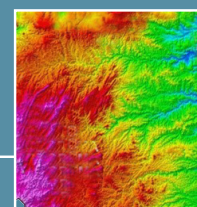
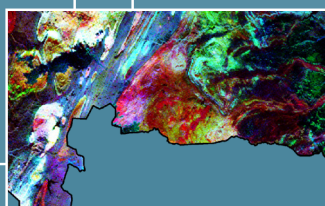
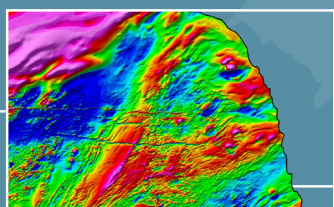


PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO E DE
POTENCIAL MINERAL DE NOVAS FRONTEIRAS

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado da Paraíba



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

Edlene Pereira da Silva

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 DA PARAÍBA**

ORGANIZADORES

Edlene Pereira da Silva
Roberto Gusmão de Oliveira



RECIFE
2019

REALIZAÇÃO

Superintendência de Recife

COORDENADOR DO PROJETO

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

ELABORAÇÃO DOS TEXTOS E MAPAS

Edlene Pereira da Silva
Roberto Gusmão de Oliveira

COLABORADORES

Marília de Araújo Costa Rodrigues

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

Agmar Alves Lopes

Miolo (DIEDIG)

Agmar Alves Lopes

Diagramação (ERJ)

Agmar Alves Lopes

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Ana Paula da Silva

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

S586a Silva, Edlene Pereira da
Atlas aerogeofísico do estado da Paraíba /
Organizadores Edlene Pereira da Silva [e] Roberto Gusmão
de Oliveira. – Recife : CPRM, 2019.
57 p. : il.

Levantamento geológico e de potencial mineral de
Novas Fronteiras.

ISBN: 978-85-7499-565-6

1. Aerogeofísica – Atlas – Brasil – Paraíba. I. Oliveira,
Roberto Gusmão de (Org.). II. Título.

CDD 550.98133

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 Estaduais**, 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, foi proposto o **Projeto Atlas Aerogeofísicos Estaduais**, que 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 dos setores público e privado, e segundo as características geológicas e potencialidades minerais locais.

A preparação do **Atlas Aerogeofísico do estado da Paraíba** necessitou de partes de dois 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 da Paraíba é o alinhamento associado com a extensa zona de cisalhamento que atravessa longitudinalmente o estado de leste a oeste, denominado Zona de Cisalhamento Patos. Nos dados gamaespectrométricos observa-se que as rochas com teores de K muito acima da média são representadas por sienitos e granitos. Os ortognaisses e migmatitos apresentam teores de K levemente acima da média. Todo o conjunto de rochas metassedimentares é empobrecido em K. Teores altos de **eTh** são observados nos granitos e granodioritos. O conjunto restante de rochas ígneas e metassedimentares apresenta teores de **eTh** abaixo da média. Os teores de **eU** possuem distribuição semelhante ao do **eTh**.

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 DA PARAÍBA	9
CONTEXTO GEOGRÁFICO	9
CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS.....	10
DADOS AEROGEOFÍSICOS	13
MATERIAIS E MÉTODOS	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 DA PARAÍBA	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 DA PARAÍBA.....	46

ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DE DEPÓSITOS MINERAIS	48
AEROGEOFÍSICA DA REGIÃO DO DEPÓSITO DE FOSFATO DE ALHANDRA.....	50
Investigação dos Dados Aerogamespectrométricos	50
Resultados da Investigação	51
 REFERÊNCIAS	 56

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.

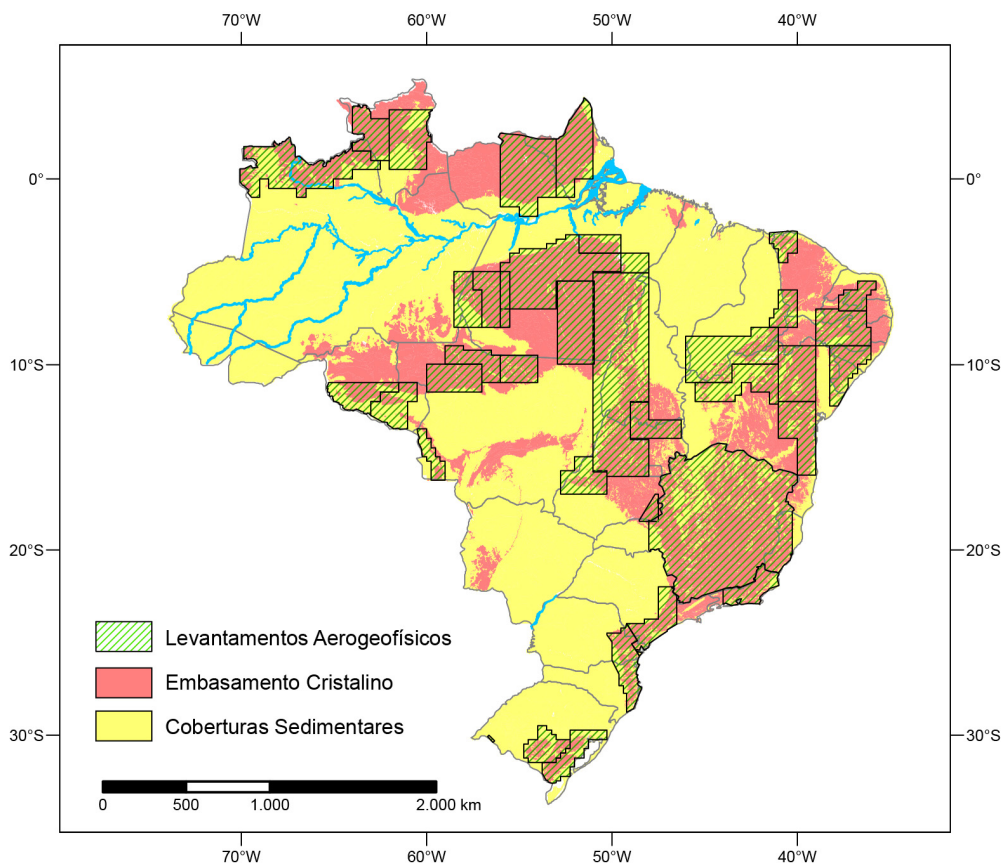


Figura 1 - Levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) adquiridos entre 1971 e 2001.

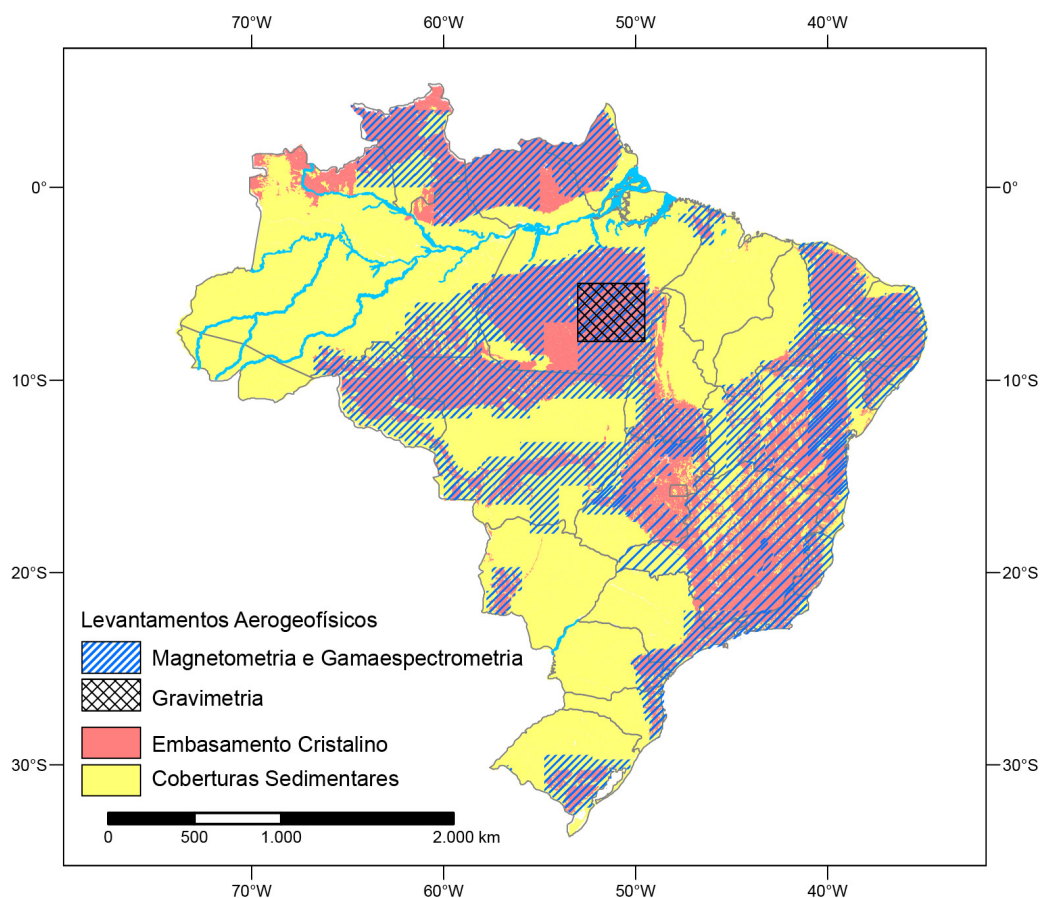


Figura 2 - Levantamentos aerogeofísicos adquiridos entre 2004 e 2014.

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.

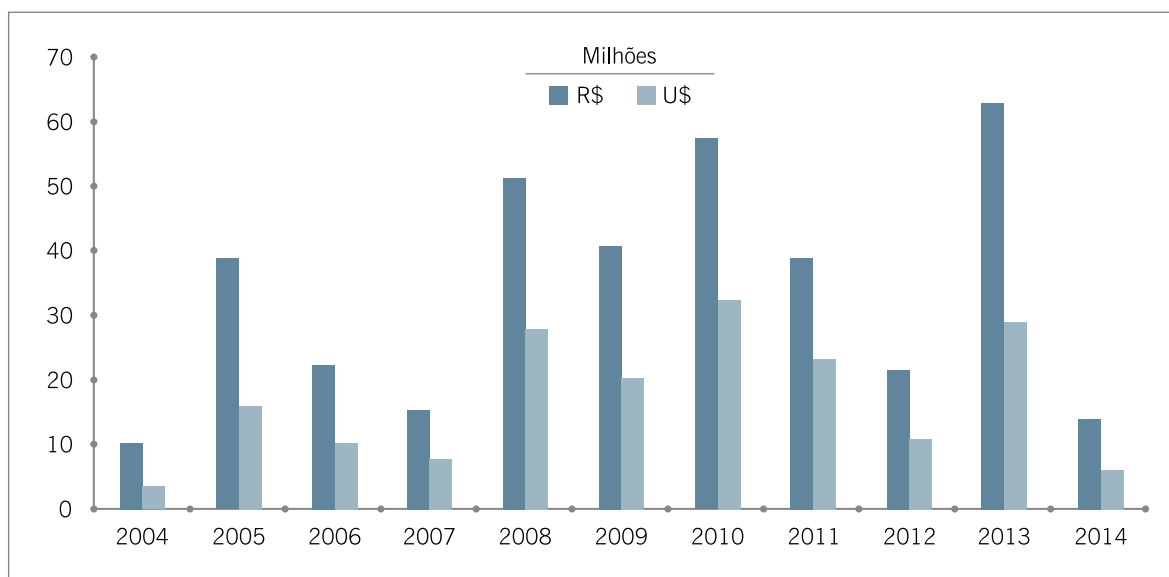


Gráfico 1 - Valores investidos na aquisição de dados aerogeofísicos entre 2004 e 2014.

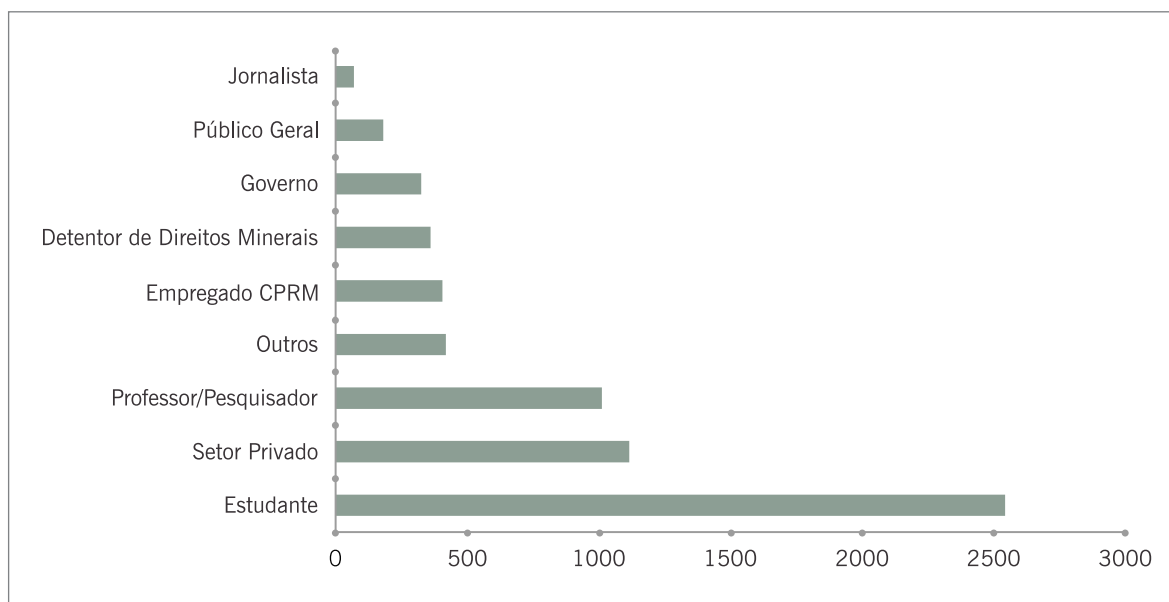


Gráfico 2 - Volume de dados (em Gb) de projetos aerogeofísicos acessados de forma gratuita entre maio de 2017 e setembro de 2019.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DA PARAÍBA

CONTEXTO GEOGRÁFICO

O estado da Paraíba está localizado na Região Nordeste do Brasil (Figura 3), tem uma área de 56.469,8 km², possui 223 municípios e uma população total estimada em 3.322.880 pessoas (Fonte: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>, acesso em janeiro de 2019).

Francisco (2010) ao relacionar clima e relevo individualizou três macrorregiões no estado da Paraíba (Figura 4):

a) Planície Atlântica – engloba a encosta oriental do Planalto da Borborema – o terço leste do estado, com o clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo As¹ - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. Nessa região, as chuvas são formadas pelas massas Atlânticas trazidas pelos ventos alísios de sudeste, e a altitude, na planície inferior a

200 m, pode ultrapassar 600 m nos pontos mais elevados dos contrafortes do planalto. A precipitação decresce do litoral (1.800 mm/ano) para o interior da região (600 mm/ano) devido, principalmente, à depressão do relevo, e torna a subir nos contrafortes do planalto para 1.000 mm/ano.

b) Planalto da Borborema – porção central do estado, com clima do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm/ano, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700 m). As chuvas da região sofrem influência das massas atlânticas de sudeste e do norte;

c) Sertão – região que ocupa o terço oeste do estado com clima do tipo As – Tropical Quente e Úmido, com chuvas de verão-outono nas áreas de contribuição do Rio Piranhas e nas áreas mais altas da Depressão Sertaneja e em todos

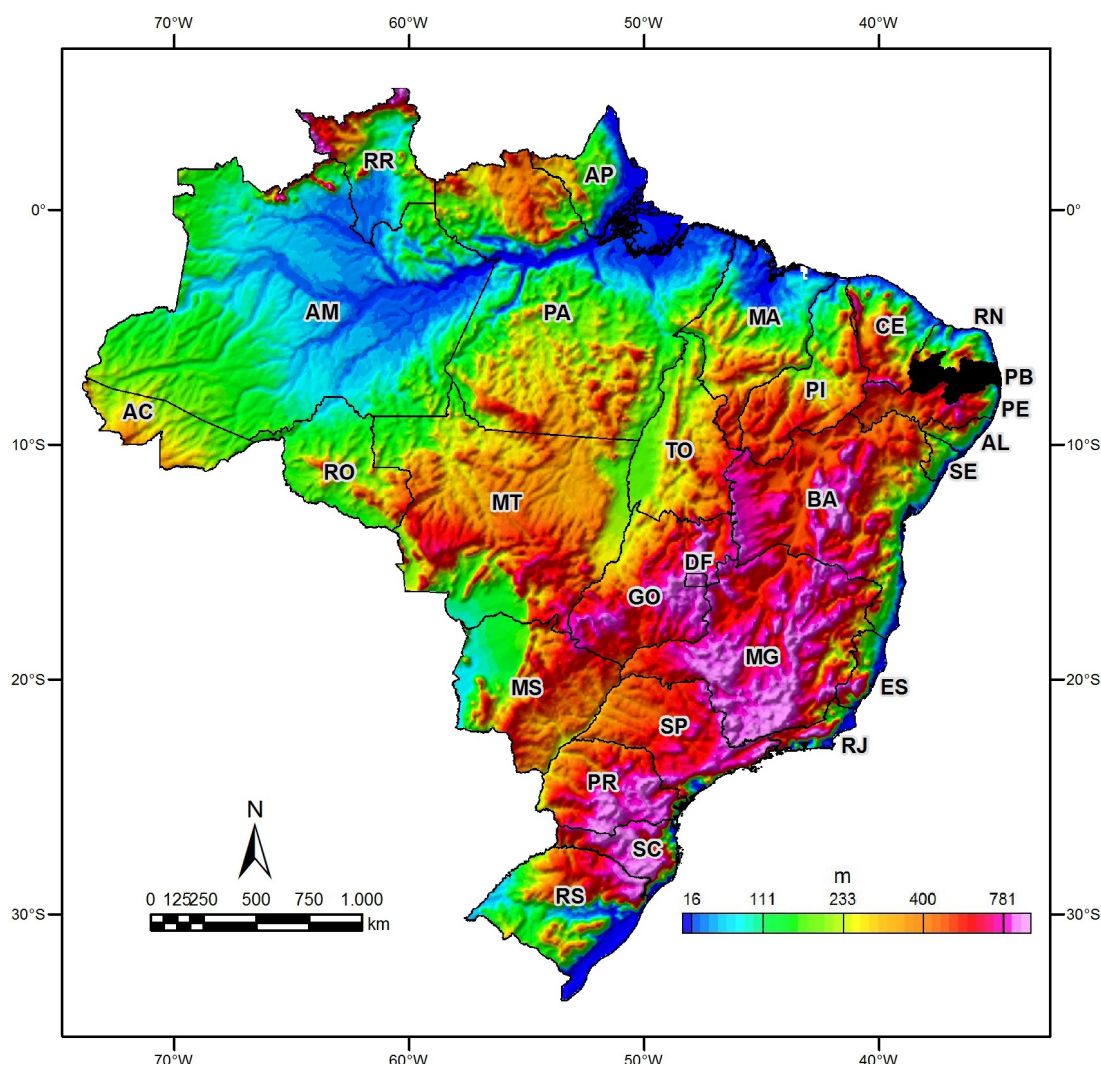


Figura 3 - Localização geográfica do estado da Paraíba. Dados topográficos do GLOBE DEM do projeto *Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE)* (Hastings et al., 1999).

os contrafortes e topo do Planalto de Princesa ao sul, divisa com Pernambuco; e na área a oeste, com o Ceará.

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado (Figura 4), constituindo-se por formas de relevo diversificadas, trabalhadas por diferentes processos, atuando sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas como: caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (PARAÍBA, 2006).

Em função da baixa pluviosidade predominam, na hidrografia, os rios intermitentes. Entre os rios perenes, destacam-se os rios Piancó e Piranhas, no semiárido, e os rios Paraíba e Mamanguape, que correm do Planalto da Borborema para o litoral do estado. Com o objetivo de mitigar os efeitos das estações de seca, muitos açudes e barragens foram construídos ao longo do território, sendo o Açude Coremas, na cidade homônima, o principal (Fonte: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-infraestrutura-dos-recursos-hidricos-e-do-meio-ambiente/>, acessado em: janeiro de 2019).

CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS

O substrato geológico paraibano é formado predominantemente por rochas pré-cambrianas (Figura 5), as quais

ocupam mais de 80% do seu território, sendo complementado por bacias sedimentares, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (Santos et al., 2002). A área precambriana engloba tratos da Província Borborema (Almeida et al., 1977), um cinturão orogênico meso/neoproterozóico que se estende por grande parte do Nordeste, desde Sergipe até a parte oriental do Piauí. Modelos de compartimentação tectônica foram elaborados por diversos autores (Brito Neves, 1975; Santos & Brito Neves, 1984; Jardim de Sá, 1994), reconhecendo-se uma complexidade estratigráfica e geocronológica, que levou a maioria a conceber uma longa história precambriana.

No estado da Paraíba são reconhecidos diversos domínios tectônicos (Figura 5): Rio Capibaribe (RC), Alto Moxotó (AM), Alto Pajeú (AP), São José do Campestre (SJC) e Rio Piranhas - Seridó (RP - SE). Os padrões aeromagnéticos suportam esta compartimentação crustal e salientam a importância do Lineamento Patos (Oliveira, 2008; Oliveira & Medeiros, 2018), que praticamente divide o estado em dois grandes domínios: um ao norte e outro ao sul. Ensaios de interpretação de diversos sensores geofísicos da crosta da Província Borborema (Oliveira, 2008; Oliveira & Medeiros, 2018) demonstram que a crosta do domínio norte é densa e magnética, sugerindo a existência de um amplo assoalho crustal inferior/embasamento. Ao contrário, ao sul predomina uma crosta leve, menos densa e magnética, sugerindo uma predominância de rochas supracrustais e granitos, com restritas exposições de embasamento.

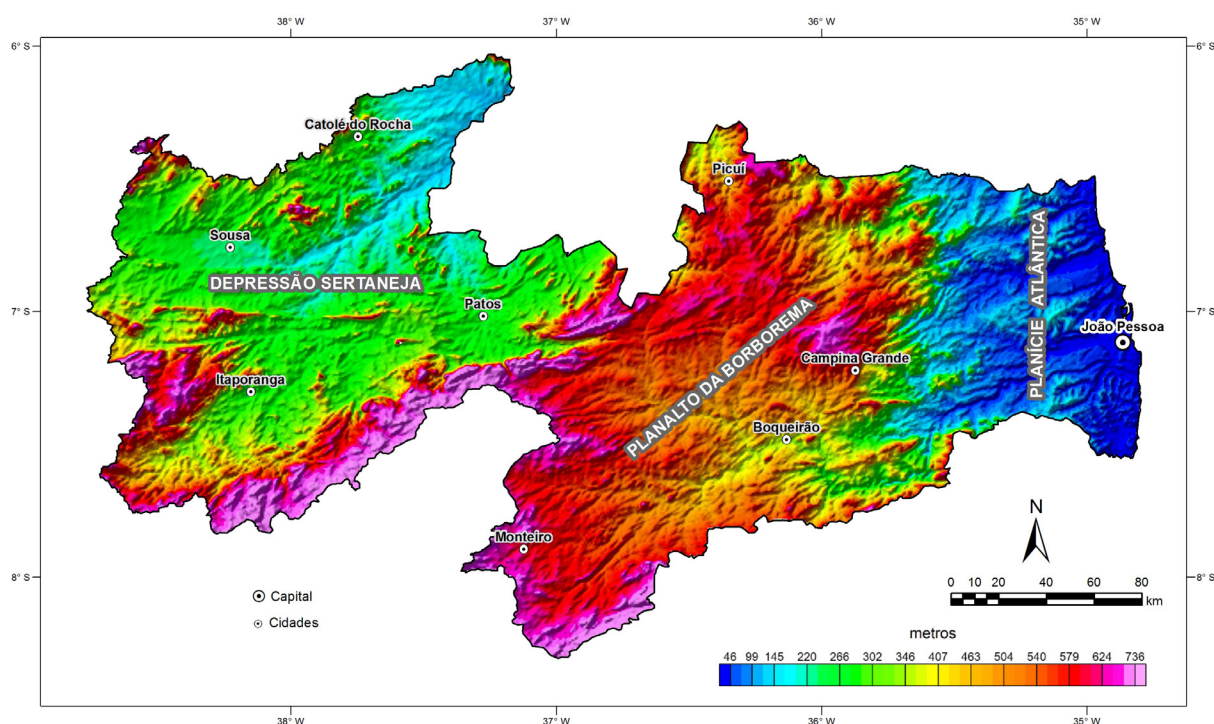


Figura 4 - Topografia do estado da Paraíba (SRTM- Shuttle Radar Topography Mission - NASA) com indicação dos principais domínios geomorfológicos.

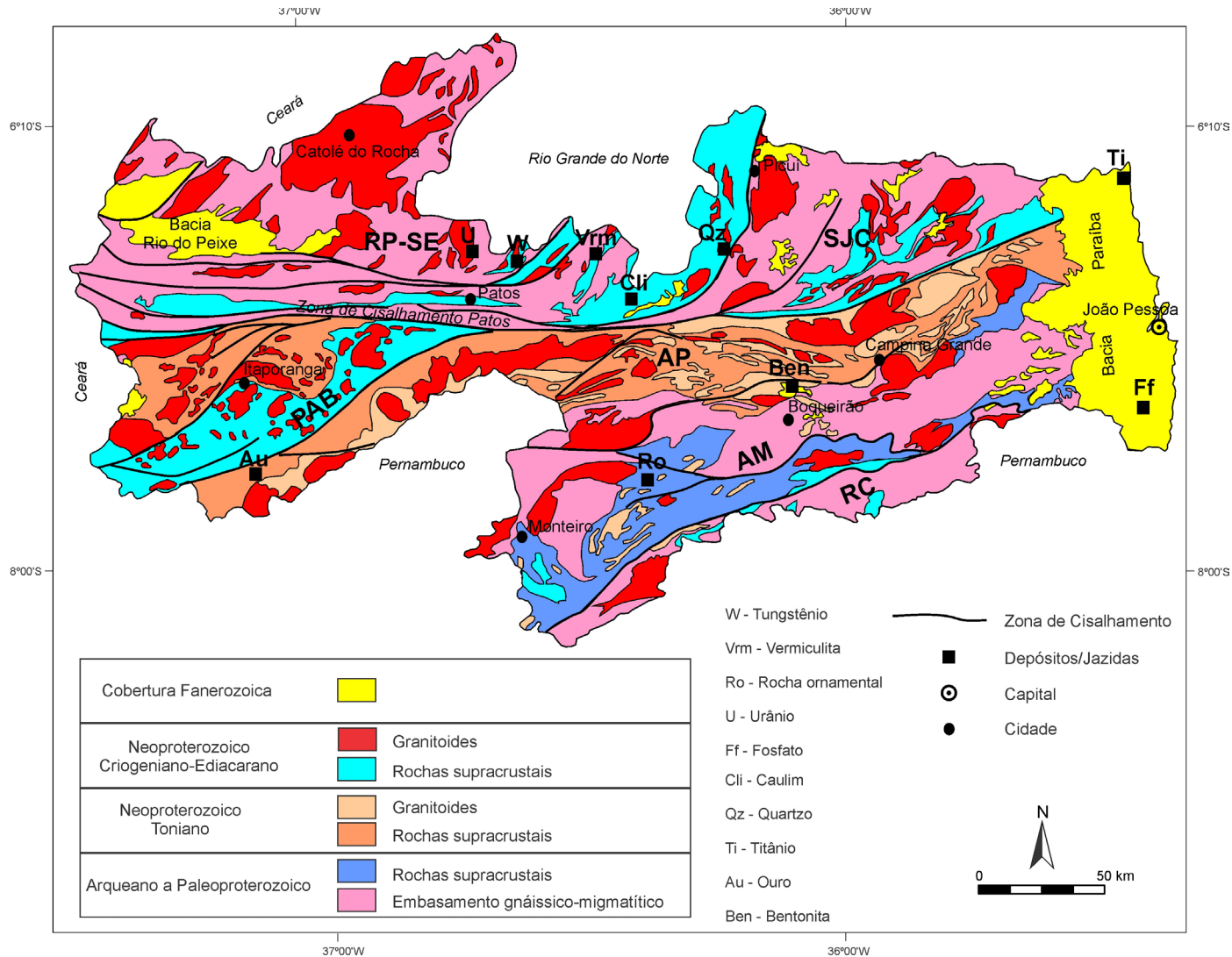


Figura 5 - Geologia simplificada do estado da Paraíba (SANTOS, FERREIRA E SILVA JÚNIOR, 2002, p. 43, modificada), com localização das principais jazidas/depósitos minerais. Domínios Tectônicos: AM – Alto Moxotó, RC – Rio Capibaribe, AP – Alto Pajeú, PAB – Piancó – Alto Brígida, SJC – São José do Campestre, RP-SE – Rio Piranhas – Seridó.

Dentre as zonas de cisalhamentos observadas na Figura 5, destaca-se a Zona de Cisalhamento Patos, uma importante estrutura crustal dúctil, com direção aproximada W-E, formada por um feixe de zonas de cisalhamento com extensão superior a 900 km, a qual apresenta continuidade no continente africano.

Segundo Santos et al. (2002), o domínio a norte da Zona de Cisalhamento Patos é constituído por rochas que apresentam idades arqueanas, paleoproterozoicas e neoproterozoicas que formam blocos crustais afetados pelo evento tectono-metamórfico do Brasiliano (0,65Ga-0,95Ga). O domínio a sul da Zona de Cisalhamento Patos é composto por domínios configurados em um padrão conhecido como “megaestrutura em dominó”, na qual os limites entre estes são representados por zonas de cisalhamento nucleadas no evento Brasiliano (0,65Ga-0,95Ga) ou originadas por retrabalhamento de zonas de cisalhamento de contração do evento Cariris Velhos (1,1Ga-0,95Ga). De oeste para leste ocorrem a Faixa Piancó-Alto Brígida e os domínios Alto Pajeú (AP), Alto Moxotó (AM) e Rio Capibaribe (RC).

Segundo Santos et al. (2002), os minerais industriais ou não metálicos representam os principais recursos minerais do estado da Paraíba, com destaque especial para a produção de bentonita, ilmenita e calcário, além das reservas de granito ornamental e vermiculita. Seguido destes, ocorrem minerais metálicos sobressaindo-se a produção de tantalita-columbita, scheelita, barita e estanho, dentre outros. Todos esses minerais (industriais e metálicos) provêm de regiões geológicas favoráveis, que ocorrem na porção paraibana da Província da Borborema.

Com relação aos metais nobres, Santos et al. (2002) cadastraram 28 depósitos e garimpos de ouro, os quais são principalmente do tipo veio de quartzo-ouro-sulfeto (tipo lode gold), controlados por zonas de cisalhamento e granitos brasileiros. Considerando-se o padrão tectono-estratigráfico, podem-se distinguir três faixas auríferas na Paraíba: Seridó, Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú. Na Faixa Seridó a área-tipo é a dos garimpos do distrito de Itajubatiba, onde a

mineralização é *strata-bound* associada a uma seqüência de rochas calcissilicáticas, mármore, actinolita-tremolita xistos, formações ferríferas, granada-anfibólio quartzitos. A Faixa Piancó-Alto Brígida é a mais importante faixa aurífera da Província Borborema, incluindo os campos mineralizados de Boqueirão dos Cochos, Cachoeira de Minas e outras ocorrências dispersas. O distrito aurífero de Cachoeira de Minas compreende filões de quartzo-ouro-sulfetos encaixados em metavulcânicas e metassedimentos. O distrito aurífero de Itapetim, no Domínio Alto Pajeú inclui vários pequenos depósitos encaixados em uma seqüência metavulcano-sedimentar do Complexo São Caetano, os quais são controlados por uma zona de cisalhamento.

Entre as substâncias metálicas, Santos et al. (2002) destacaram a ocorrência de titânio e zircônio em *placers* ricos em ilmenita e zirconita no litoral norte do estado. O tungstênio ocorre em mineralizações de scheelita em *skarns* associados a mármore e, menos comumente, a metamáficas.

Santos et al. (2002) reportaram indícios de terras raras encontrados no depósito uranífero de Espinharas. O depósito uranífero de Espinharas e várias ocorrências de U da Paraíba estão associados a um evento de geração de aplogranitos e albitos metassomáticos associados, provavelmente de idade paleoproterozoica a e mesoproterozoica.

As minas de bentonita estão relacionadas às rochas vulcanoclásticas e basaltos cenozoicos nas regiões de Boa Vista e Cubati. Segundo Caldasso (1965), os depósitos de bentonita são formados essencialmente por camadas com mais ou menos 10 m de espessura de argilas de cores verde, roxa e creme, com nível de pequena espessura de arenitos finos.

Depósitos de fosforita ocorrem na faixa litorânea. De acordo com Fonseca Neto (1979), a camada fosfática da base da Formação Gramame foi depositada em ambiente de plataforma continental interna e muito rasa, próximo a interface marinha/continental, com aporte de terrígenos grosseiros e finos argilosos ou sílticos, na base.

MATERIAIS E MÉTODOS

DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados aerogeofísicos do estado da Paraíba foram levantados em dois projetos:

i) Borda Leste do Planalto da Borborema (CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2008)

ii) Pernambuco - Paraíba / Paraíba - Rio Grande do Norte (CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2010).

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 cézio 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.

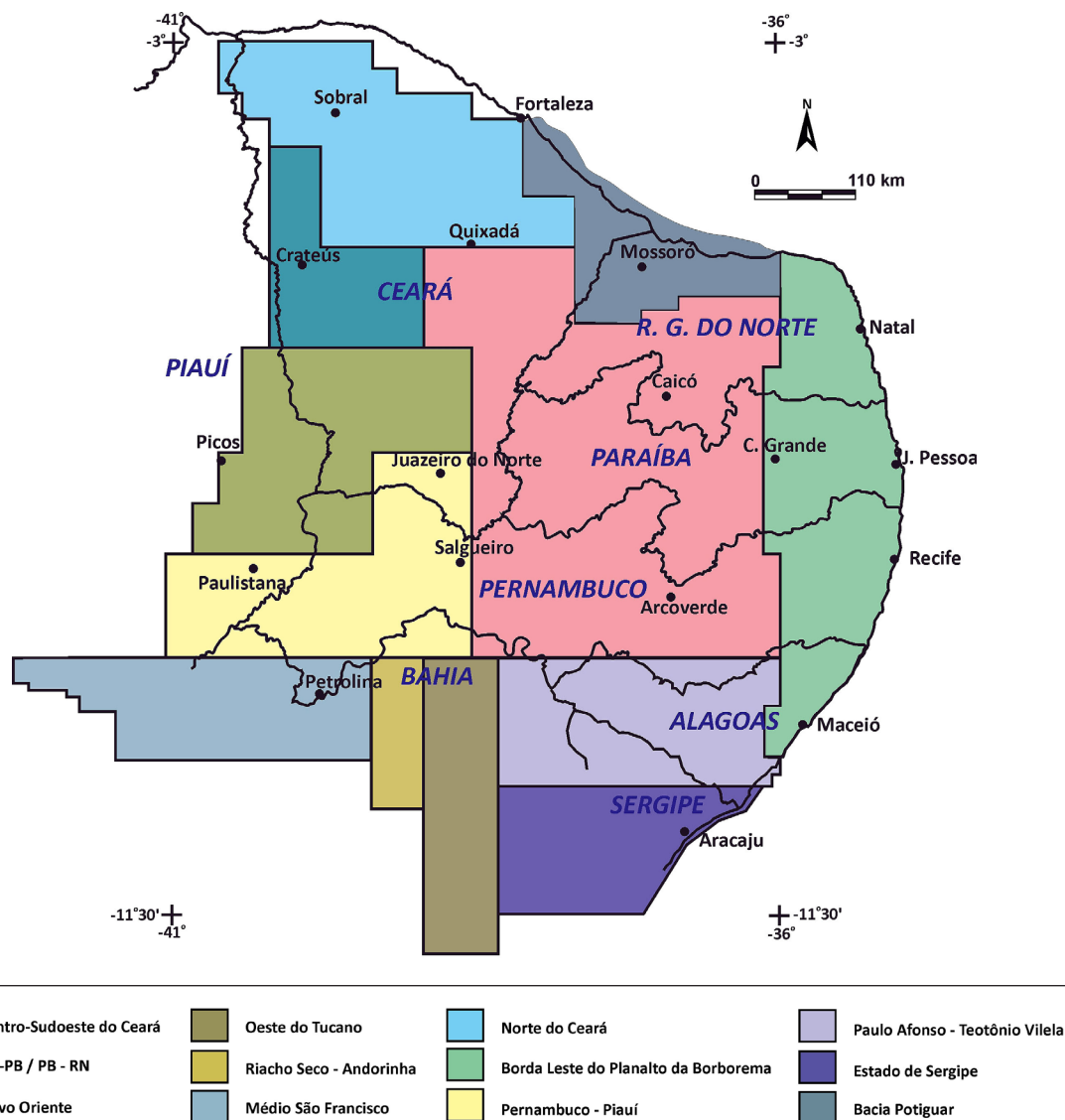


Figura 6 - Localização dos levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) realizados na Região do Nordeste Oriental do Brasil entre 1987 e 2010.



Fotografia 1 - Avião equipado com magnetômetro do tipo vapor de césio 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 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

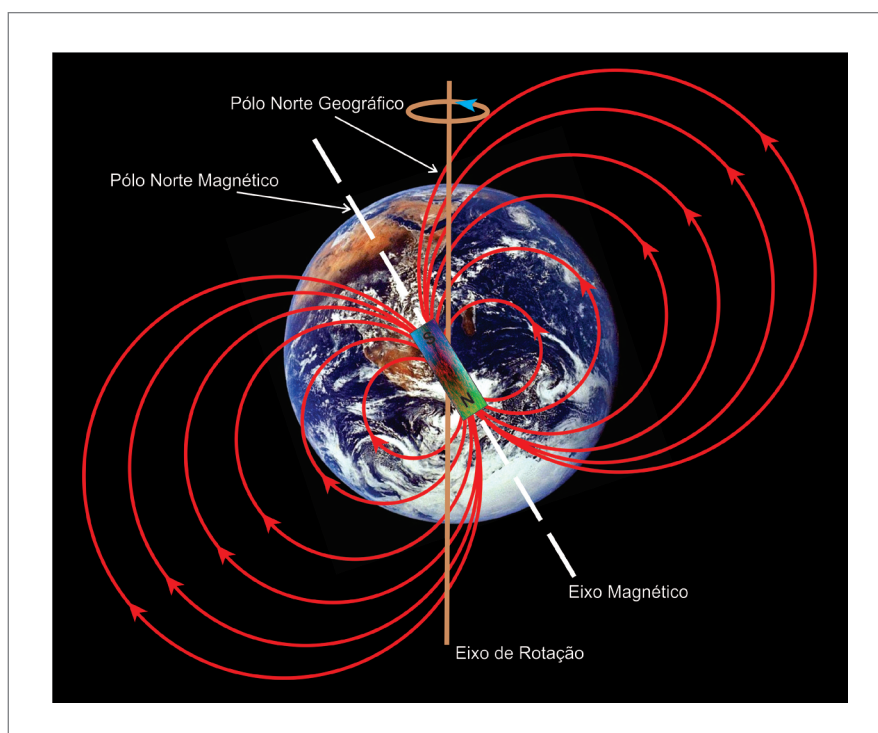


Figura 7 - Representação esquemática do Campo Magnético da Terra. Ele pode ser comparado com um grande ímã cuja direção forma um ângulo agudo com o eixo de rotação.

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).

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 da Paraíba, o levantamento completo com dados aerogeofísicos necessitou a execução de dois diferentes projetos (Figura 6). Portanto, uma das tarefas mais importantes deste projeto foi juntar os dados magnetométricos e gamaespectrométricos 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 filtrações dos dados aeromagnetométricos foram efetuados por meio do *MAGMAP filtering*. Esse sistema é constituído por um grupo programas que aplicam filtrações 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 filtração 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 filtração 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 & Rankin (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.

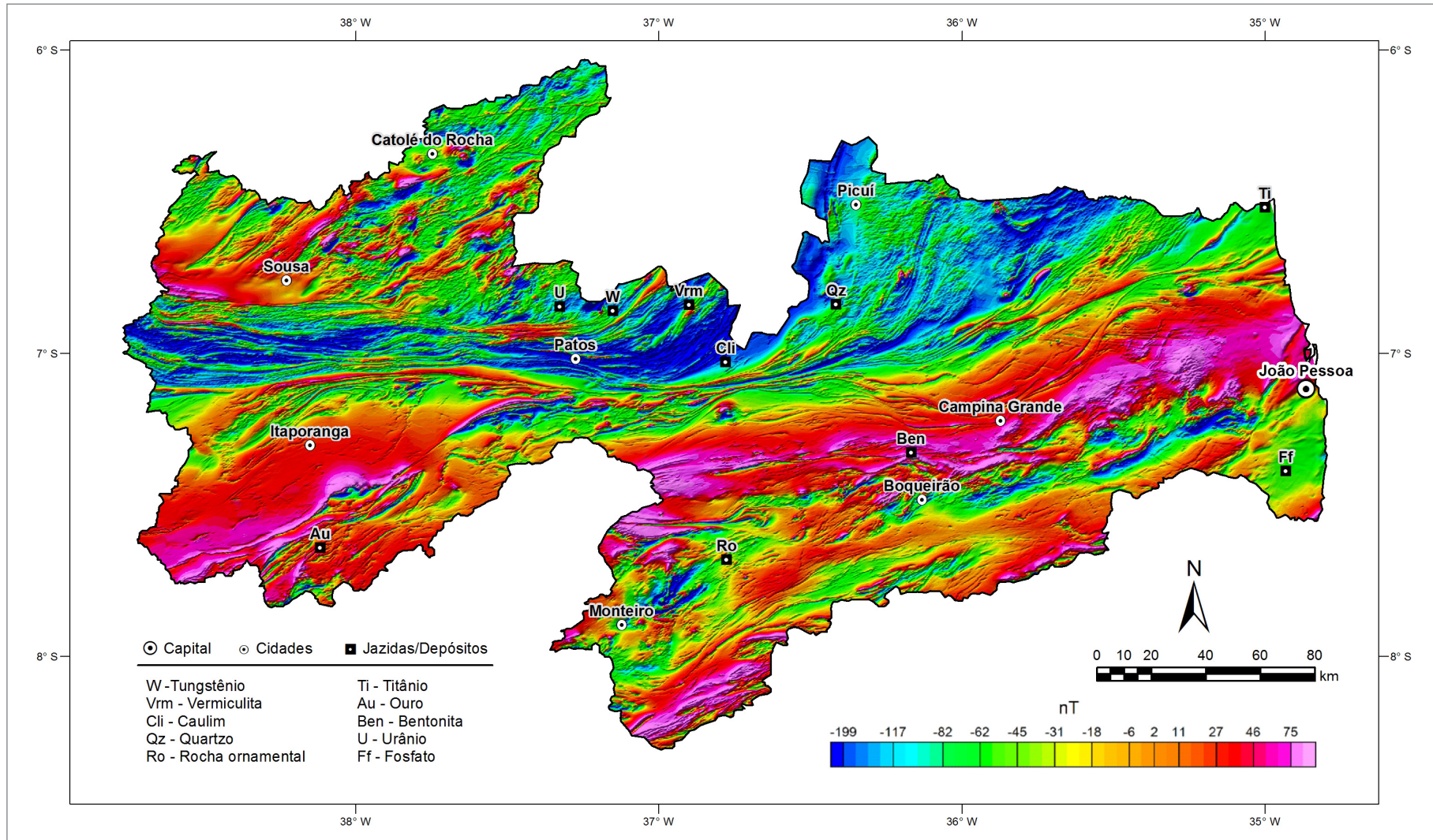
▶ ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS

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 da Paraíba, 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 & Rankin (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



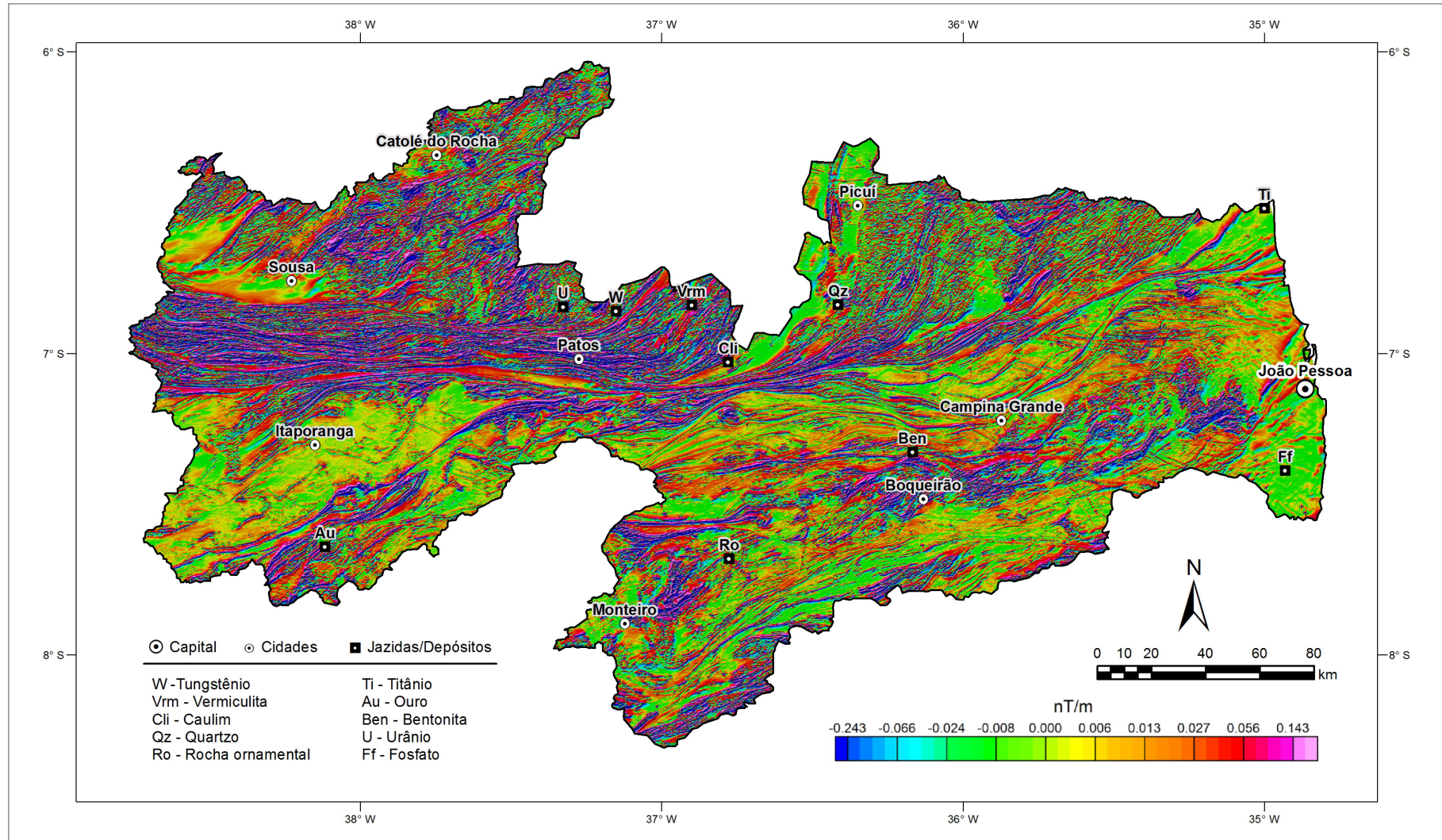
► 1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

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



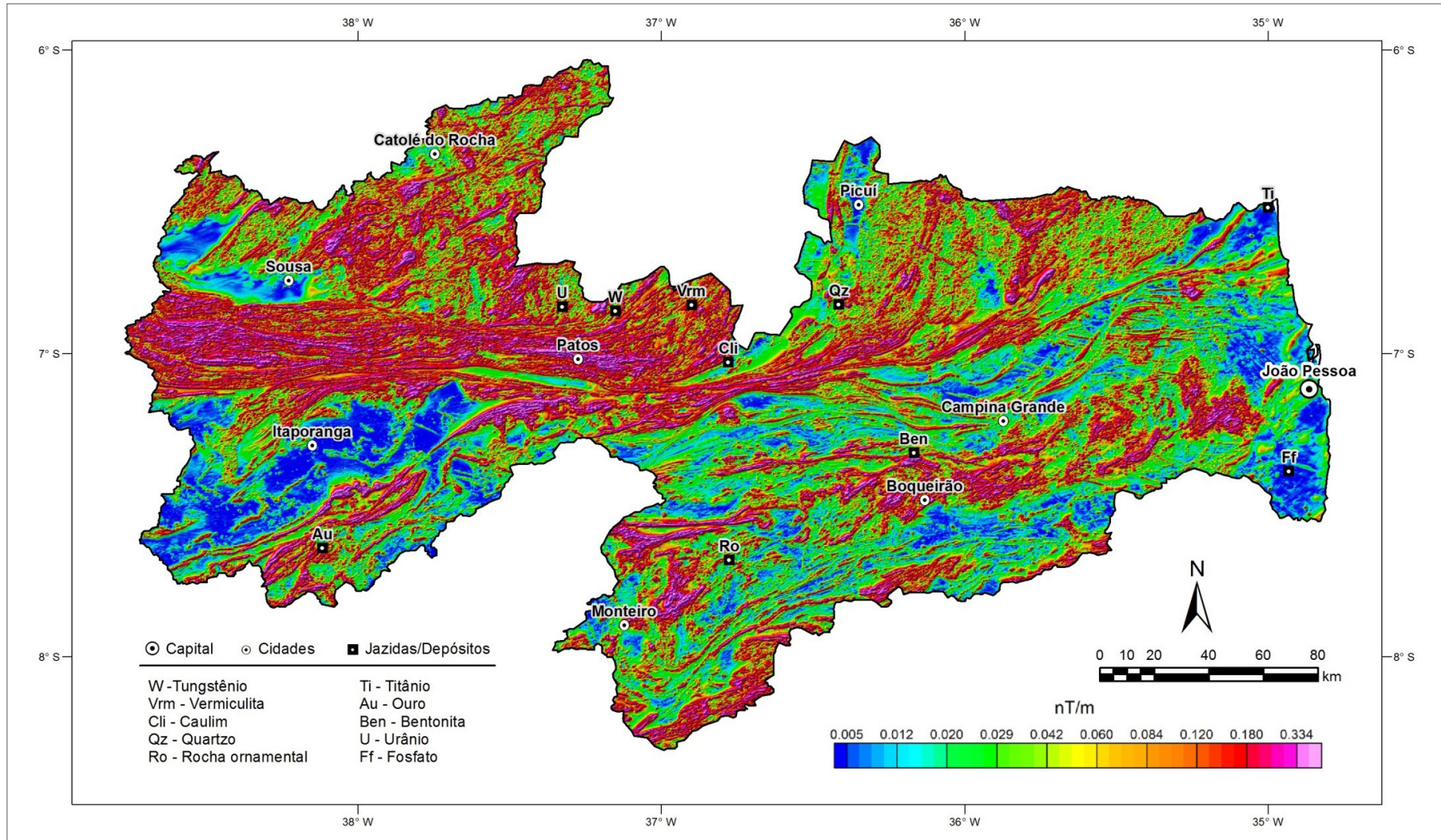
▶ GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

ANTERIORMENTE DENOMINADO Amplitude do Sinal Analítico (MacLeod et al., 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

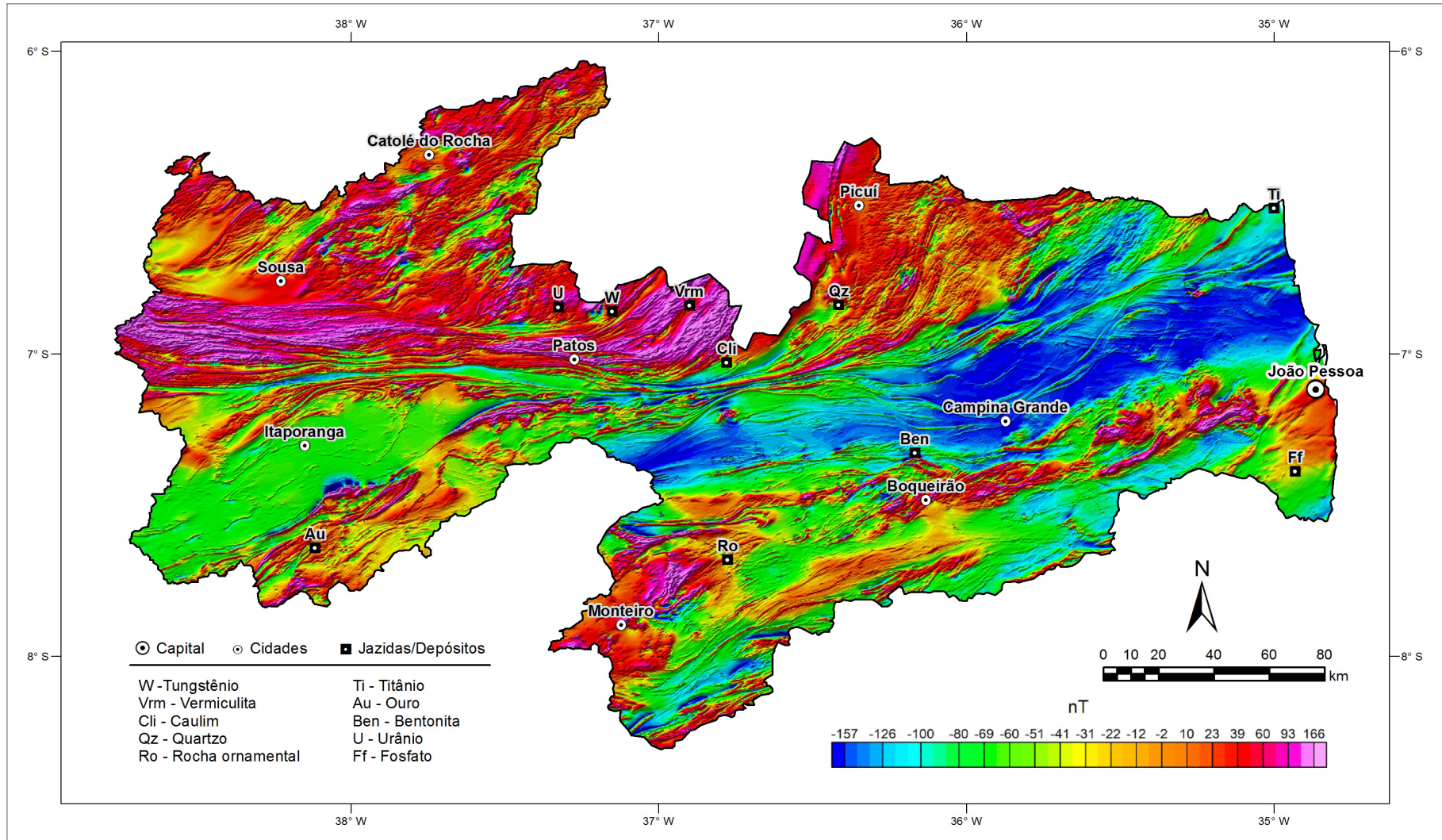
A REDUÇÃO AO POLO é uma transformação que produz uma nova versão dos dados de anomalias magnetométricas. Ela é utilizada para centralizar os picos das anomalias sobre suas fontes, sem perder significado geofísico, tornando os dados mais fáceis de serem interpretados. O seu operador matemático é expresso 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 (1959), 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 de até 10 km) e as mais rasas (profundidades médias do topo menores que 3,0 km) é 0,07 ciclos/km.

O operador gaussiano residual foi utilizado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais maiores que 0,07 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 0,07 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.

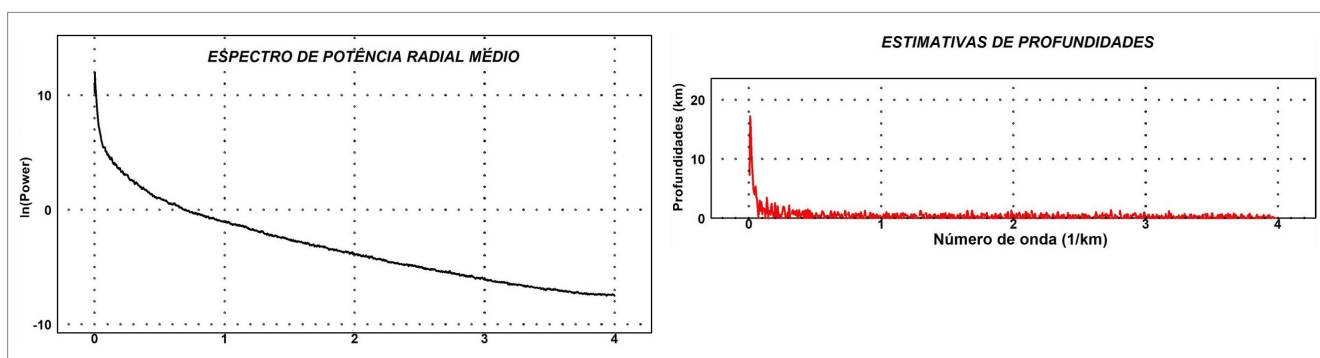
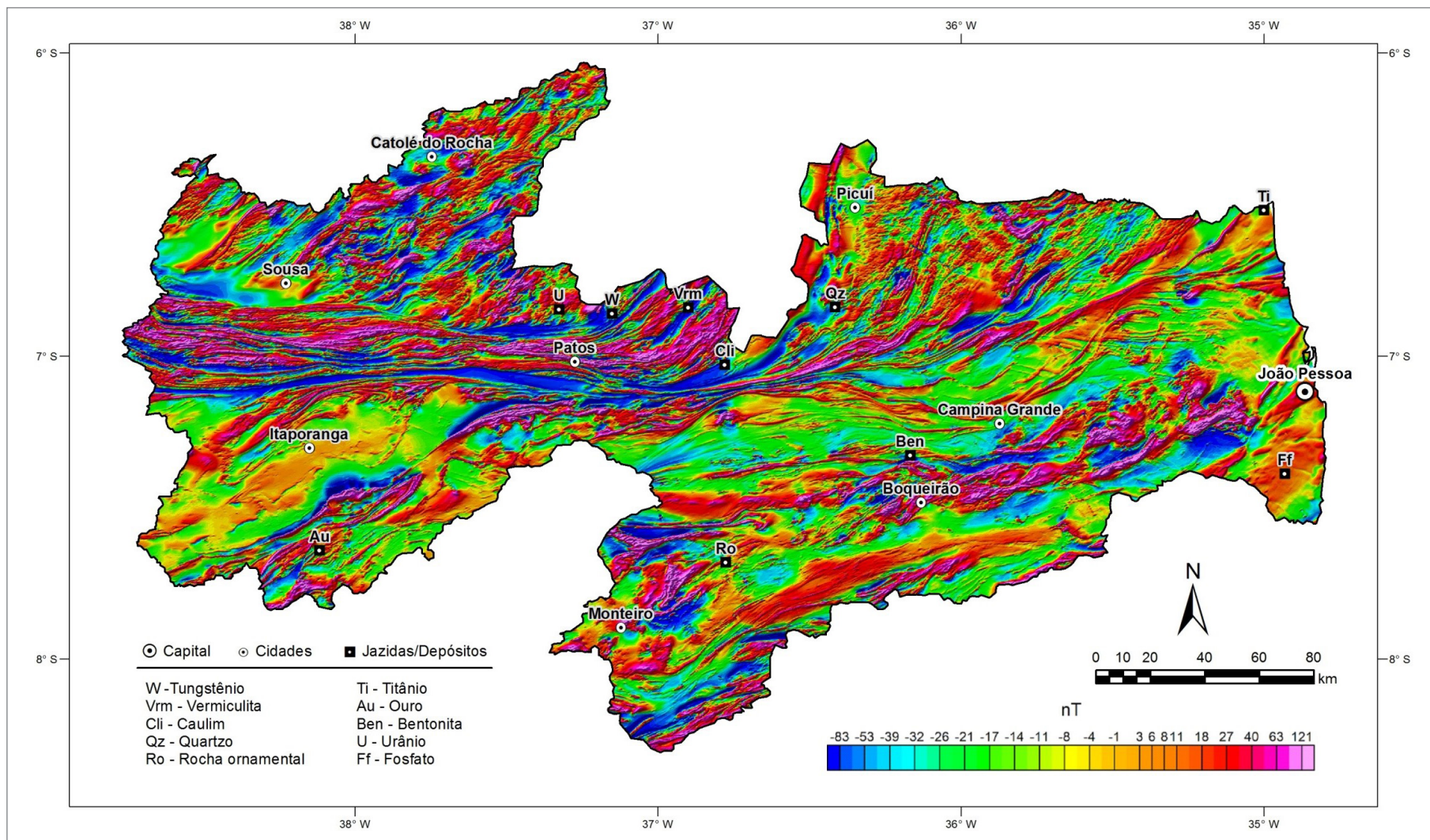
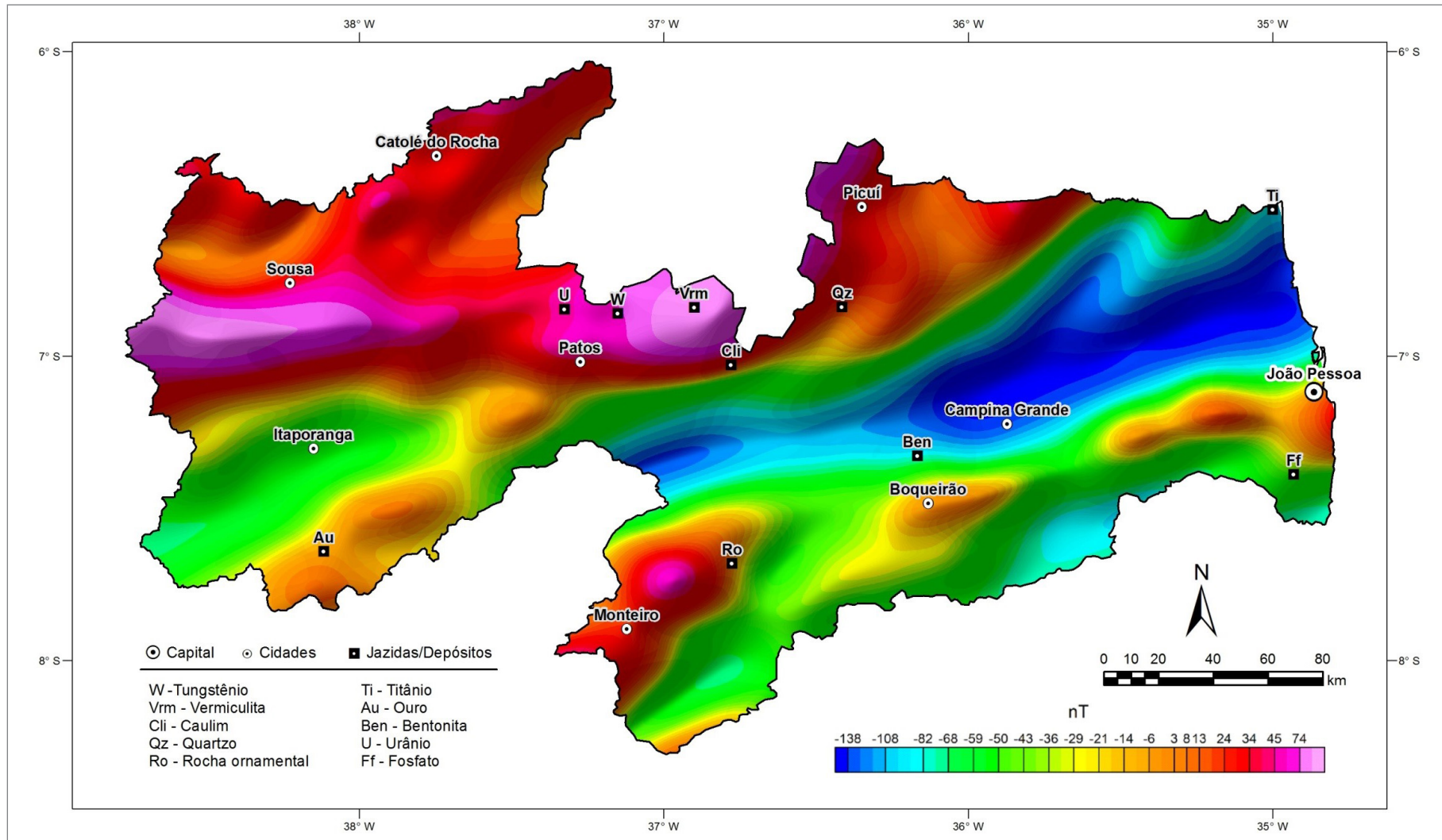


Figura 8 - Espectro de potência radial médio com estimativas de profundidades médias do topo das fontes magnéticas do estado da Paraíba. Este espectro foi empregado para separar fontes magnéticas rasas (componente residual) e fontes profundas (componente regional) por meio do filtro gaussiano de separação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

AS CARACTERÍSTICAS aeromagnéticas do estado da Paraíba estão descritas de acordo com cada domínio tectônico apresentado no mapa geológico simplificado da Figura 5.

A principal assinatura magnética do estado da Paraíba é o alinhamento associado com a extensa zona de cisalhamento que atravessa longitudinalmente o estado de leste a oeste, denominado Zona de Cisalhamento Patos. Percebe-se claramente que é uma estrutura importante, pois separa feições magnetométricas com diferentes padrões que correspondem à variações de domínios tectônicos e tipos litológicos.

O Domínio Alto Moxotó apresenta assinatura magnética caracterizada por relevo magnético muito movimentado com gradientes altos e alinhamentos com direções NE-SW dominantes. O padrão magnético regional deste terreno sugere a existência de um bloco de crosta profundo com contraste petrofísicos bem marcados em relação aos terrenos adjacentes. A análise individual das características magnéticas das unidades litológicas demonstrou que, apesar da existência de um padrão regional que uniformiza o terreno como um todo, internamente ocorrem diferenças importantes e padrões particulares. As fontes geofísicas estão associadas com núcleos de rochas arquenas-paleoproterozoicas e plutônicas meso-neoproterozoicas. Ao longo do subdomínio, sobretudo nos seus flancos, ocorrem eclogitos retrometamorfizados, cuja existência sugere que tenha ocorrido soerguimento de rochas ígneas máficas (basaltos ou gabros) que sofreram metamorfismo regional de alta pressão, possivelmente quando foram arrastados para o manto numa zona de subducção.

O Domínio Alto Pajeú possui uma crosta com baixa magnetização. Essa característica geofísica da crosta do Terreno Alto Pajeú nessa região produz um contraste expressivo em relação à assinatura magnética com expressão profunda do Terreno Alto Moxotó.

Com as mesmas características do Domínio Alto Pajeú, o Domínio Rio Capibaribe possui uma crosta com baixa magnetização e também, neste caso, observa-se um contraste significativo em relação à assinatura magnética com expressão profunda na crosta do Domínio Alto Moxotó. As assinaturas magnéticas mais expressivas do Domínio Rio Capibaribe estão associadas com blocos isolados de crosta paleoproterozoica.

O Domínio Piancó-Alto Brígida é constituído por um eixo de baixa magnetização que corresponde ao afloramento das rochas metassedimentares e às rochas plutônicas neoproterozoicas.

No Domínio São José do Campestre ocorrem assinaturas magnéticas lineares e elípticas, correlacionadas com anfíbolitos, rochas ultramáficas, leucogranitos contendo magnetita e formações ferríferas, além de agrupamentos de anomalias com grandes amplitudes (até 500 nT) orientadas na direção NE-SW associadas com intrusões graníticas e faixas de rochas metassedimentares eventualmente associadas com formações ferríferas e fortes alinhamentos magnéticos com direção E-W associados com a Zona de Cisalhamento Patos.

No Domínio Rio Piranhas-Serido, a região oeste apresenta padrão magnético muito movimentado com gradientes altos e anomalias semicirculares associados com gnaisses, migmatitos, granodioritos e tonalitos e fortes alinhamentos magnéticos com direção E-W associados com a Zona de Cisalhamento Patos. Ocorrem também anomalias lineares alongadas na direção NE-SW, causadas por zonas de cisalhamentos e corpos de anfíbolitos, gabros e rochas ultramáficas. Na região da Faixa Seridó os parâmetros de comprimentos de onda e amplitudes das anomalias indicam correlação com uma crosta superior contendo um volume grande de rochas magnéticas. No eixo da Faixa Seridó, as intrusões plutônicas apresentam magnetização elevada sugerindo uma forte correlação de origem com a crosta magnética na qual estão intrudidos. Padrões magnéticos mais suaves ocorrem onde os metassedimentos são muito espessos.

▶ 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.

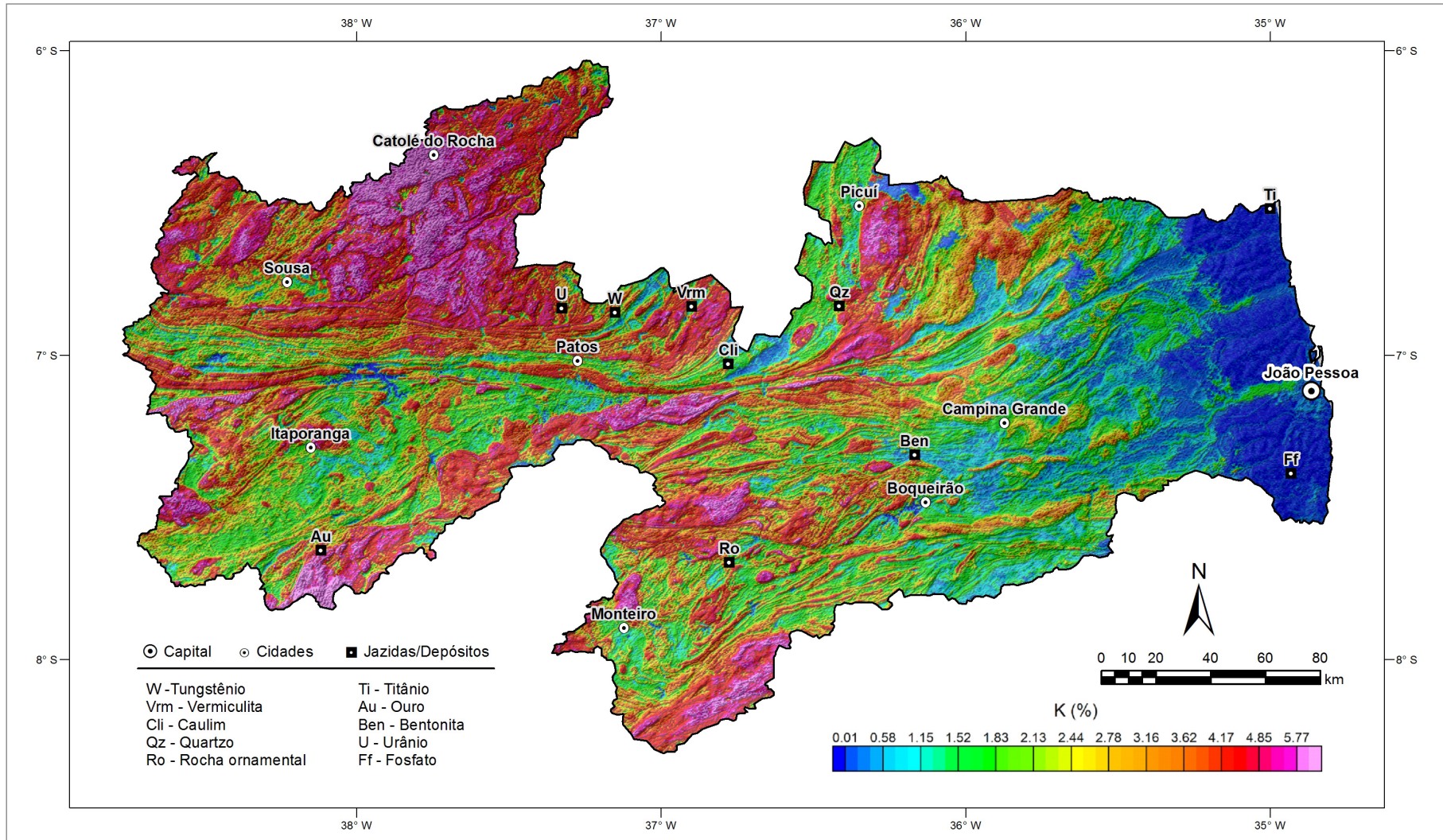
O potássio, o tório e o urânio aumentam nas rochas ácidas e diminuem nas rochas básicas. Entre eles, o tório tem o comportamento menos móvel, enquanto o urânio é o mais móvel. Comumente, o urânio quando liberado das rochas hospedeiras, tende a ser absorvido pelos minerais argilosos formados pelo intemperismo. 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 DA PARAÍBA 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 & Marmos, 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, 1997). 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 et al., 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

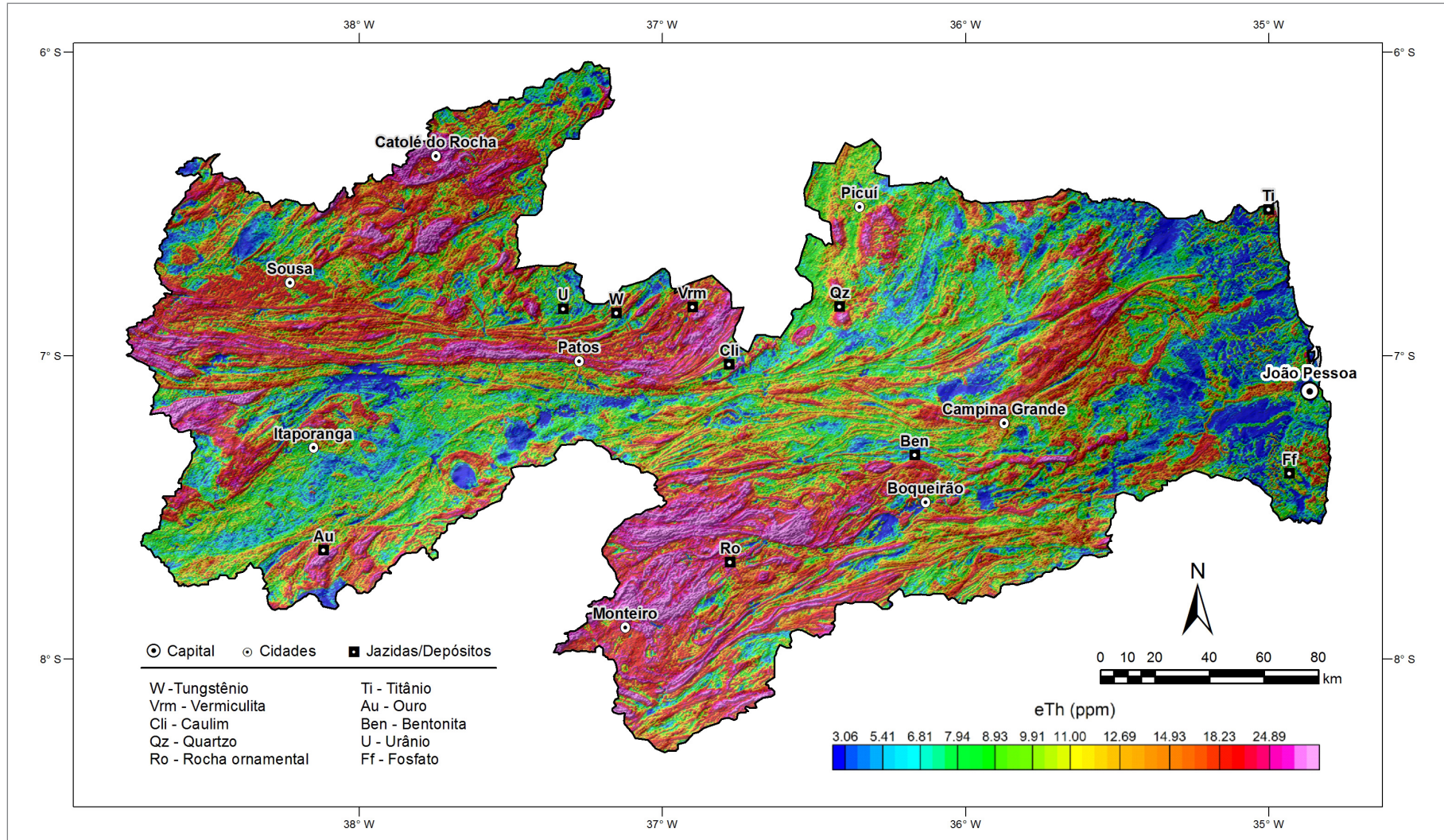


► EQUIVALENTE TÓRIO

NO ESTADO DA PARAÍBA 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, 1997). Minerais de minério: monazita $[(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}) \text{PO}_4]$, thorita, euxenita, sendo também encontrado em outros minerais, associado a ETR e urânio, bem como a esfalerita, 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 ^{230}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 et al., 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

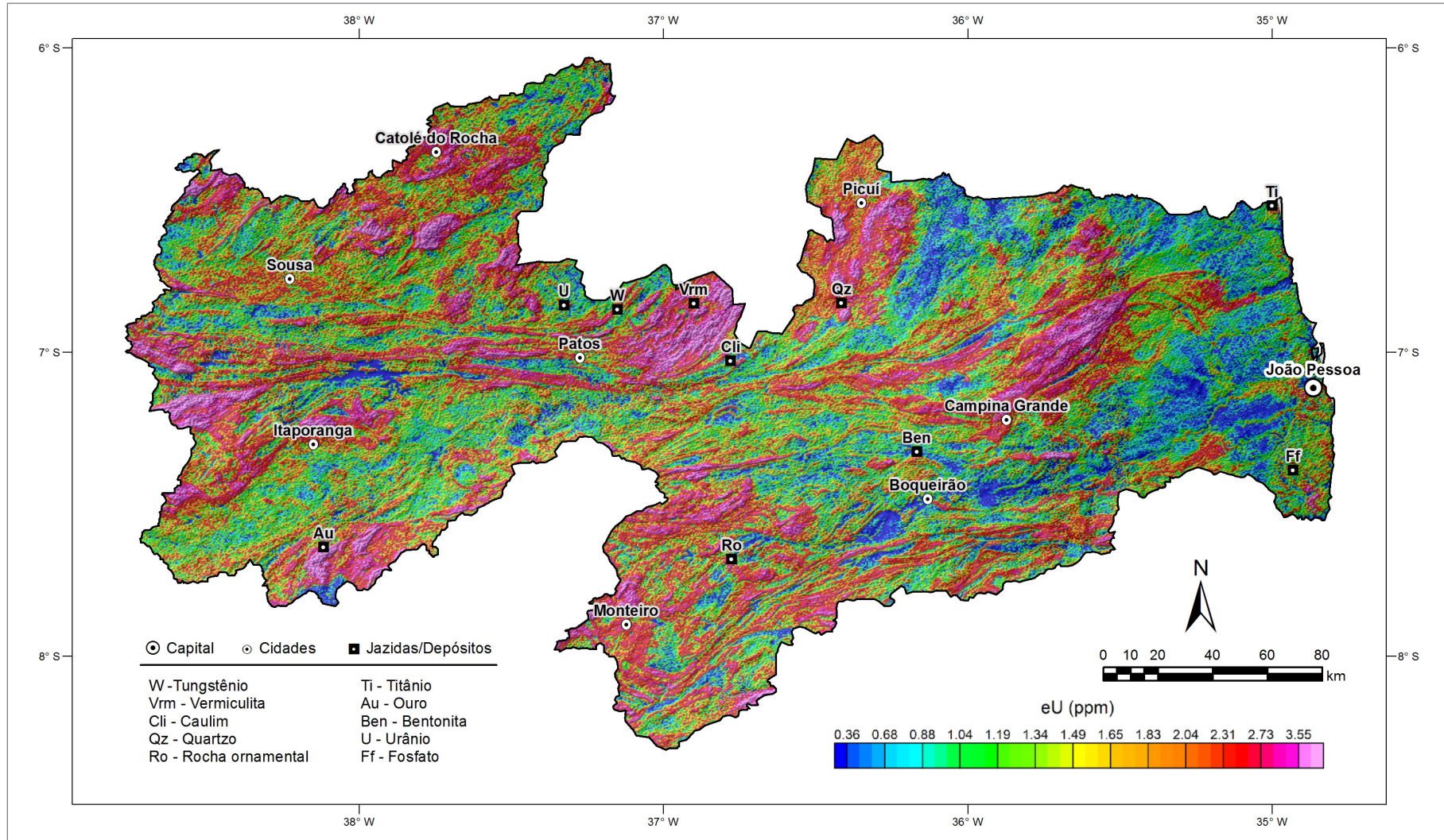


▶ EQUIVALENTE URÂNIO

NO ESTADO DA PARAÍBA 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, 1997). 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, 1997). 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 et. al., 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.

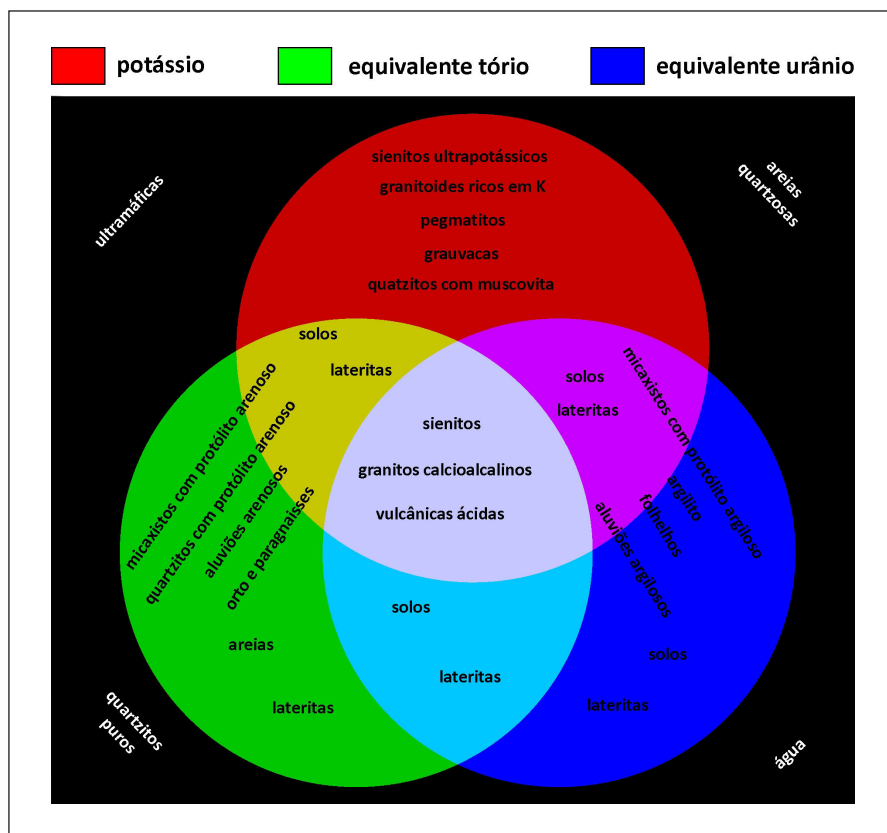
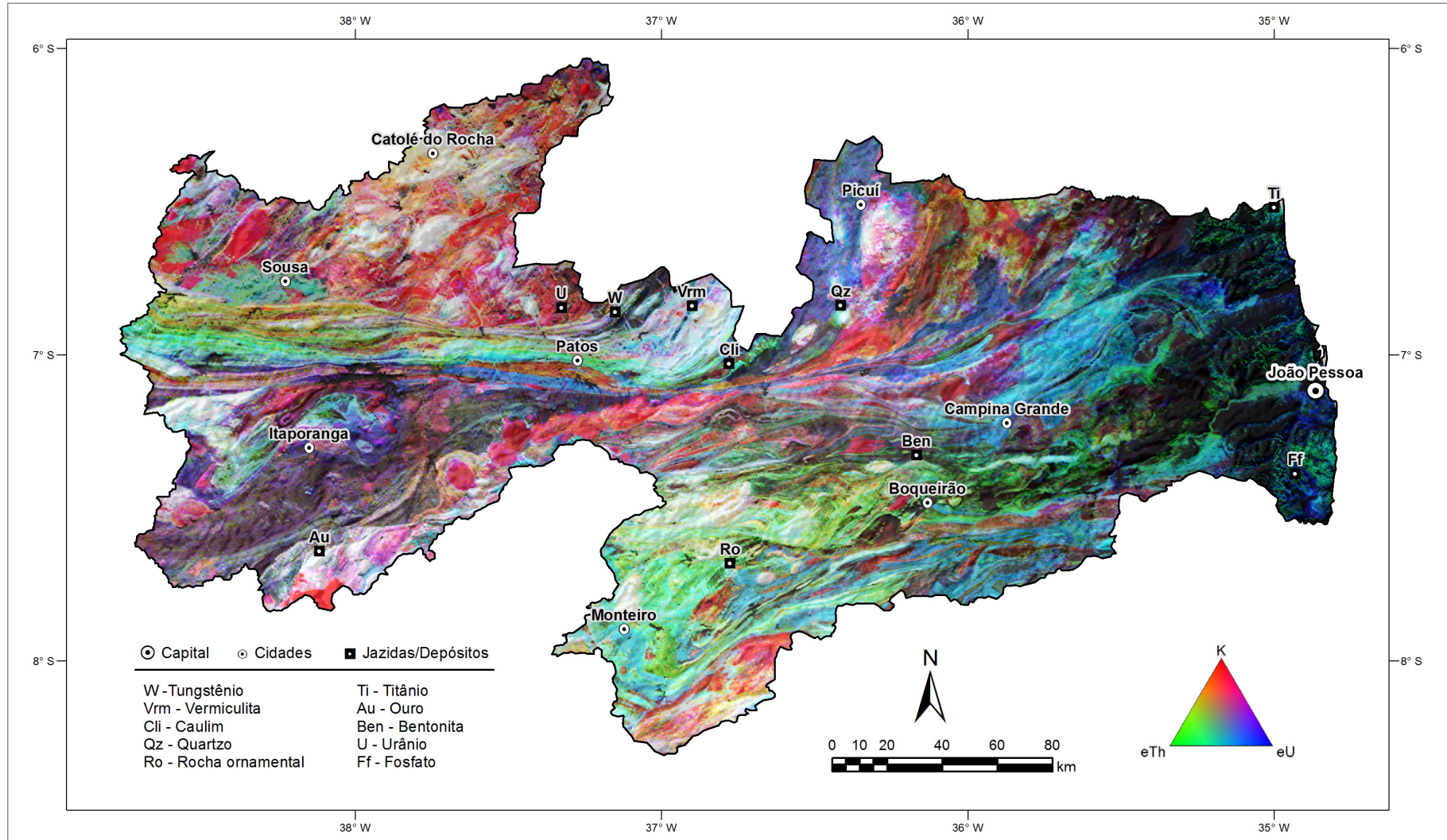


Figura 9 - Possibilidades de correlação entre tipos litológicos e tonalidades de cores em uma Composição Ternária RGB.

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:

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

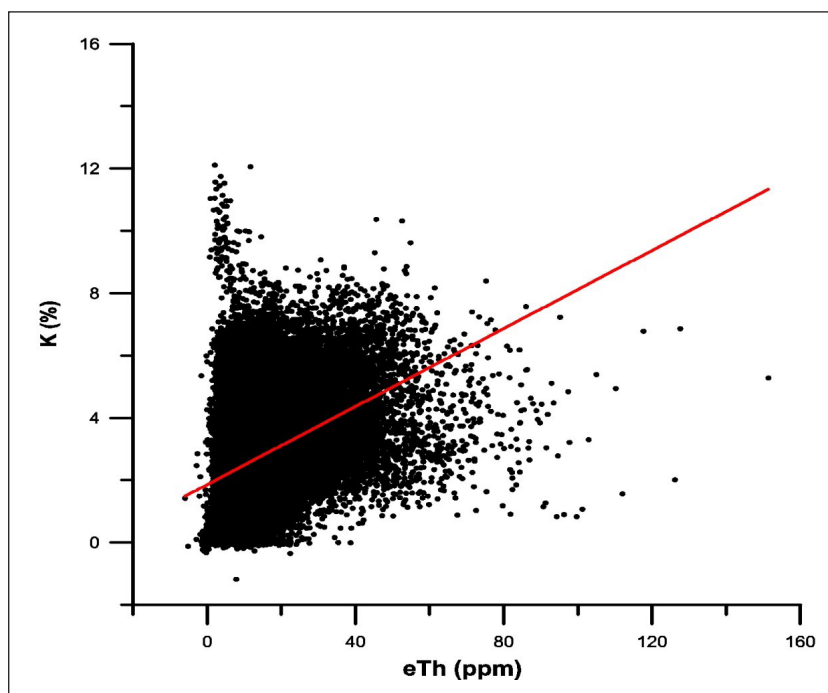
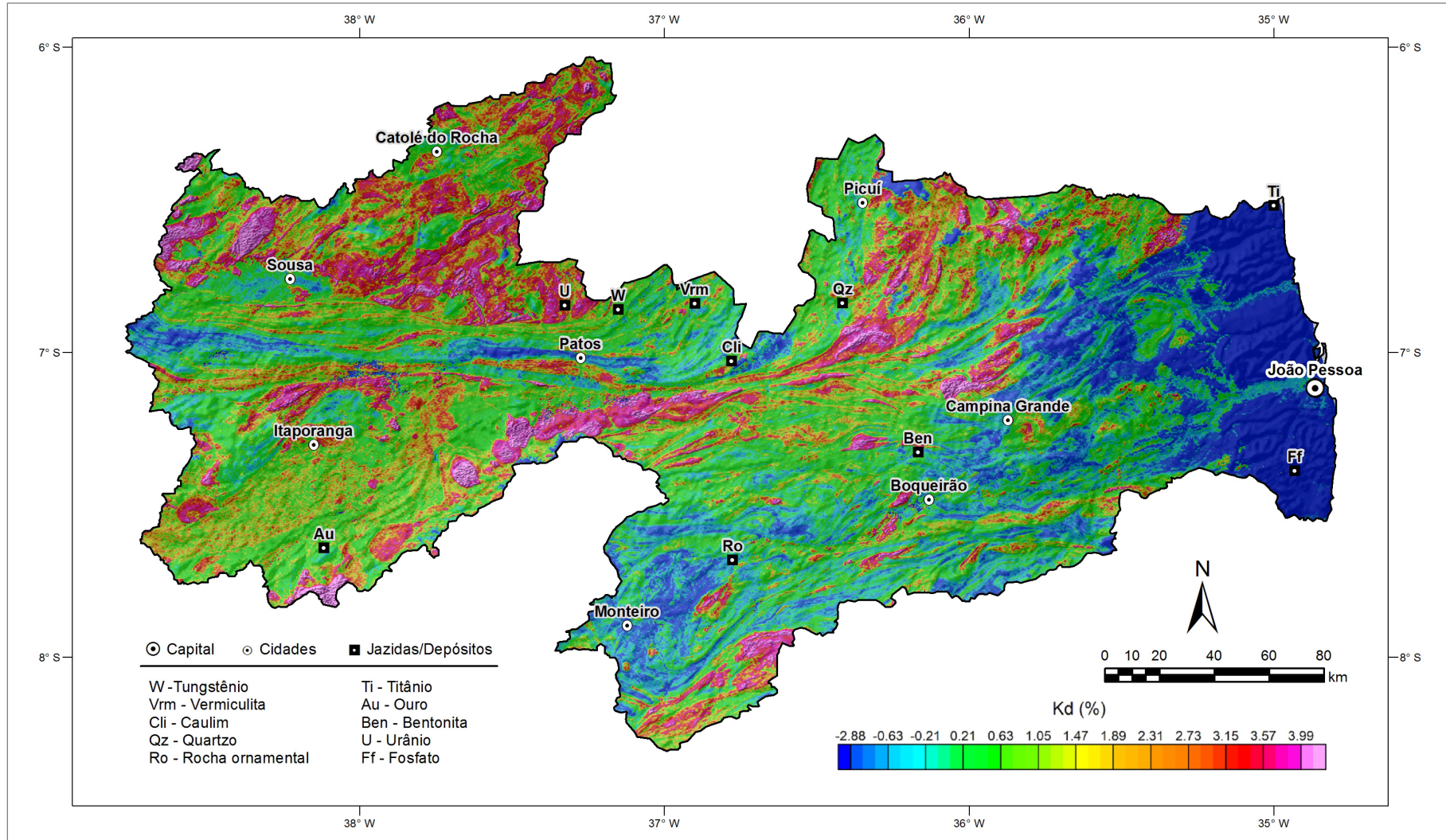


Figura 10 - Gráfico de correlação de K x eTh com reta que melhor se ajusta aos dados.

Potássio Anômalo



▶ URÂNIO ANÔMALO

DEPÓSITOS DE FOSFATO (P) 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:

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

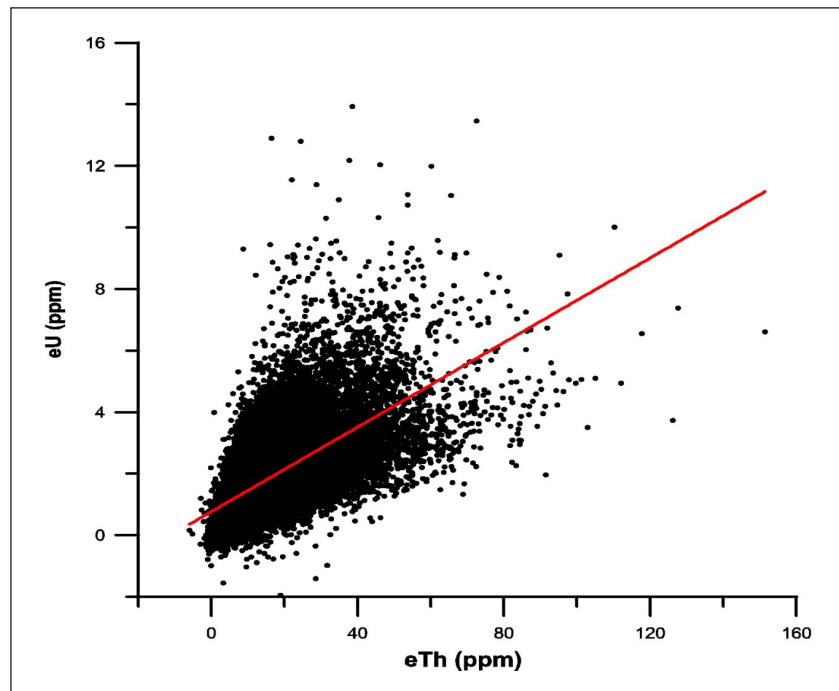
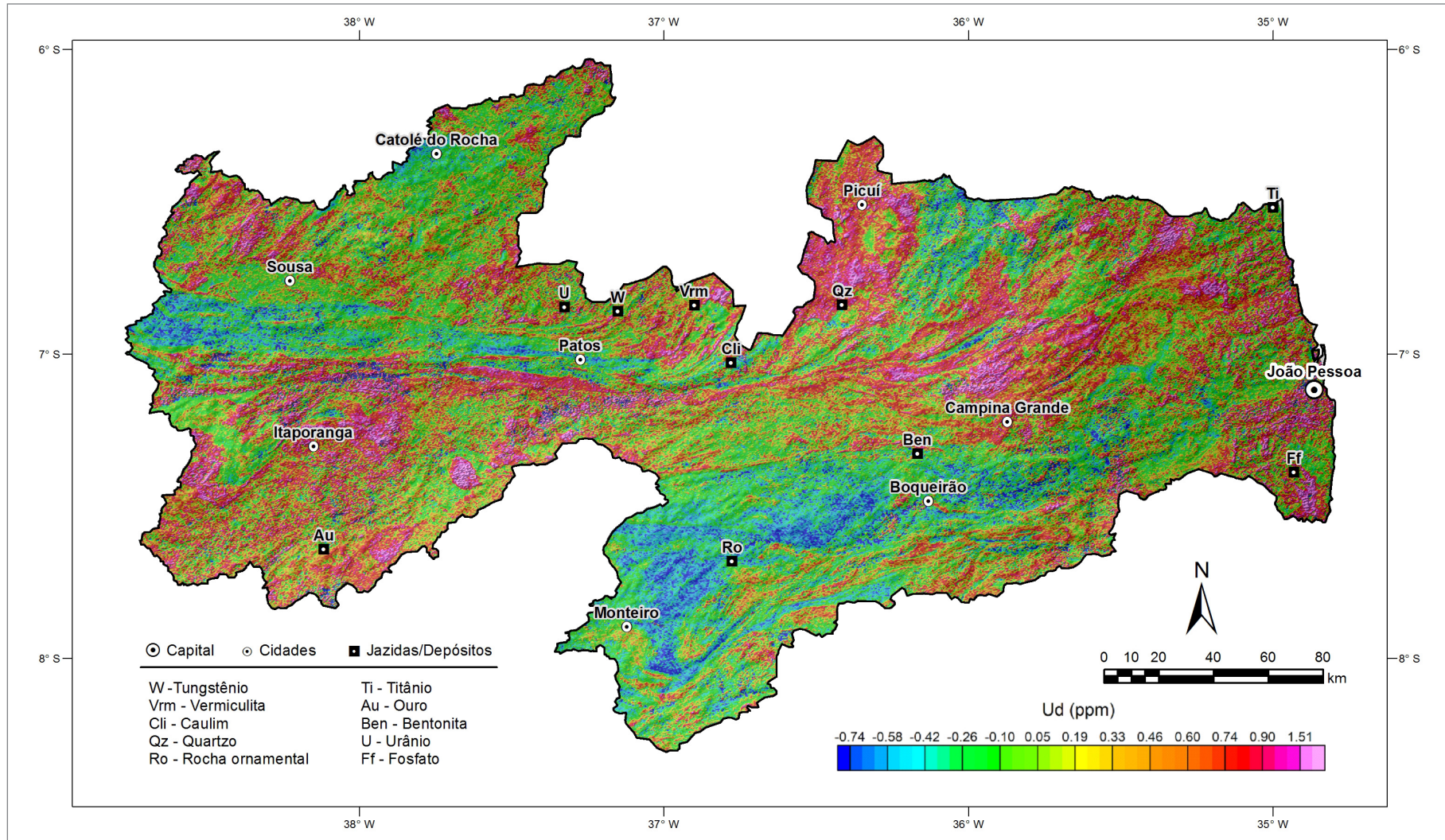


Figura 11 - Gráfico de correlação de eU x eTh com reta que melhor se ajusta aos dados.

Urânio Anômalo

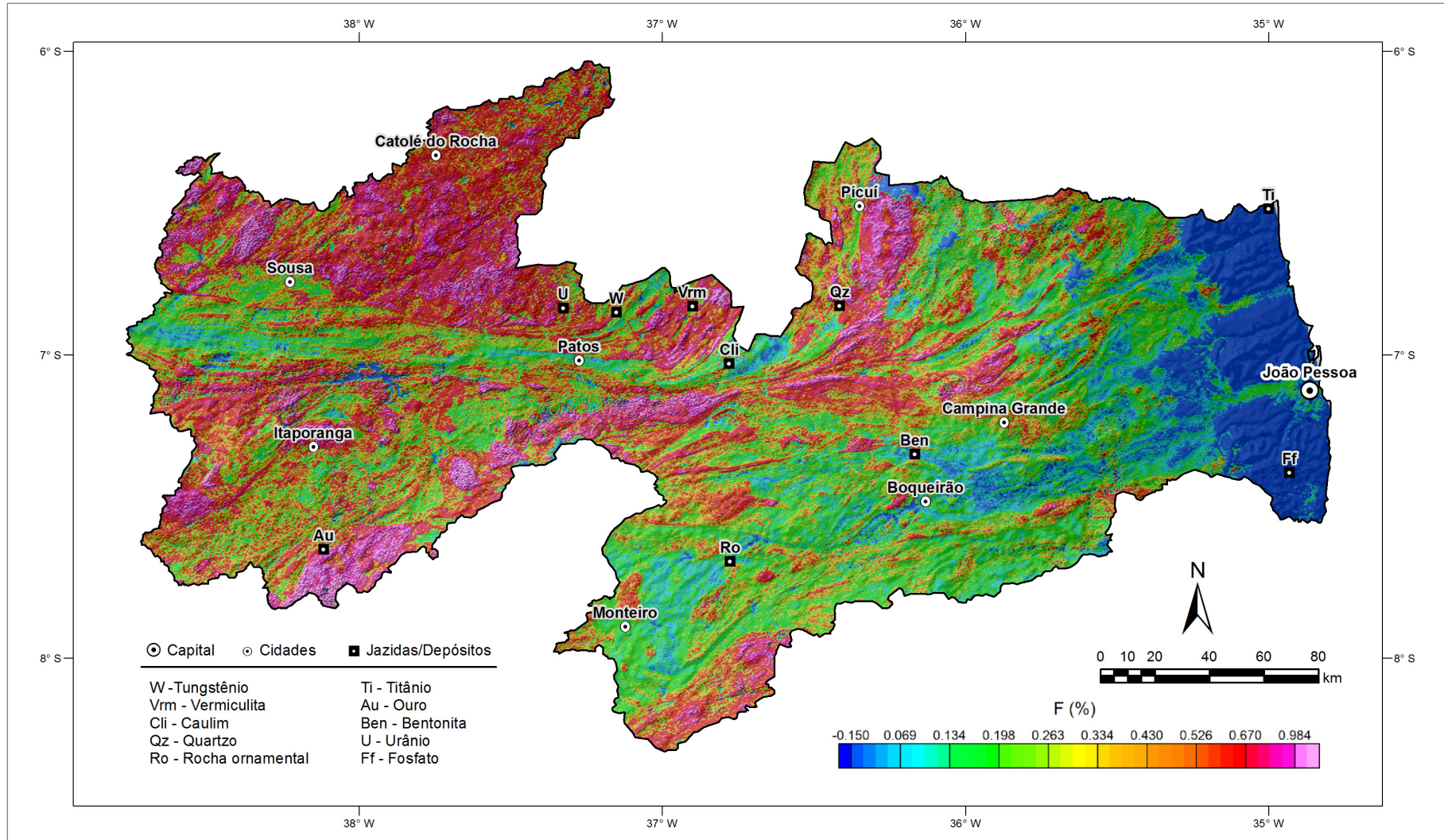


▶ PARÂMETRO F

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 DA PARAÍBA

AS CARACTERÍSTICAS aerogamespectrométricas do estado da Paraíba estão descritas de acordo com cada domínio tectônico apresentado no mapa geológico simplificado (Figura 5).

No Domínio Alto Moxotó, as rochas enriquecidas em K são principalmente monzogranitos porfiríticos e granitos e granodioritos. Com teores de K mais moderados (até 5%) destacam-se as faixas de afloramentos com direção NW-SE de ortognaisses sienograníticos. As rochas com teores altos de eTh (>37 ppm) apresentam uma variação muito grande na composição e idades. Destacam-se os monzogranitos porfiríticos, metassedimentos paleoproterozoicos, orto e paragnaisses e augen gnaisses. Metassedimentos, granitos e granodioritos apresentam teores próximos da média. Teores de eTh abaixo da média foram observados em migmatitos e ortognaisses que compõem as rochas do embasamento Paleoproterozoico. A distribuição de eU neste terreno apresenta padrão muito semelhante ao do eTh .

No Domínio Alto Pajeú, as rochas com teores de K muito acima da média são representadas por sienitos, granitos e granodioritos. Os ortognaisses e migmatitos monzograníticos a granodioríticos apresentam teores de K levemente acima da média. Todo o conjunto de rochas metassedimentares é empobrecido em K. Teores altos de eTh são observados apenas nos granitos e granodioritos enquanto teores médios ocorrem em metassedimentos. O conjunto restante de rochas ígneas e metassedimentares deste terreno possui teores de eTh abaixo da média. Os teores de eU possuem distribuição semelhante ao do eTh .

No Domínio Rio Capibaribe, as rochas com teores de K acima da média (4 a 6%) são os sienogranitos granitos e granodioritos. Metagranitóides, gnaisses e metavulcânicas apresentam teores próximos da média. Teores altos de eTh são observados nos granitos e granodioritos, nos sienogranitos e em augen ortognaisses. Os metassedimentos e ortognaisses apresentam teores médios. Os metagranitóides, gnaisses, metavulcânicas, e ortognaisses e migmatitos apresentam teores abaixo a média. Os teores de eU possuem distribuição semelhante ao do eTh .

No Domínio Piancó - Alto Brígida, a predominância de metassedimentos resultantes do metamorfismo de rochas originalmente de composição arenosas-argilosas resulta em baixo teores de K, eTh e eU .

Na imagem da Composição Ternária, no Domínio São José do Campestre observa-se a alternância de faixas com cores esverdeadas e azuladas associadas com intercalação de gnaisses levemente enriquecidos em eTh - eU . Entremeados neste padrão, que forma uma trama complexa de dobramentos, ocorrem regiões com cores avermelhadas a arroxeadas (enriquecimento em K- eU) e avermelhadas (enriquecimento em K e empobrecimento em eTh - eU) associados com as rochas ortoderivadas e migmatizadas. São observadas também cores esbranquiçadas associadas com plútons neoproterozoicos com afinidade calcioalcalina ricos em K por causa do seu enriquecimento em K- eTh - eU , bem como, faixas azuladas correlacionadas com metassedimentos enriquecidos em urânio.

Na imagem da Composição Ternária, o Domínio Rio Piranhas - Seridó apresenta padrões gamaespectrométricos muito variados. De uma forma geral, as rochas de embasamento possuem enriquecimento em K- eTh - eU (tons esbranquiçados). Entretanto, o grande volume de rochas plutônicas neoproterozoicas apresenta diversas fácies gamaespectrométricas em que dominam rochas enriquecidas em K (cores vermelhas). O grande volume de rochas intrusivas produz estruturas circulares, algumas delas com evidência de zoneamento na composição. Entremeadas nessas estruturas ocorrem com frequência fácies de baixa radioatividade (cores escuras) relacionada com rochas máficas e fácies com enriquecimento em eU (cores azuladas) ou eTh (cores esverdeadas) associadas com afloramento de

metassedimentos. Na Faixa Seridó é observada a predominância de cores azuladas produzidos pelo enriquecimento de **eU**.

As formações superficiais recentes com composição predominantemente arenosa depositadas sobre os sedimentos mais antigos da Bacia Paraíba resulta em um sinal gamaespectrométrico com teores abaixo da média de K, **eTh** e **eU**. Localmente são observados enriquecimentos em **eTh** e **eU** resultante de processos de formação de lateritas, sobretudo por causa do clima úmido típico da região da Mata Atlântica.

▶ ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DE 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. O exemplo apresentado a seguir é uma amostra desta potencialidade. As assinaturas aerogeofísicas de depósitos de fosfato na região de Alhandra na Bacia Paraíba (Figura 12) são apresentadas e discutidas. Esses depósitos constituem uma importante reserva estratégica para a produção de insumos para a agricultura.

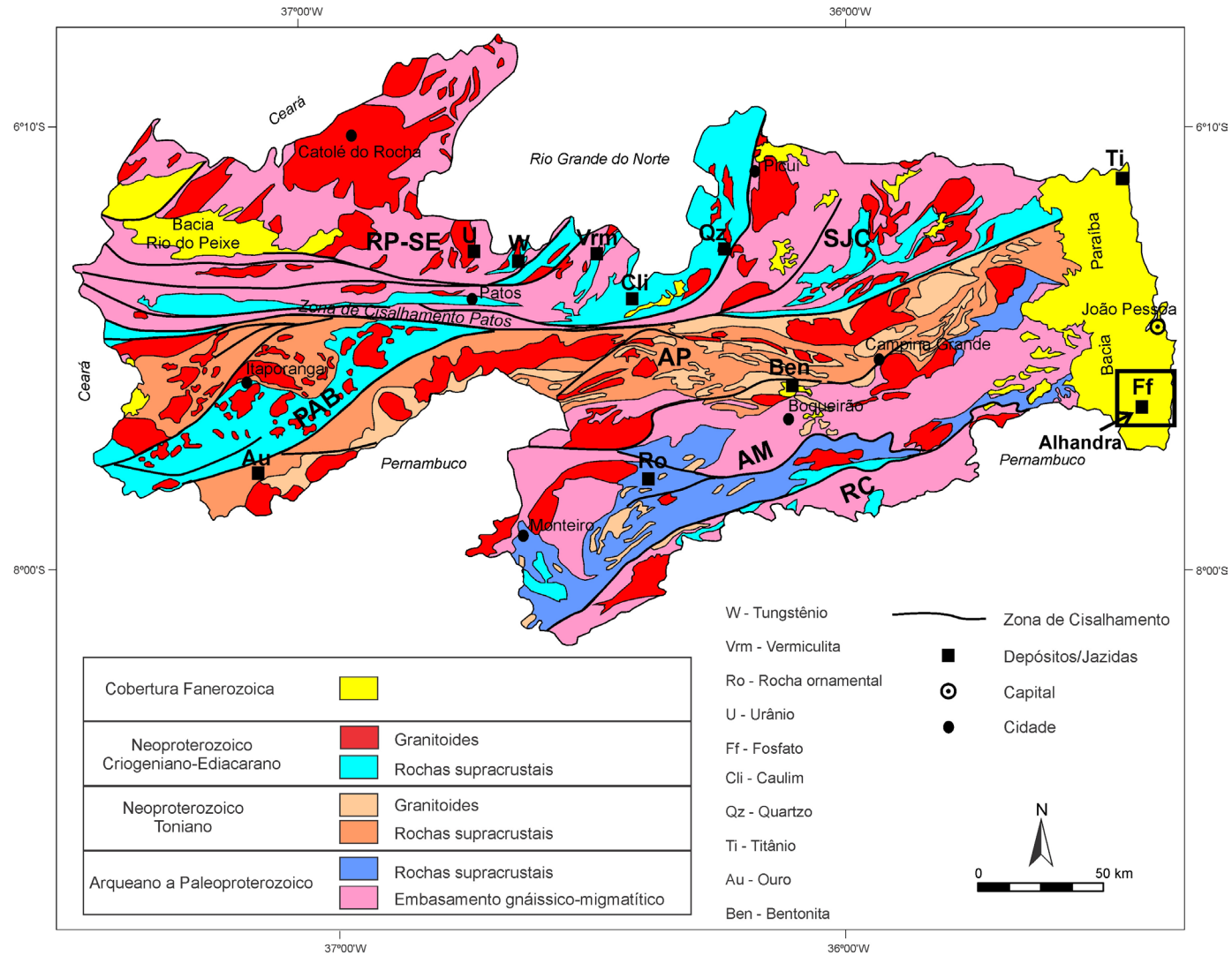


Figura 12 - Geologia simplificada do estado da Paraíba (SANTOS, FERREIRA E SILVA JÚNIOR, 2002, p. 43, modificada), com localização das principais jazidas/depósitos minerais. O quadro de cor preta na Bacia Paraíba localiza a região do depósito de fosfato que ocorre nas proximidades da cidade de Alhandra.

▶ AEROGEOFÍSICA DA REGIÃO DO DEPÓSITO DE FOSFATO DE ALHANDRA

O PRINCIPAL CONTROLE geofísico para o depósito de fosfato da Bacia Paraíba é o contraste de radioatividade entre as camadas mineralizadas e as camadas estéreis. Esse controle foi investigado em projetos anteriores do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Projeto Miriri, Barbosa Lemos, 2001). Nesse projeto, os resultados das perfilações efetuadas nos poços que atravessaram o nível mineralizado corroboraram para uma boa correlação da radioatividade alta com a presença de fosfato. Neste trabalho, partindo-se do princípio de que o controle geofísico pelo método de radioatividade previamente estabelecido é válido, foi efetuada uma investigação dos dados aerogamaespectrométricos obtidos durante o Projeto Levantamento Aerogeofísico Borda Leste do Planalto da Borborema (CPRM, 2008). Foi escolhida uma área piloto na região de Alhandra (PB), onde já se tinha conhecimento da existência de uma camada sedimentar enriquecida em fosfato, porém encoberta, bem como havia sido também identificada uma exposição em superfície das rochas mineralizadas. Como o método geofísico radiométrico investiga apenas poucos decímetros do solo (Telford et al., 1990), o trabalho foi conduzido com o objetivo de localizar apenas as camadas ricas em fosfato expostas na superfície.

Investigação dos Dados Aerogamaespectrométricos

Os trabalhos de perfilações de poços efetuados em outros trabalhos da CPRM na Bacia Paraíba empregaram na investigação radiométrica a ferramenta de cintilometria, que mede apenas a contagem total dos radioelementos. Por isso, não é possível afirmar especificamente com qual radioelemento o aumento da radioatividade nas camadas enriquecidas em fosfato está relacionado. Entretanto, sabe-se que em outras bacias sedimentares mineralizadas em fosfato e temporalmente relacionadas com a Bacia Paraíba ocorre uma correlação positiva entre a concentração de urânio e de fosfato, como é o caso da Bacia de Arad em Israel (Gill & Shiloni, 1995). Por causa desta correlação positiva entre a concentração de fosfato e urânio já conhecida (Gill & Shiloni, 1995) foi escolhido o canal de equivalente urânio para as investigações na área piloto da Bacia Paraíba.

A imagem da Figura 13 apresenta a distribuição da concentração de equivalente urânio na área piloto. Apesar da aparente aleatoriedade dessa distribuição, sobretudo pelo fato do urânio ser um elemento muito móvel no ambiente geológico, observa-se que os valores maiores de urânio, além de picos positivos isolados, formam dois tipos diferentes de alinhamentos: i) alinhamentos com direção NE-SW, e ii) alinhamentos com direção NW-SE. A comparação dessa distribuição com as feições de relevo da Figura 14 demonstram que os alinhamentos com concentração alta de equivalente urânio correspondem aos vales de drenagem observados na topografia.

Nos trabalhos de campo foi identificado dentro da área delimitada por um retângulo um afloramento de rochas enriquecidas em fosfato com valores de radioatividade em torno de 1.000 cps (A nas Figuras 13 e 14). A posição desse afloramento, na encosta de um vale de drenagem, e a sua correlação com outro afloramento em um mesmo nível topográfico na encosta adjacente, indicou a possibilidade da existência de uma camada mineralizada. Também, observou-se que esse afloramento tem correlação com uma anomalia aerogeofísica de equivalente urânio bem definida, com valor de concentração em torno de 2,5 ppm.

A partir dessas observações, no banco de dados do projeto aerogeofísico foram selecionadas, dentro da área piloto, todas as anomalias de urânio com valores acima de 2,5 ppm. Nesta seleção foram localizados 94 alvos para checagem de campo. Eles estão identificados como um ponto de cor preta nas Figuras 13 e 14.

Resultados da Investigação

No trabalho de campo foram checados 52 alvos, com o emprego de um cintilômetro GR-110G de contagem total fabricado pela Exploranium. Do total de alvos investigados, 21 apresentaram aumento de radioatividade no campo e possuem probabilidade de estarem mineralizados. Para muitas das anomalias de equivalente urânio localizadas nas encostas dos vales observou-se no campo a existência de níveis altos de radioatividade (aumento de 100 a 200 cps para cada aprofundamento de 20 cm de solo) e a presença de fácies litológicas compatíveis com mineralizações de fosfato. Para as anomalias localizadas dentro das drenagens mais largas, ainda não foi possível identificar a origem, por causa da dificuldade de acesso ao ponto anômalo em função da existência de canaviais e áreas alagadas. Nas anomalias muito próximas da costa e sobre superfícies aplainadas, observou-se uma clara correlação com camadas lateritizadas da Formação Barreiras. Em todos os alvos visitados foi efetuada a coleta de amostra de rocha ou solo para análise geoquímica, mesmo nos casos onde afloravam rochas lateritizadas da Formação Barreiras.

Nas Figuras 15 e 16 estão apresentadas a distribuição da concentração de equivalente urânio e a topografia da área de detalhe, respectivamente. Observa-se que o padrão de distribuição do urânio em relação à topografia é o mesmo da área piloto, ou seja, o urânio tende a se concentrar nos vales de drenagem. Nessas figuras são também apresentados os resultados da geoquímica para a concentração de fosfato nas amostras retiradas dos alvos investigados. Apesar da variação do teor de concentração, observa-se que as amostras retiradas das encostas dos vales estão mineralizadas em fosfato nos locais onde houve correspondência entre valores altos de equivalente urânio nos dados aerogeofísicos e de contagem total medidos no campo. Entretanto, a forte anomalia de equivalente urânio (12 ppm) localizada mais para leste ocorre dentro da drenagem e a concentração de fosfato medida foi de apenas 6%. Ainda não foi possível explicar a existência desta anomalia, tanto do ponto de vista geológico como geofísico. Sabe-se apenas que ocorre próxima de um dos poços perfurados em projetos da CPRM. Este poço atravessa rochas ricas em fosfato em profundidades maiores do que 30 metros.

Os resultados apresentados permitem esboçar um modelo geológico tridimensional para mineralização de fosfato na área de detalhe. A Figura 17 apresenta uma concepção deste modelo, com superposição da topografia, da concentração de equivalente urânio e dos valores da concentração de fosfato nos alvos investigados (A é a localização do afloramento de referência). Ela tem como base os principais aspectos discutidos acima, quais sejam: i) afloramento com rochas mineralizadas na encosta de vales de drenagem, e ii) correlação no mapa aerogeofísico desses afloramentos com trends anômalos de equivalente urânio. O modelo sugere que na área de detalhe uma camada possivelmente contínua (linha tracejada de cor preta) com rochas sedimentares ricas em fosfato foi erodida pelos cortes das drenagens. Entretanto, ela teria continuidade nas áreas preservadas pela erosão e poderia ser acompanhada ao longo das encostas dos vales. O principal resultado deste modelo é a possibilidade da existência de uma camada de rochas ricas em fosfato, aflorando nas encostas dos vales e próxima da superfície nos locais onde ela estaria encoberta por sedimentos mais novos.

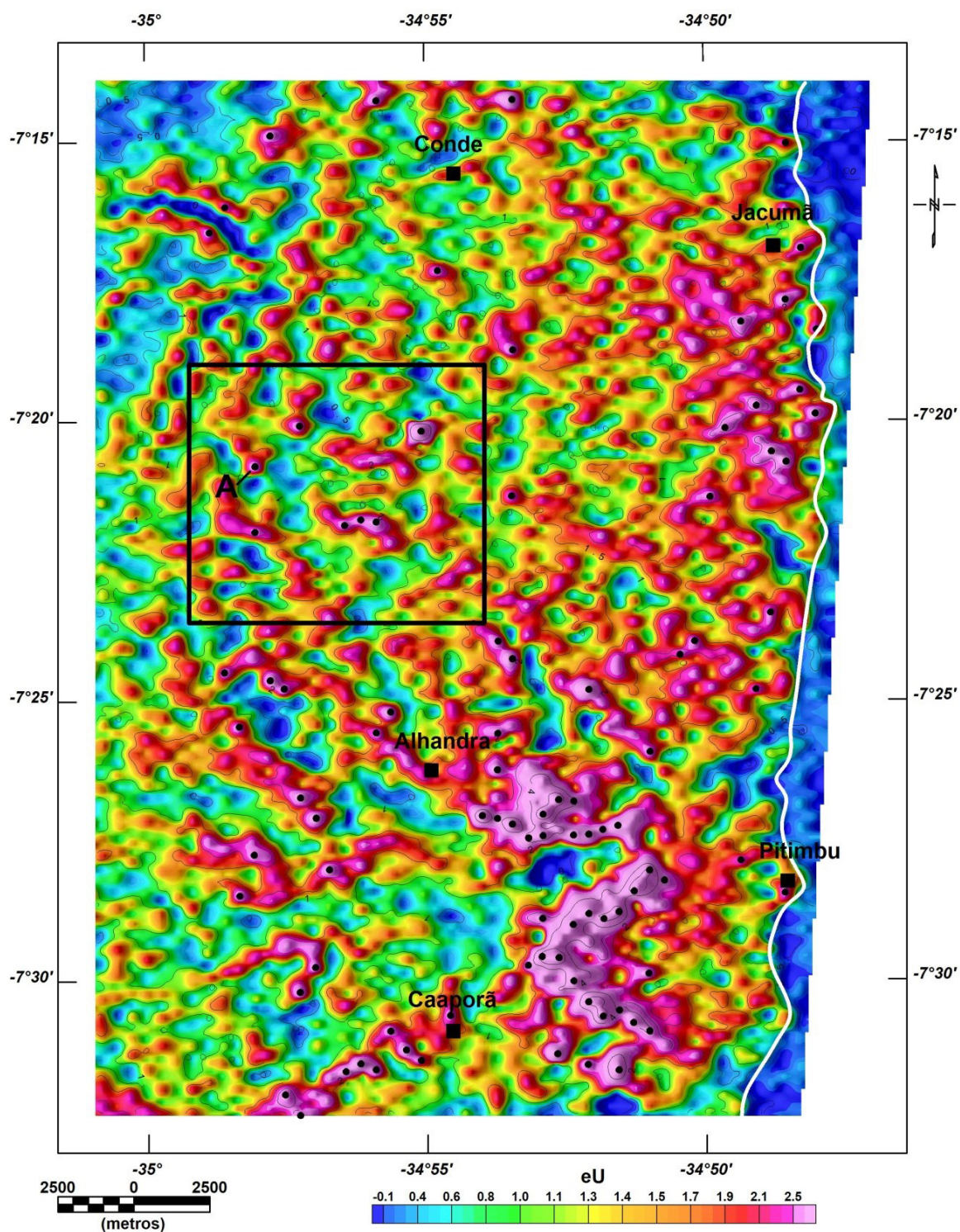


Figura 13 - Imagem da malha sombreada dos dados do canal de equivalente urânio (125 x 125 m) da área piloto de Alhandra (PB), com superposição dos alvos selecionados (pontos de cor preta, urânio > 2,5 ppm), dos limites da área de detalhe (retângulo de cor preta) e da linha de costa (traço branco contínuo). A letra **A** indica a localização do afloramento de referência. Sombreamento: inc.: 35°; declin. 315°Az.

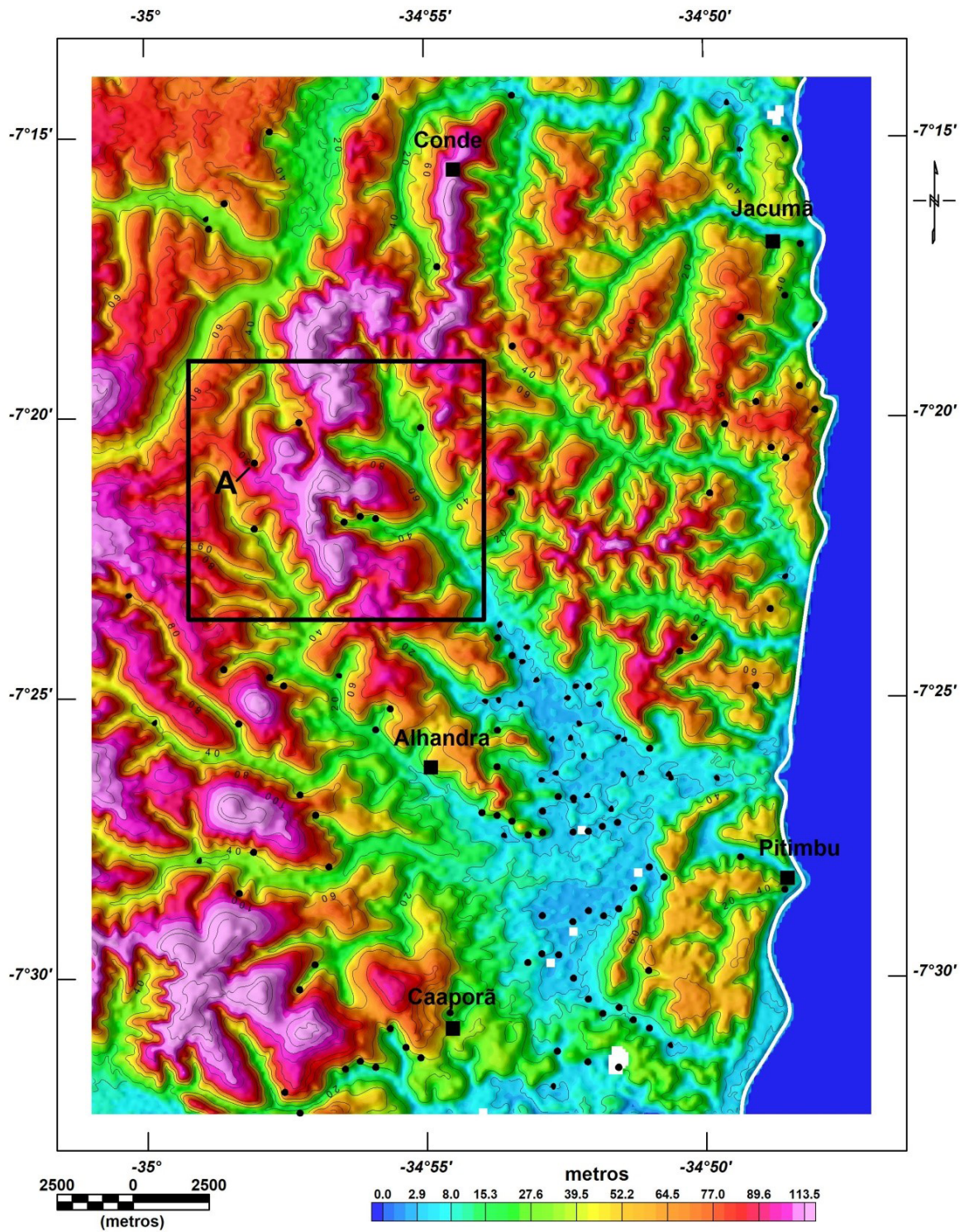


Figura 14 - Imagem da malha sombreada dos dados da superfície digital do terreno (125 x 125 m) da área piloto de Alhandra (PB), com superposição dos alvos selecionados (pontos de cor preta, urânio > 2,5 ppm) e dos limites da área de detalhe (retângulo de cor preta). A letra **A** indica a localização do afloramento de referência. Sombreamento: inc.: 35°; declin. 315°Az.

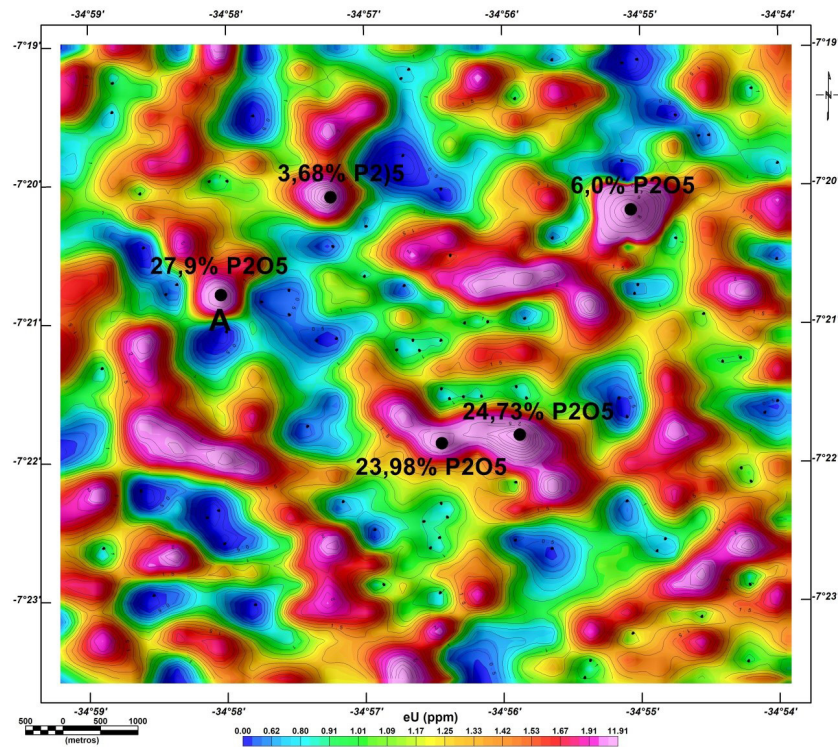


Figura 15 - Imagem da malha sombreada dos dados do canal de equivalente urânio (125 x 125 m) da área de detalhe localizada dentro da área piloto de Alhandra (PB), com superposição dos alvos selecionados (pontos de cor preta, urânio > 2,5 ppm) e dos valores da concentração de urânio obtidos nas análises geoquímicas. A letra **A** indica a localização do afloramento de referência. Sombreamento: inc.: 35°; declin. 315°Az.

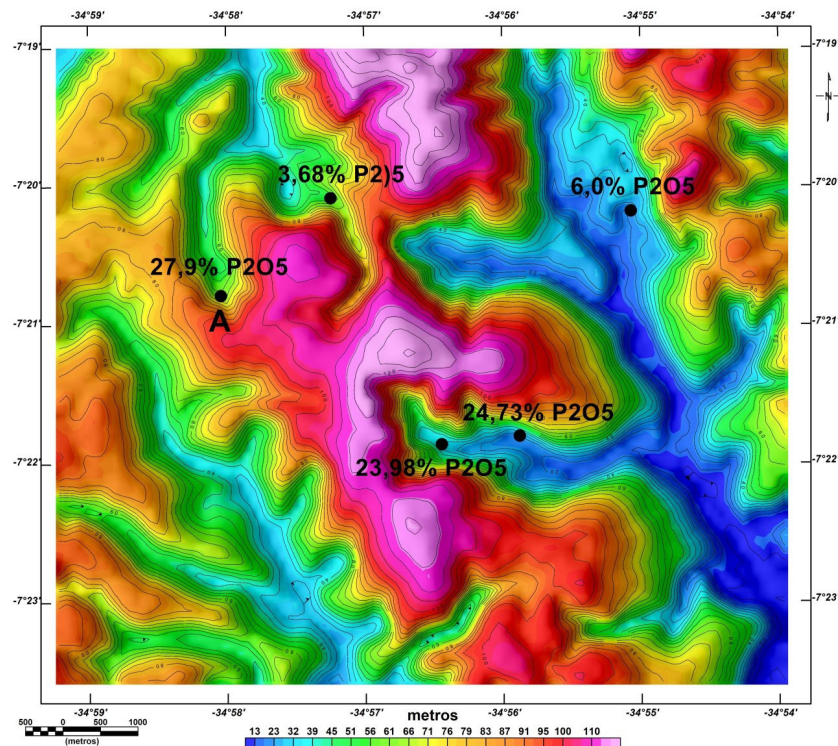


Figura 16 - Imagem da malha sombreada dos dados da superfície digital do terreno (125 x 125 m) da área de detalhe localizada dentro da área piloto de Alhandra (PB), com superposição dos alvos selecionados (pontos de cor preta, urânio > 2,5 ppm) e dos valores da concentração de urânio obtidos nas análises geoquímicas. A letra **A** indica a localização do afloramento de referência. Sombreamento: inc.: 35°; declin. 315°Az.

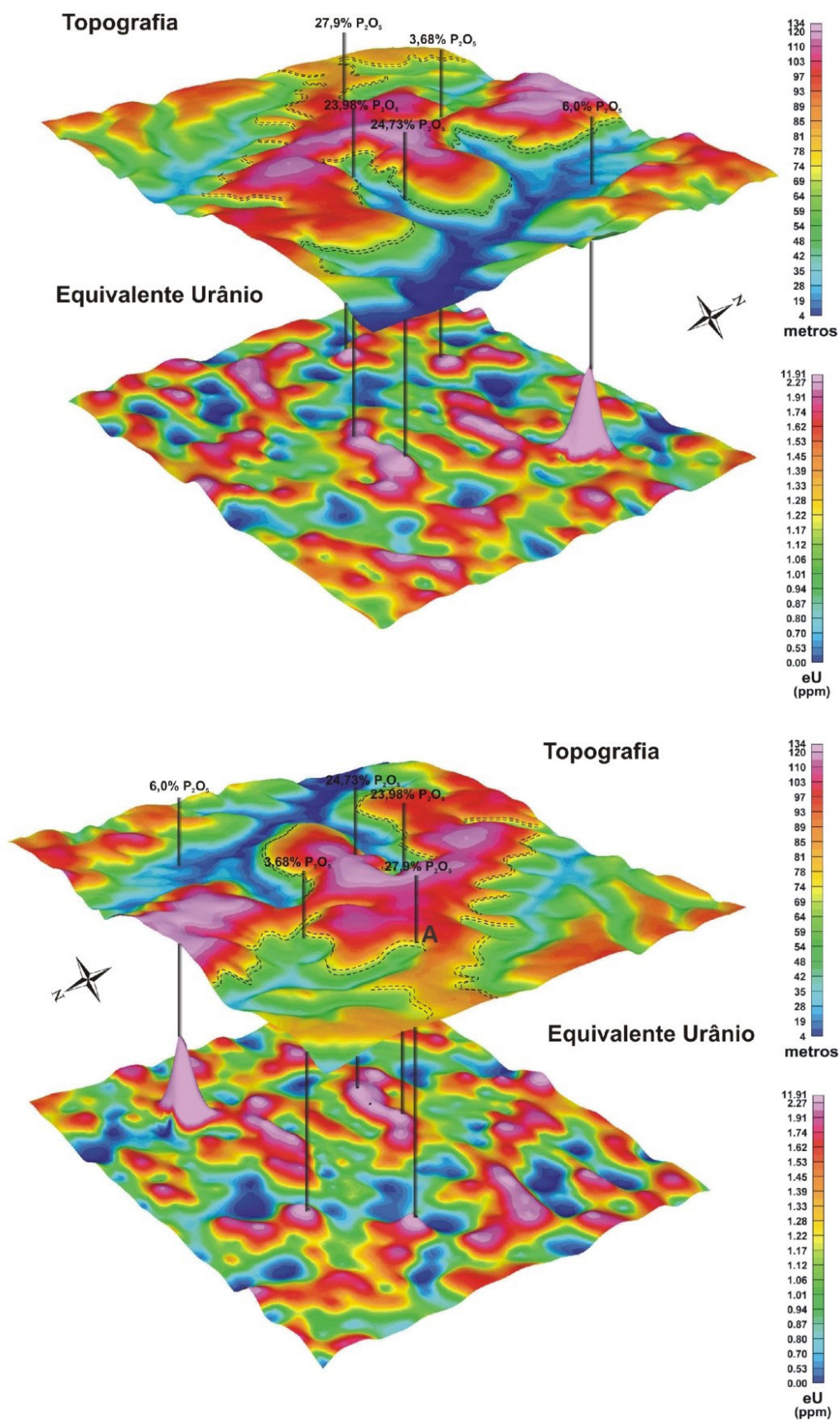


Figura 17 - Concepção tridimensional do modelo da camada sedimentar mineralizada em fosfato na área de detalhe contida na área piloto de Alhandra (PB). Estão indicados os valores da concentração de fosfato nos pontos amostrados. A letra A indica a localização do afloramento de referência. A camada mineralizada inferida está representada por traços de cor preta descontínuos na superfície topográfica.

▶ REFERÊNCIAS

- AIRO, M. L. Aeromagnetic and Aeroradiometric Response to Hydrothermal Alteration. **Surveys in Geophysics**, v. 23, p. 273–302, 2002.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. *In*: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Resumo das comunicações**. Campina Grande: SBG, 1977. (Boletim Especial SBG. Núcleo Nordeste, 6). p. 12–13.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASES REGISTRY. **Health Effects of Exposure to Substances and Carcinogens**. Atlanta, 1999. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/ToxOrganSystems.asp>. Acesso em: 05 jul. 2004.
- BARANOV, V. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies. **Geophysics**, v. 22, p. 359-383, 1957.
- BARBOSA, A. J.; LEMOS, L. B. S. G. **Fosfato de Miriri: estados de Pernambuco e Paraíba**. Recife: CPRM, 2001. (Informe de Recursos Minerais. Série Oportunidades Minerais. Exame Atualizado de Projeto, 11).
- BHATTACHARYYA, B. K. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. **Geophysics**, v. 31, p. 97-121, 1966.
- BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- BRITO NEVES, B. B. de. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano Nordestino**. 1975. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.
- CALDASSO, A. L. da S. **Geologia de jazida de argila de Boa Vista (Paraíba)**. Recife: SUDENE, 1965. (Brasil SUDENE. Série Especial, 2).
- 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 Engenharia e Prospecções, 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 Engenharia e Prospecções, 2010.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 187–200, 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>. Acesso em: jan. 2019.
- FONSECA NETO, J. C. da. **Projeto fosfato na faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba: Relatório final**. Recife: CPRM, 1979.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.
- FREITAS, A. F.; MARMOS, J. L. **Atlas geoquímico do Estado de Roraima**. Recife: CPRM, 2017. (Projeto levantamento geoquímico de baixa densidade do Estado de Roraima).
- GNOJEK, I; PRICHYSTAL, A. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia, Czechoslovakia. **Geoexploration**, v. 23, p. 491-502, 1985.
- GILL, D.; SHILONI, Y. Abundance and distribution of uranium in Senonian phosphorites, Arad basin, southern Israel. **Journal of African Earth Sciences**, v. 20, n. 1, p. 17-28, 1995.
- HASTINGS, David A. et al. (ed.). **The Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Version 1.0**. U.S.A., 1999. Disponível em: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>. Acesso em: jan. 2019 .
- ISLES, D. J.; RANKIN, L. R. **Geological Interpretation of Aeromagnetic Data**. Perth: Australian Society of Exploration Geophysicists; [Melbourne]: CSIRO, 2013.
- JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana Brasília**. 1994. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 1992.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. 3th ed. London: Blackwell Science, 2002.
- KOLJONEN, K., STENIUS, P.; BUCHERT, J. The surface chemistry of PGW pulp fibre fractions. *In*: INTERNATIONAL MECHANICAL PULPING CONFERENCE, 1997, Stockholm, Sweden. **Proceedings**. Stockholm: Swedish Association of Pulp and Paper Engineers, 1997. p. 407-411.

- LICHT, O. A. B.; MELLO, C. S. B. de; SILVA, C. R. da (ed.). **Prospecção geoquímica: depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás**. Rio de Janeiro: SBGq; CPRM, 2007.
- MACLEOD, I. N.; JONES, K.; DAI, T. F. 3-D Analytic Signal in the interpretation of Total Magnetic Field Data at Low Magnetic Latitudes. **Exploration Geophysics**, v. 24, p. 679-688, 1993.
- MINEROPAR. **Levantamento geoquímico multielementar do estado do Paraná. Geoquímica de solo: Horizonte B: relatório final de projeto**. Curitiba: Mineropar, 2005.
- MINTY, B. R. S. 1997. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 39–50, 1997.
- OLIVEIRA, R. G. **Arcabouço Geofísico, Isostasia e Causas do Magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de Sua Margem Continental (Nordeste do Brasil)**. 2008. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- OLIVEIRA, R. G.; Medeiros, W. E. Deep crustal framework of the Borborema Province, NE Brazil, derived from gravity and magnetic data. **Precambrian Research**, v. 315, p. 45–65, 2018.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos**: resumo executivo e atlas. Brasília, 2006.
- PEIXOTO, E. M. A. Potássio. **Química nova na escola**. São Paulo, v. 19, p. 47, 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a14.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2017.
- PIRES, A. C. B. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, p. 61-68, 1995.
- PIRES, A. C. B.; HARTHILL, N. Statistical analysis of airborne gamma-ray data for geologic mapping purposes: Crixas-Itapaci area, Goiás, Brazil. **Geophysics**, v. 54, p. 1326–32, 1989.
- SANTOS, E. J. dos; BRITO NEVES, B. B. de. Província Borborema. /n: ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y. **O pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. p. 123 - 186.
- SANTOS, E. J. dos; FERREIRA, C. A.; SILVA JÚNIOR, J. M. F. da. **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba**. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado da Paraíba. Recife: CPRM, 2002. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- SPECTOR, A.; GRANT, F. S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. **Geophysics**, v. 35, n. 2, p. 293-302, 1970.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied Geophysics**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University, 1990.

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.

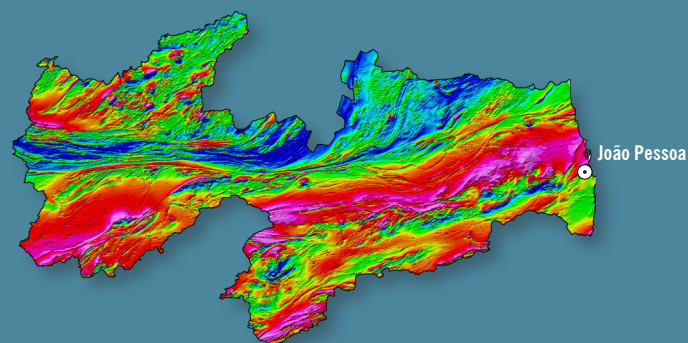
A aquisição de dados aerogeofísicos e sua ampla disponibilização representa uma das principais ações do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Ao longo das duas últimas décadas, importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do SGB-CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos, tendo 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 da Paraíba



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