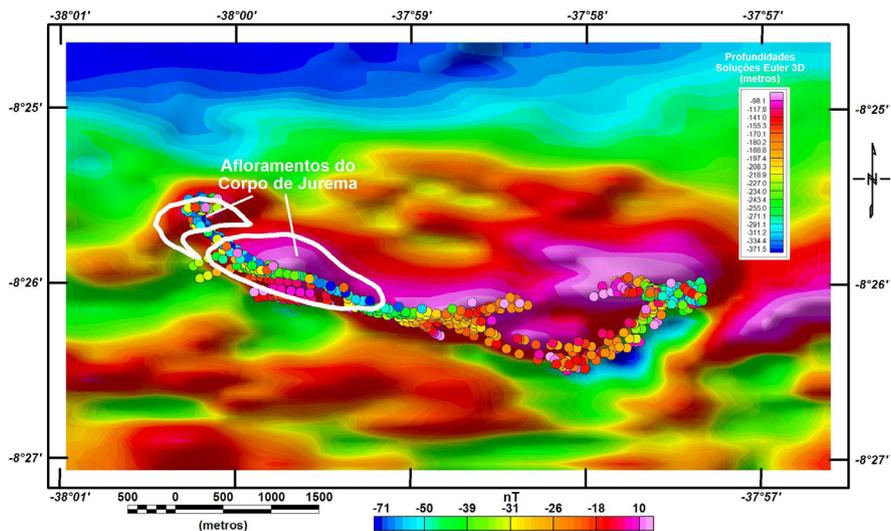


Figura 15 - Gradiente total da anomalia magnetométrica da região do Corpo de Jurema com localização das soluções da deconvolução Euler 3D (círculos coloridos). No canto superior esquerdo do mapa está sobreposta a escala de profundidades das soluções.

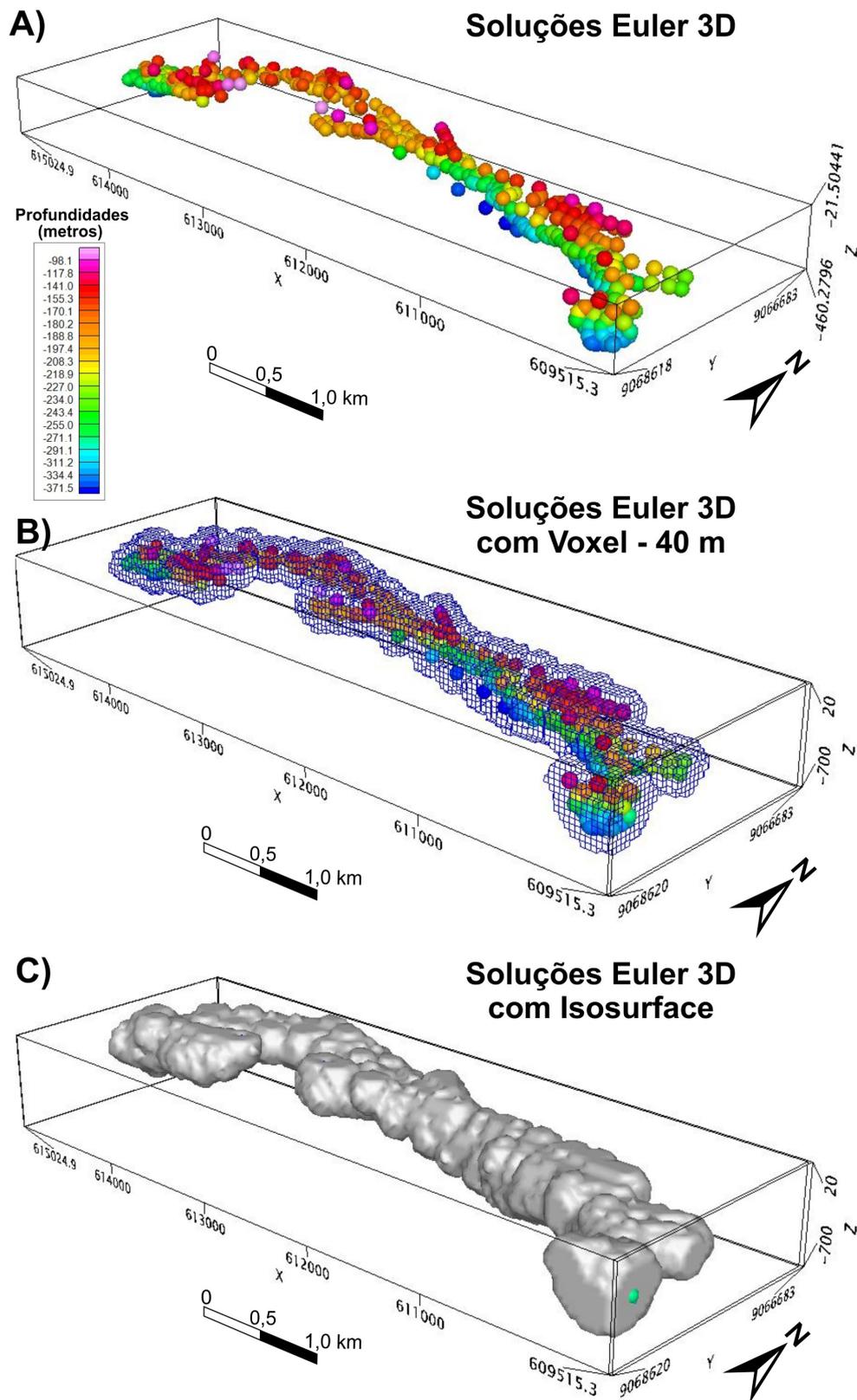


Figura 16 - Visualização tridimensional do resultado da modelagem Euler 3D. A) Localização das soluções; B) Voxel das soluções Euler 3D resultante da interpolação por krigagem (40 m x 40 m); C) Isosurface que envolve externamente a malha do voxel.

▶ AEROGEOFÍSICA DA FAIXA DE OCORRÊNCIA DE ROCHAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS MINERALIZADAS EM NI-CU-EGP DE LIMOEIRO

NA ÁREA DE ESTUDO ocorrem intrusões de rochas máficas-ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-EGP (EGP - Elementos do Grupo da Platina) correlacionadas com anomalias magnéticas (MOTA-E-SILVA; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA, 2013). A maior concentração das intrusões mineralizadas está localizada na área indicada pelo retângulo branco na Figura 17.

Considerando os parâmetros das anomalias associadas com os corpos magnéticos mineralizados (amplitude > 0,47 nT/m) foi efetuada uma busca automática de anomalias com características semelhantes nas proximidades do depósito. Foram empregados os dados de gradiente total (Figura 17). O resultado desta busca e a checagem no campo das anomalias magnéticas indicou que a área de afloramentos dos corpos magnéticos está concentrada na região de ocorrência das rochas mineralizadas (círculo branco na Figura 17).

O comportamento dos dados magnetométricos na faixa de ocorrência de rochas ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-PGE (Figura 18) indica uma predominância de anomalias alongadas alinhadas na direção NE-SW, com comprimento de onda entre 1,0 e 2,0 km e amplitudes máximas de 300 nT. Os gnaisses ortoderivados e rochas intrusivas do embasamento estão muito enriquecidos em minerais magnéticos, em contraste com a sequência de rochas metassedimentares que possuem magnetização fraca. O contraste de susceptibilidade magnética entre os dois tipos de rochas produz nos dados magnetométricos uma forma em sigmoide, controlada a norte por fortes alinhamentos magnéticos na direção E-W (Figura 17). Essa forma envelope a área de afloramento dos metassedimentos e enseja um modelo de extensão tectônica para a intrusão das rochas ultramáficas.

As anomalias magnéticas relacionadas com corpos magnéticos mineralizados (MOTA-E-SILVA; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA, 2013) (Figura 18E)

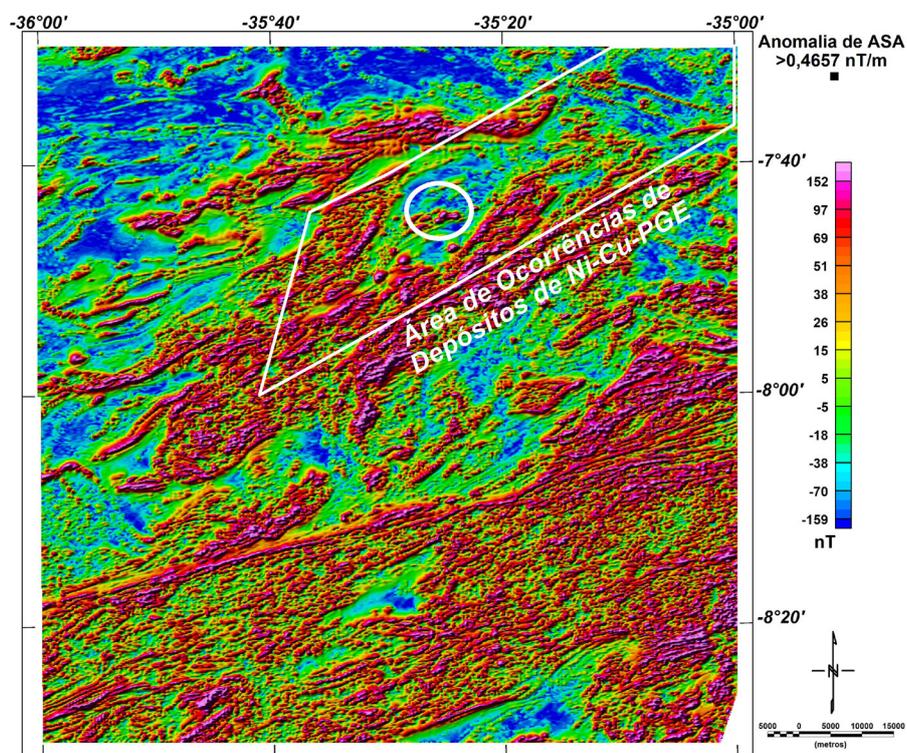


Figura 17 - Amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo com localização das anomalias com gradiente acima de 0,47 nT/m e do conjunto de anomalias associadas com corpos máficos mineralizados em Ni-Cu-EGP (círculo branco).

foram modeladas pelo método de Euler 3D (REID et al., 1990; MUSHAYANDE-BVU et al., 2001). Para a modelagem foi adotado o índice estrutural (IS) igual a 2 (cilindro). Para a exibição dos resultados em 3D foram atribuídos volumes para as soluções finais (voxel) (Figura 19). Os resultados definiram as formas tridimensionais dos quatro corpos de rochas ultramáficas mineralizados: Bofe, Piçarra, Retiro e Parnazo (MOTA-E-SILVA; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA, 2013). Eles formam um alinhamento na direção NE-SW e estão separados por zona de falhas com direção N-S. 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; FERREIRA FILHO; DELLA GIUSTINA (2013).

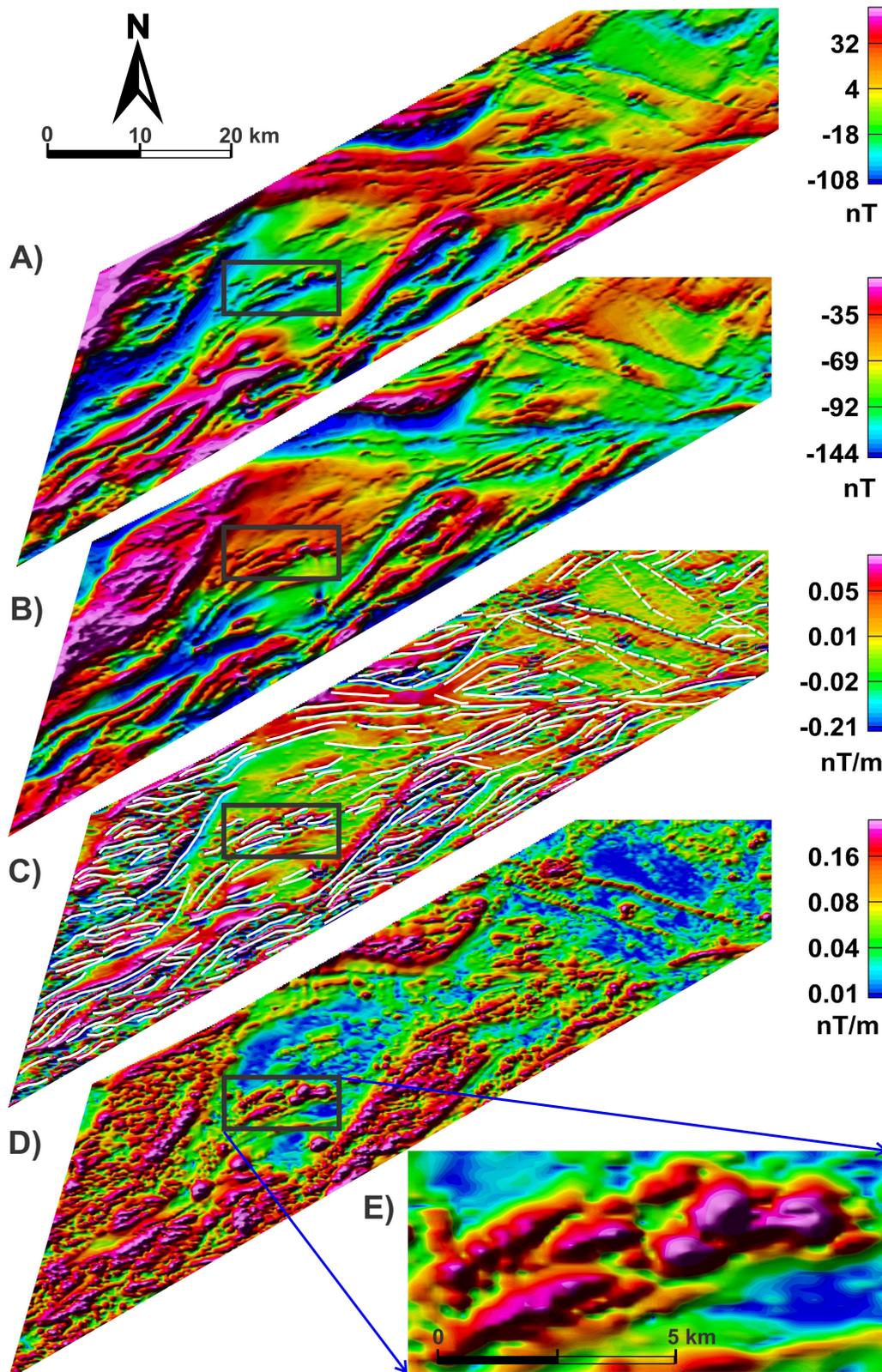


Figura 18 - Assinaturas magnetométricas da faixa de ocorrência de rochas ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-EGP. A) Anomalia magnetométrica; B) Anomalia magnetométrica reduzida ao polo magnético; C) 1ª derivada vertical da anomalia magnetométrica com interpretação dos alinhamentos; D) Gradiente total da anomalia magnetométrica; e E) Gradiente total da anomalia magnetométrica associadas com corpos mineralizados e modeladas por Euler 3D.

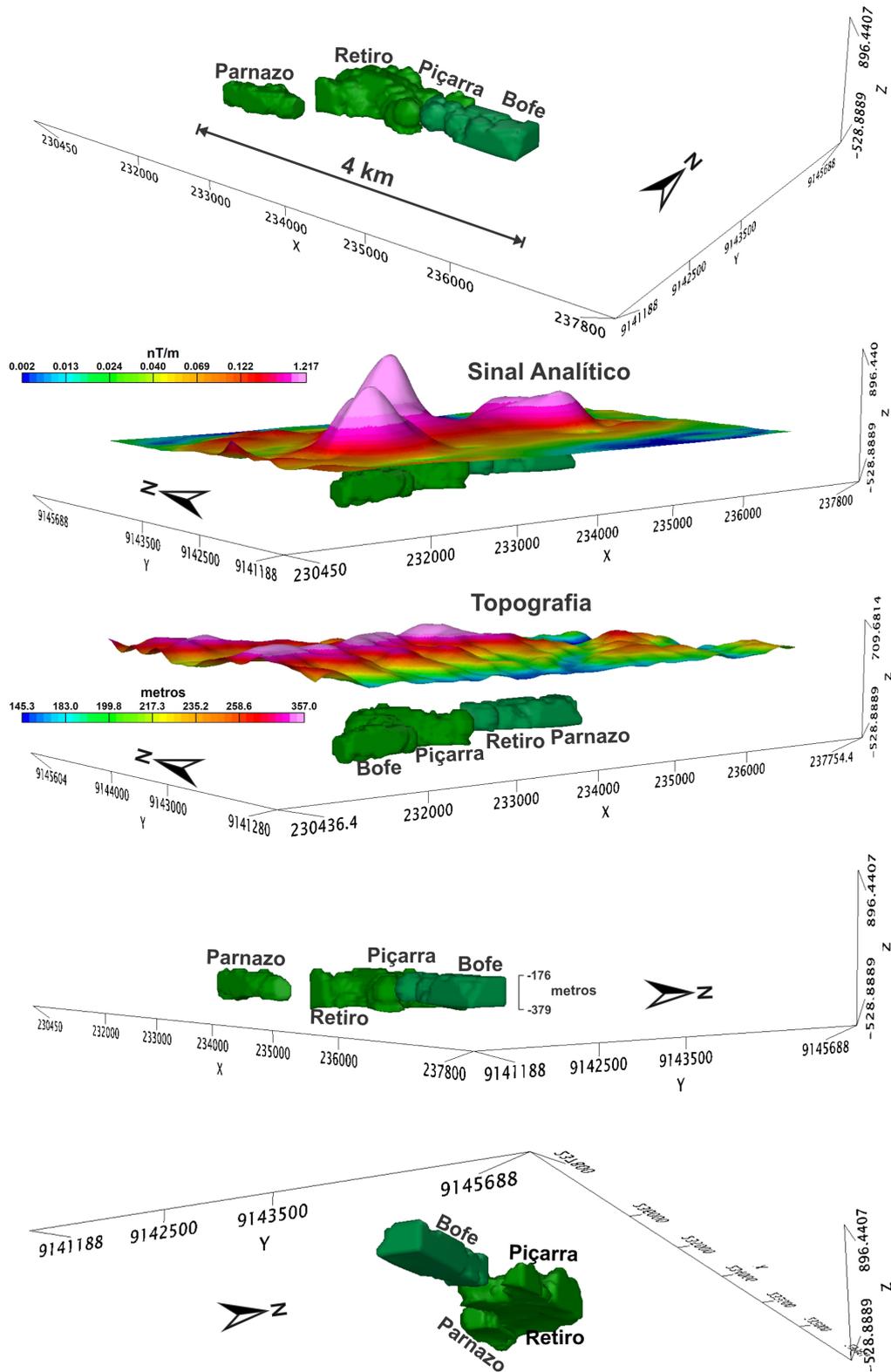


Figura 19 - Modelagem Euler 3D de anomalias magnéticas associadas com intrusões de rochas máficas-ultramáficas mineralizadas em Ni-Cu-EGP. Para a exibição dos resultados em 3D foram atribuídos volumes para as soluções pontuais (voxel).

▶ AEROGEOFÍSICA DOS GARIMPOS DE OURO DA REGIÃO DE SERRITA

FILÕES COM Au, Ag e Pb ocorrem em garimpos na região de Serrita (PE), no oeste da Zona Transversal da Província Borborema. As ocorrências estão encaixadas em metassedimentos do Grupo Sagueiro e em quartzo-monzodioritos da Suíte Serrita. De acordo com MARINHO (2012), os dados geológicos indicam que na região ocorreram quatro fases de deformações, a última em uma tectônica direcional do Ciclo Brasileiro. Os veios de minério são posteriores à terceira fase e em consequência ao pico metamórfico da orogênese. As estruturas ocorreram em um regime frágil-dúctil e foram controladas por sistemas de fraturas E-W/ESE-WNW e N-S/NNW-SSE nos metassedimentos e NW-SE nos quartzo-monzodioritos. Foram observadas alterações hidrotermais que produziram halos de carbonatação nos metassedimentos e sericitização, silicificação e sulfetação nos quartzo-monzodioritos.

Os dados aerogeofísicos dessa região foram empregados para o entendimento dos processos de mineralização que propiciaram a formação dos depósitos minerais. Os dados aeromagnetométricos foram processados e filtrados com o objetivo de realçar direções de alinhamentos, posicionar as anomalias sobre as fontes magnéticas e separar as rasas das profundas (Figura 20). Foram também aplicados métodos de modelagens inversas (Euler 3D, Voxel) para a quantificação dos dados, sobretudo quanto as suas profundidades. Nos dados gamaespectrométricos foram realizadas operações de razões e cálculos do K anômalo (Figura 21)

A interpretação e modelagens dos dados magnetométricos evidenciam a existência de alinhamentos expressivos nas direções E-W, NE-SW, N-S e NNW-SSE. Os alinhamentos nas direções E-W, NE-SW, N-S são alongados, às vezes apresentam forma sigmoide e estão associados com fontes que se estendem a profundidades acima de 1,0 km. Suas correlações geológicas mais prováveis são zonas de deformações dúcteis onde ocorreu percolação de fluidos contendo minerais magnéticos. Os alinhamentos com direção NNW-SSE são retilíneos e truncam as direções E-W e NE-SW. São associados com fontes rasas ou aflorantes e devem

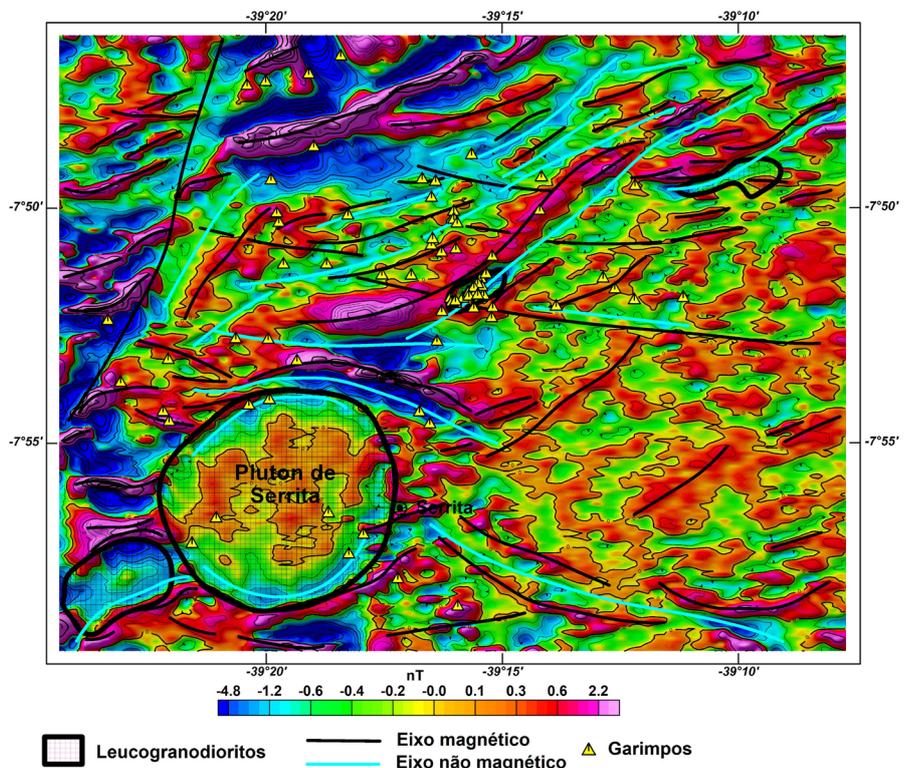


Figura 20 - Componente residual dos dados aeromagnetométricos reduzidos ao polo com interpretação dos alinhamentos e localização dos garimpos de ouro.

corresponder a estruturas de deformação frágil ou dúctil-frágil mais novas que as estruturas associadas com as direções E-W e NE-SW. A maior concentração de garimpos ocorre na região de intersecção entre as direções NNW-SSE e NE-SW. Neste local, a direção NE-SW forma um longo alinhamento que está conectado a assinatura magnética do pluton circular de Serrita (PE). Os dados gamaespectrométrico demonstram que o pluton de Serrita é internamente enriquecido em K e empobrecido em eTh e eU , porém possui uma aureola enriquecida em eTh e eU . A área com maior concentração de garimpos está claramente correlacionada com uma anomalia positiva no parâmetro F e negativa na razão eTh/K .

Os resultados deste estudo indicam que existe uma conexão evidente entre alinhamentos magnéticos e a ocorrência de garimpos, sugerindo que eles podem está associados com estruturas que facilitaram a entrada de filões (contraste reológico propiciando abertura de espaços) e a percolação de fluidos magmáticos. Além disto, os dados gamaespectrométricos indicam que o processo foi acompanhado por hidrotermalismo potássico. Os dados geofísicos também revelam potencialidades para localização de novas ocorrências.

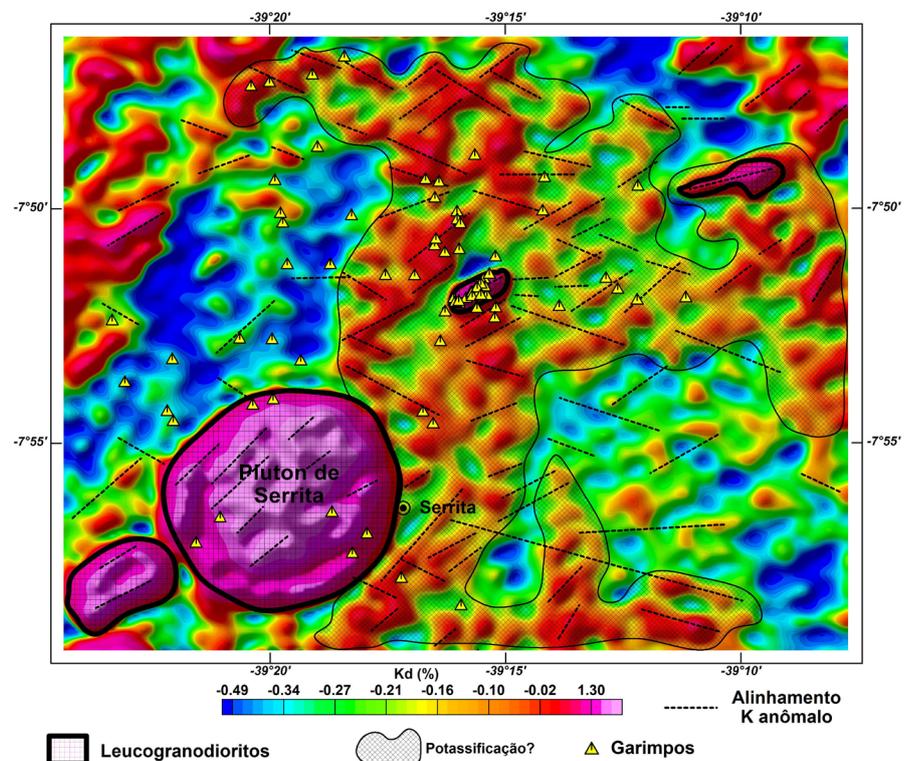


Figura 21 - Potássio anômalo com interpretação dos alinhamentos das áreas de potassificação e dos garimpos de ouro.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, Ana Cláudia Aguiar, Scoates, J. S., Santos, C. A. The Sitio Piranhas Anorthositic Association in the Alto Moxotó Terrane, Borborema Province, NE Brazil. **Boletim de Estudos Geológicos (UFPE)**, v.21 (2), 2011. p. 98-111.
- ACCIOLY, Ana Cláudia Aguiar; MORAIS, Debora Melo Ferrer de. Programa Geologia do Brasil-PGB, **Buique, Folha SC.24-X-B-IV, Estado de Pernambuco**: Carta Geológica e de Recursos Minerais. Escala 1:100.000, Recife: CPRM, 2013, 1 mapa colorido.
- AIRO, Meri-Liisa. Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration. **Surveys in Geophysics**. 23: 273-302. 2002.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; HASUI, Yociteru; BRITO NEVES, Benjamim Bley de; FUCK, Reinhardt Adolfo. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. Campina Grande. **Resumo das comunicações[...]**. Campina Grande: SBG, 79p. (Boletim Especial SBG, Núcleo Nordeste, 6) p.12 -13. 1977.
- ANGELIM, Luiz Alberto de Aquino.; KOSIN, Marília. **Aracaju/NW. Folha SC 24-V**: Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1:500.000. Recife: CPRM, 2001. 2 mapas.
- ARDENT MINES LTD. NI 43-101 Technical Report on Exploration. Gold Hills Project, Pernambuco State, Brazil, 100 p. 2011. Disponível em: <<http://www.goldhills.com.br/uploads/>, acesso em agosto/2012.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASES REGISTRY. 1999. Disponível em:<<http://www.goldhills.com.br/uploads/>, acesso em agosto/2012. Acesso em: 05 jul. 2004.
- BARANOV, V. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies. **Geophysics**. 1957. 22:359-383.
- BHATTACHARYYA, B.K. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. **Geophysics**, 31:97-121. 1966.
- BIONDI, João Carlos. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos. 528 p., il. color. 2003.
- BRITO NEVES, Benjamim Bley; SANTOS, Edilton José dos; VAN SCHMUS, Willian Randal. Tectonic history of the Borborema Province, NW Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), **Tectonic Evolution of South America**, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, . 2000. p 151-182
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Pernambuco-Piauí**: Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA; PROSPECTORS, 2006.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema**: Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA; PROSPECTORS, 2008.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projetos Aerogeofísicos Pernambuco-Paraíba e Paraíba-Rio Grande do Norte**: Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA; PROSPECTORS, 2010a.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Centro Sudoeste do Ceará**: Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: PROSPECTORS, 2010b.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Paulo Afonso - Teotônio Vilela**: Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Microsurvey, 2011.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 187-200, Australian government publishing service, 1997.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral. Brasília: DNPM, 2009. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/colecoes/colecao-de-relatorios-anuario-mineral>. Acessado em: janeiro de 2019.
- FERREIRA, Rogério Valença; DANTAS, Marcelo Eduardo; SHINZATO, Edgar **Origens das Paisagens**. In: Torres, Fernanda Soares de Miranda, Pfaltzgraff, Pedro Augusto dos Santos (ogs.). **Geodiversidade do Estado de Pernambuco**. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Recife, 2014, 282 p.
- FREITAS, Aurélio Figueiredo; MARMOS, José Luiz. **Atlas geoquímico do Estado de Roraima**: Projeto levantamento geoquímico de baixa densidade do Estado de Roraima. CPRM. ISBN 978-85-7499-357-7. 2017, 227 p.
- GNOJEK, Ivan; PRICHYSTAL, Antonín. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia, Czechoslovakia. **Geoexploration**, v. 23, p. 491-502. 1985.
- GOMES, Hermanilton Azevedo. **Contribuição a geologia geral e econômica da área ao NE de Floresta-PE**. 1 94

- f. (Relatório de Graduação em Geologia. Recife) - Escola de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1967.
- GOMES, Hermanilton Azevedo (Org.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto de Mapeamento Geológico/Metalogenético Sistemático, CPRM-Serviço Geológico do Brasil/DIEDIG/DEPAT, Recife, 198 p. 2001.
- GILL, Dan; SHILONI, Yair. Abundance and distribution of uranium in Senonian phosphorites, Arad basin, southern Israel. **Journal of African Earth Sciences**, 20(1):17-28, 1995.
- HASTINGS, David A. et al. (eds.). **The Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Version 1.0. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, U.S.A.** Digital data base on the World Wide Web (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>) and CD-ROMs. 1999.
- ISLES, David J.; RANKIN, Leigh R. Geological Interpretation of Aeromagnetic Data. Aeromagnetic prospecting - Data processing. **Australian Society of Exploration Geophysicists**, Australia, 2013, 365 p.
- JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferras; MACEDO, Maria Helena de Freitas; FUCK, Reinhardt Adolfo; KAWASHITA, Koji. Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n.4, p. 472 - 480, 1992.
- KABATA-PENDIAS, Alina; PENDIAS, Henryk. **Trace elements in soils and plants**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC Press, 365 p. 1992.
- KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. **An Introduction to Geophysical Exploration**. London: Blackwell Science, 2002, 281 p.
- KOLJONEN, Tapio (Ed.). **The geochemical atlas of Finland: part 2: till**. = Suomen geokemian atlas. Espoo: Geological Survey of Finland, 1992. 218 p.
- LAGES, Geysson de Almeida; DANTAS, Elton Luiz. **Floresta and Bodocó Mafic-Ultramafic Complexes, western Borborema Province, Brazil: Geochemical and isotope constraints for evolution of a Neoproterozoic arc environment and retro-eclogitic hosted Ti-mineralization. Precambrian Research**. 280 p, 91-119. 2016.
- LICHT, Otavio Augusto Boni; MELLO, Carlos Siqueira Bandeira de; SILVA, Cassio Roberto da (Ed.). **Prospecção geoquímica: depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás**. Rio de Janeiro: SBGq; CPRM, 780 p. il. 2007.
- LIMA, Felipe José da Cruz et al. **Complexo Máfico-Ultramáfico Jurema: descoberta de corpo mineralizado em Fe-Ti ± V ± Co em Betânia, Pernambuco, Zona Transversal, Província Borborema. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, Informe Técnico No 6, ISSN: 2448-2242**. 2016.
- MACLEOD, Ian N.; JONES, Keith; DAI, Ting Fan. 3-D Analytic Signal in the interpretation of Total Magnetic Field Data at Low Magnetic Latitudes. **Exploration Geophysics**, 24:679-688. 1993.
- MARINHO, Marcelo de Souza. **Evolução Estrutural e Aspectos Petrológicos das Ocorrências Auríferas de Serrita e Parnamirim, PE**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- MINEROPAR. Minérias do Paraná S.A. **Geoquímica de solo: Horizonte B: Relatório final de projeto**. Curitiba: Mineropar, v.2, 2005.
- MINTY, Brian Robert Stuart. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17 (2), 39-50, Australian government publishing service, 1997.
- MOTA E SILVA, Jonas; FERREIRA FILHO, Cesar Fonseca.; DELLA GIUSTINA; Maria Emília Schutesky. 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, p. 1753-1771. 2013.
- MUSHAYANDEBVU, M.F., VAN DRIEL, P., REID, A.B., & FAIRHEAD, J.D. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution: **Geophysics**. 2001 66(3): 814-823.
- NASCIMENTO, Marcos Antonio Leite do. **Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da Província Magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil)**. 2003. 235 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- NEVES, Sérgio Pacheco; VAUCHEZ, Alain; FERAUD, G. Tectono-thermal evolution, magma emplacement, and shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil). **Precambrian Research**, 99:1-32. 2000.
- OLIVEIRA, Roberto Gusmão de. 2008. **Arcabouço Geofísico, Isostasia e Causas do Magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de Sua Margem Continental (Nordeste do Brasil)**. 2008. 441 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. Potássio. In: São Paulo (estado). Sociedade Brasileira de Química. **Química na escola**. São Paulo: Química na escola, 2017. v. 19. Disponível em: <<http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc19/a14.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2017.
- PIRES, Augusto Cesar Bittencourt. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, 25:61-68. 1995.

- PIRES, Augusto Cesar Bittencourt; HARTHILL, Norman. Statistical analysis of airborne gamma-ray data for geologic mapping purposes: Crixas-Itapaci area, Goiás, Brazil. **Geophysics**, 54, 1326–32. 1989.
- REID, Alan Barry, ALLSOP, Jennifer M; GRANSE, Harald; MILLETT, Adrienne J.; SOMERTON, Ian W. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: **Geophysics**. 55(1):80-91. 1990.
- SANTOS, Edilton José dos. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1996. 7v. il. v.6 p.47-50.
- SANTOS, Edilton José dos. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belém do São Francisco. Folha SC.24-X-A:** Estado de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Escala 1:250.000. Geologia e metalogênese. Recife: CPRM, 2000. Disponível em 1 CD.
- SANTOS, J. P. **Geologia da região ferrífera de São José do Belmonte - PE.** Recife: SUDENE, 1967. (Série Geologia Econômica, 5).
- SIAL, Alcides Nóbrega. Granite-types in Northeastern Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, 16: 52-72. 1986.
- SILVA, Osmar Almeida da; MOTTA, A. C.; GOMESs, R. A.; MENOR, E. Prospecção de jazimentos ferrotitanados. Sistemática geofísica para ampliação de reservas e descoberta de novas jazidas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11, Natal, 1984. **Atas[...]**. Natal: SBG. Bol. 9, p. 13-26. 1984.
- SILVA FILHO, Marinho Alves da. Os grupos Salgueiro e Cachoeirinha no contexto do sistema de dobramentos Piancó-Alto Brígida. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15, Natal, 1993. **Atas [...]**. Natal: SBG. Bol. 15, p. 309-311. 1993.
- SPECTOR, A.; GRANT, F.S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. **Geophysics**. 35(2):293-302. 1970.
- TELFORD, William Murray; GELDART, Lloyd Philip; SHERIFF, Robert Edward; KEYS, David Arnold. **Applied Geophysics**. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p. 1990.
- TORRES, H. H. F., BARROS, F. A. R., SANTOS, E. J., FARINA, M., MARANHÃO, R. J. L. **Projeto Serrita – Relatório Final de Pesquisa, alvarás 3176/85, 4193/85, 4910/85 e 27 50/86.** Recife, CPRM. 1 v., 1986.

O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de 17 *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O Serviço Geológico do Brasil – CPRM atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em três grandes linhas de atuação:

- Geologia e Recursos Minerais;
- Geologia Aplicada e Ordenamento Territorial;
- Hidrologia e Hidrogeologia.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICO DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



PREVISÃO DE ALERTA DE CHEIAS E INUNDAÇÕES



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



Maiores informações: <http://www.cprm.gov.br/publique/Sobre-a-CPRM/Responsabilidade-Social/Objetivos-de-Desenvolvimento-Sustentavel---ODS-319>

PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Projeto Atlas Aerogeofísicos Estaduais

Em um país com dimensões continentais como o Brasil, levantamentos aerogeofísicos têm sido fundamentais para o incremento do conhecimento geológico, e para fomentar investimentos do setor mineral.

A grande importância dos levantamentos geofísicos consiste na sua capacidade de desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos. Dessa forma, feições geológicas como corpos, estruturas e depósitos minerais podem ser inferidas em profundidade, através de interpretações e modelagens dos dados geofísicos.

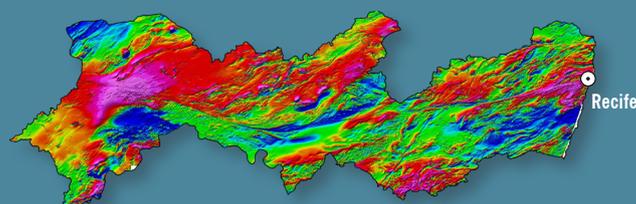
A aquisição de dados aerogeofísicos e sua ampla disponibilização representa uma das principais ações do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Ao longo das duas últimas décadas, importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do SGB-CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos, tendo sido recoberta uma área de cerca de 3,7 milhões de km², que corresponde a aproximadamente 43% do território nacional continental, e 92% das áreas de escudo cristalino. Em geral, nestes aerolevantamentos foram obtidos dados magnetométricos e gamaespectrométricos com espaçamento entre as linhas de voo de 500 m, e altura de voo de 100 m. Este grande esforço e investimento financeiro certamente tem contribuído para o aprimoramento do conhecimento geológico e a descoberta de depósitos minerais no Brasil.

Para incrementar a divulgação do conhecimento e a disponibilização dos dados, foi proposto o **Projeto Atlas Aerogeofísicos Estaduais**, onde dados aerogeofísicos são integrados de acordo com os limites das unidades federativas do Brasil. Esta compartimentação objetiva facilitar a gestão e emprego dos dados, de acordo com a preferência e prioridades dos setores público e privado, e segundo as características geológicas e potencialidades minerais locais.

Todos os produtos elaborados neste projeto estão disponíveis para download no banco de dados corporativo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>).

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado de Pernambuco



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Sede Brasília

Setor Bancário Norte - SBN
Quadra 02, Asa Norte
B Loco H - Edifício Central Brasília
Brasília - DF - Brasil - CEP: 70040-904
Tel.: (61) 2108-8400

Escritório do Rio de Janeiro

Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP: 22290-255
Tel.: (21) 2295-0032

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tels: (21) 2546-0212 • (61) 3223-1166

Departamento de Geologia

Tels: (91) 3182-1326 • (91) 99944-4906 • (21) 99584-3726

Departamento de Recursos Minerais

Tel.: (21) 2295-4992

Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Tel.: (11) 3775-5123 • (11) 98106-8606

www.cprm.gov.br

Assessoria de Comunicação

Tels: (61) 2108-8400 • (21) 2295-4641
email: asscomdf@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel.: (21) 2295-4697
email: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento a Usuários – SEUS

Tel.: (21) 2295-5997
email: seus@cprm.gov.br