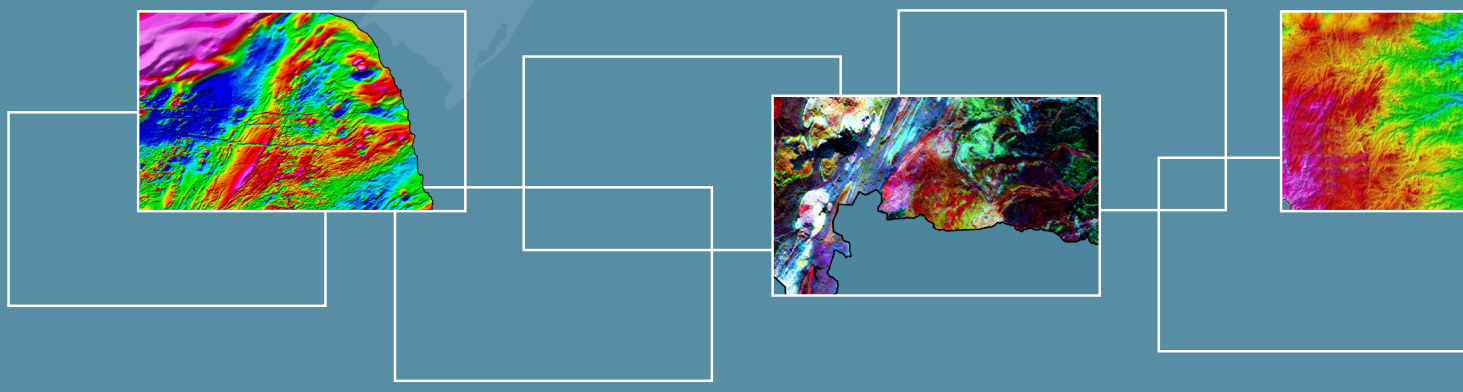
PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS
E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado de Rondônia



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
Márcio José Remédio

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial
Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica
Paulo Afonso Romano

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 Duringer 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
Valter Alvarenga Barradas

RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO

Chefe da Residência
Amilcar Adamy

Assistente de Geologia e Recursos Minerais
Carlos Eduardo Santos de Oliveira

Responsável Técnico do Produto
Michelle Cunha Graça

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

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

ATLAS AEROGEOFÍSICO DO ESTADO DE RONDÔNIA

ORGANIZADORES
Michelle Cunha Graça
Guilherme Ferreira da Silva

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

PORTO VELHO
2020

REALIZAÇÃO
Residência de Porto Velho

COORDENADOR DO PROJETO
Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

ELABORAÇÃO DOS TEXTOS E MAPAS
Michelle Cunha Graça
Guilherme Ferreira da Silva

COLABORADORES
Dalton Rosemberg da Silva
Marília de Araújo Rodrigues
Roberto Gusmão de Oliveira

REVISÃO
Marcos Luiz do E. S. Quadros

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Capa (DIEDIG)
Agmar Alves Lopes

Miolo (DIEDIG)
Agmar Alves Lopes

Diagramação (ERJ)
Henrique Batista

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA
Priscila Ururahy

Serviço Geológico do Brasil – CPRM
www.cprm.gov.br
seus@cprm.gov.br

A881 Atlas aerogeofísico do estado de Rondônia / organizadores Michelle Cunha Graça [e] Guilherme Ferreira da Silva. – Porto Velho : CPRM, 2020.
59 p. : 30 cm.

Levantamentos geológicos e integração geológica regional.

ISBN 978-85-7499-576-2

1.Geofísica – Atlas – Brasil – Rondônia. I. Graça, Michelle Cunha, org. II. Silva, Guilherme Ferreira da,org. III. Título.

CDD 550.981

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Priscila Ururahy CRB 5665

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 a comunidade técnico-científica, aos empresários do setor mineral e à sociedade em geral os resultados alcançados pelo **Projeto Atlas Aerogeofísicos dos Estados**, vinculado ao **Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral.**

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

Ao longo das duas últimas décadas importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), tendo sido recoberta uma área de cerca de 3.726.364 km^2, que corresponde a 43,76% do território brasileiro e aproximadamente 92% do embasamento cristalino do Brasil. Este grande esforço foi realizado com a expectativa de contribuir para o aprimoramento do conhecimento geológico do país e a descoberta de jazidas minerais.

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

A preparação do **Atlas Aerogeofísico de Rondônia** necessitou de partes de sete 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. O estado de Rondônia apresenta dois domínios magnéticos principais que são individualizados por um lineamento que atravessa longitudinalmente o estado, de direção aproximada leste a oeste. Tal lineamento separa o Complexo Jamari e a Suíte Intrusiva Serra da Providência da Bacia dos Parecis, Suite Intrusiva Cerejeira e Complexo São Felipe, Formação Palmeiral e coberturas sedimentares cenozoicas. Essa divisão de domínios magnéticos também se reflete nos dados gamaespectrométricos. Nestes últimos também são observadas, sobretudo, formas circulares ou elípticas alongadas decorrentes de sua correlação com intrusões de rochas com composição granítica.

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

Esteves Pedro Colnago
Diretor-Presidente

Márcio José Remédio
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 6
PRIMEIROS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS 6
LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DE ALTA DENSIDADE DE DADOS 6
INVESTIMENTOS EM LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS A PARTIR DE 2004 7
CESSÃO GRATUITA DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS AO PÚBLICO EM GERAL 7

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE RONDÔNIA 9
CONTEXTO GEOGRÁFICO 9
CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS 10
Resumo da Geologia do Estado de Rondônia 10
Terrenos Jamari 10
Suíte Serra da Providência 11
Faixa Alto Guaporé 12
Faixa Nova Brasilândia 13
Suíte Intrusiva Rondônia 13
Bacia dos Parecis 13
Coberturas Sedimentares Cenozoicas 13
Recursos Minerais do Estado de Rondônia 14
Au aluvionar 14
Campos kimberlíticos e ocorrências de diamante 15
ETR (±Zr) – Elementos Terras Raras 15
Sn-(±W-Nb-Ta) na Suíte Intrusiva Rondônia 16

MATERIAIS E MÉTODOS 17
DADOS AEROGEOFÍSICOS 17
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO MAGNETOMÉTRICO 18
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO 19
PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS 19
Plataforma de Processamento 20
Interpolação 20
Junção dos Diferentes Projetos 20
Aplicação Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos 21

MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS 22
ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS 23
1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA 25
GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA 27
SEPARAÇÃO DAS ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS EM RASAS E PROFUNDAS 29

MAPAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS 33
POTÁSSIO 34
EQUIVALENTE TÓRIO 36

EQUIVALENTE URÂNIO 38
COMPOSIÇÃO TERNÁRIA RGB (K-*e*TH-*e*U) 40
PARÂMETRO F 42
PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE RONDÔNIA 44

ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS... 45
CARACTERIZAÇÃO AEROGEOFÍSICA DA ÁREA JAMARI - PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA (BUCH ET AL., 2019) 47
AEROGEOFÍSICA DA FAIXA NOVA BRASILÂNDIA – OCORRÊNCIAS DE ZN-PB-CU EM GOSSANS NA FORMAÇÃO MIGRANTINÓPOLIS (BERGAMI ET AL., 2019) 50
Gossans Pedra Queimada e DM 50
Gossan P-16 51
Gossans do Beijo e Finados 52
AEROGEOFÍSICA APLICADA A IDENTIFICAÇÃO DE CORPOS KIMBERLÍTICOS DIAMANTÍFEROS (PROJETOS DIAMANTE BRASIL E AZ125º) (ROCHA ET AL., 2019) 54
Classificação 55

REFERÊNCIAS 57

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 km^2 (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 km^2 (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.

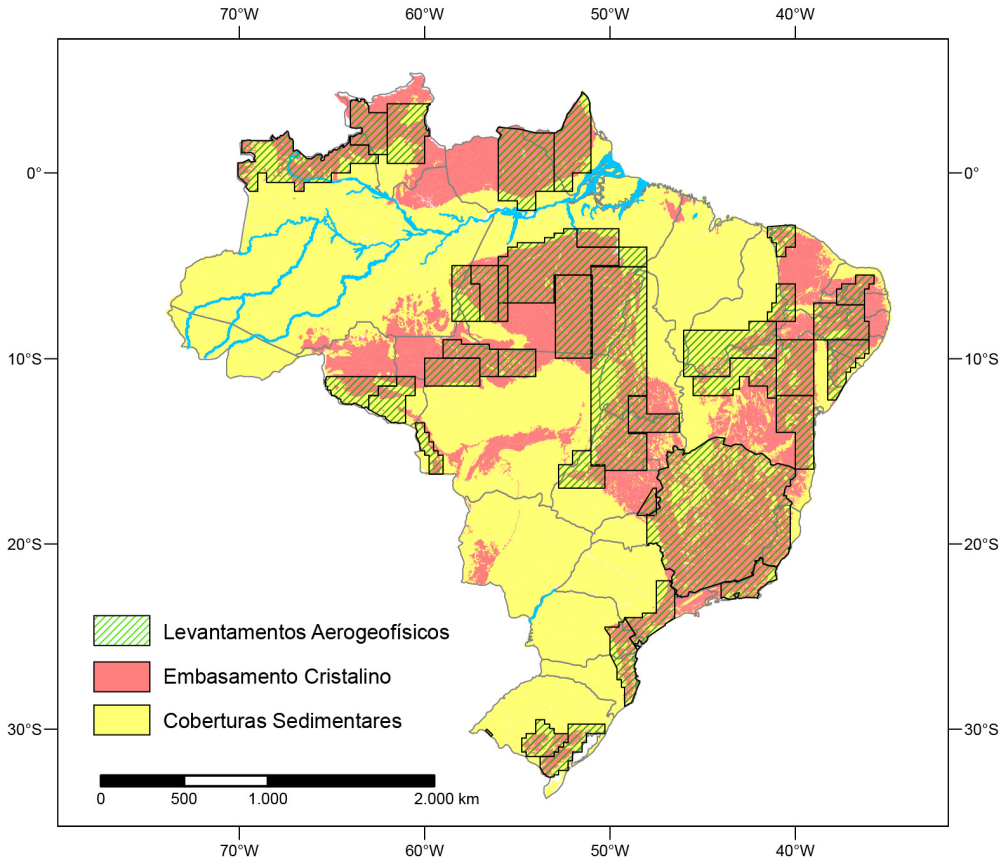


Figura 1 - Levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) adquiridos entre 1971 e 2001.

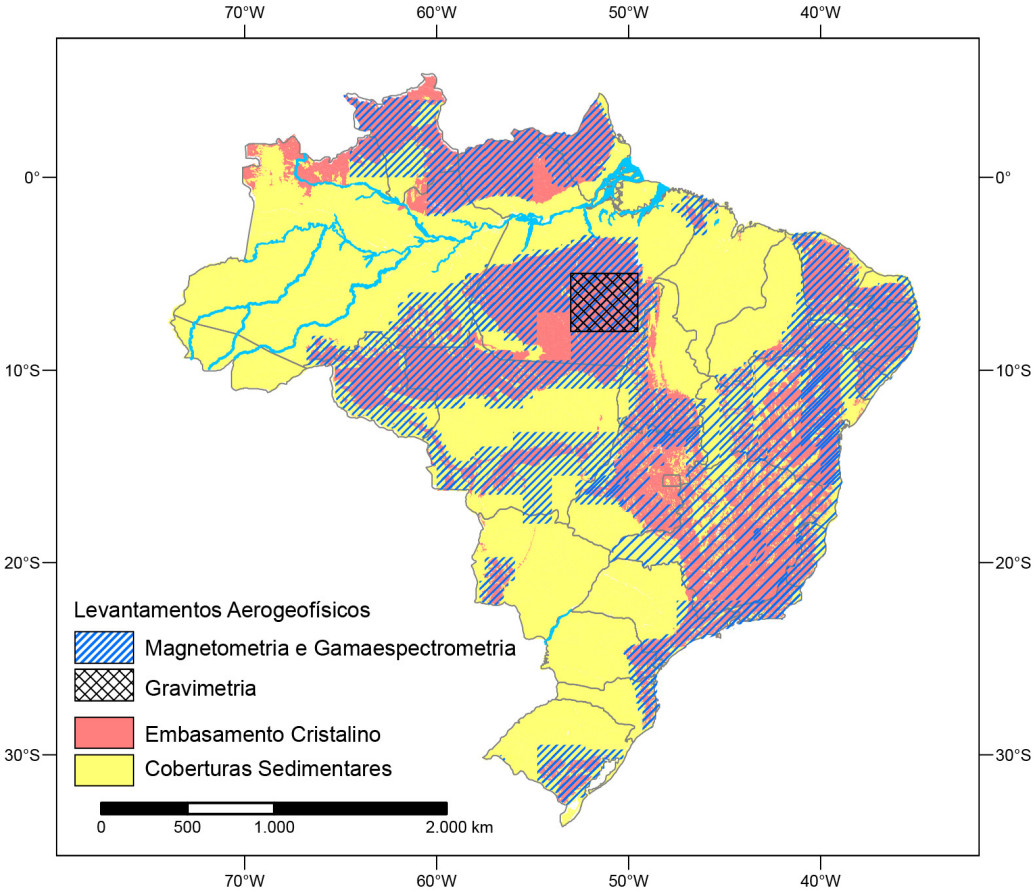


Figura 2 - Levantamentos aerogeofísicos adquiridos entre 2004 e 2014.

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 juniors.

Desta forma, a partir de maior de 2017 optou-se pela cessão ampla e gratuita dos dados a todos os usuários, como forma de estimular investimentos do setor mineral. Os dados aerogeofísicos em formato XYZ e imagens aerogeofísicas georreferenciadas são acessados através do banco de dados corporativo da empresa, o GeoSGB (geosgb.cprm.gov.br/geofisica).

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

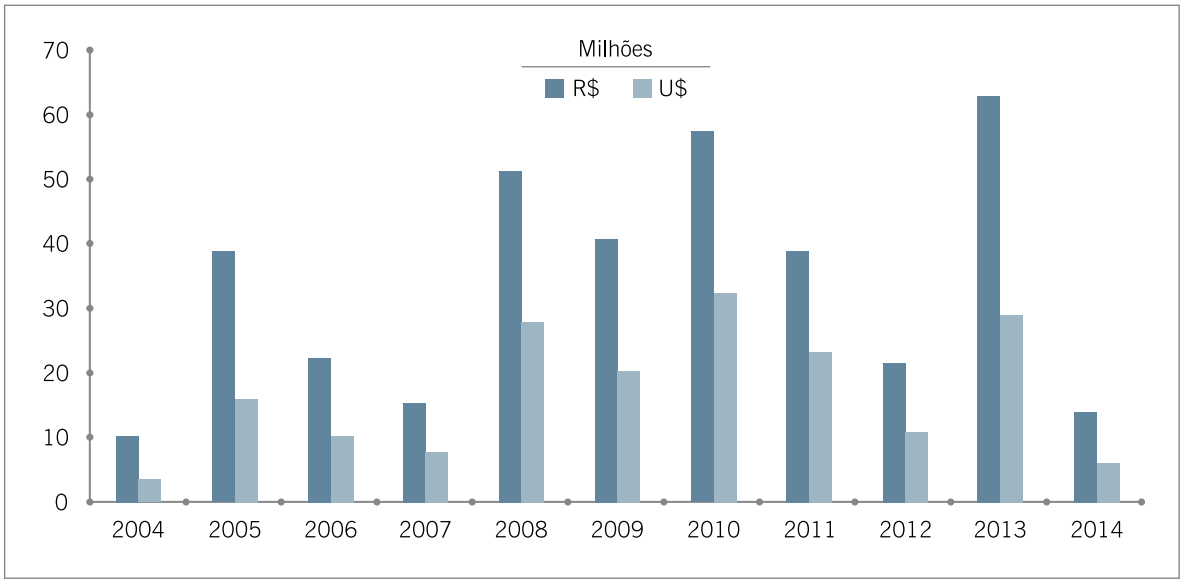


Gráfico 1 - Valores investidos na aquisição de dados aerogeofísicos entre 2004 e 2014.

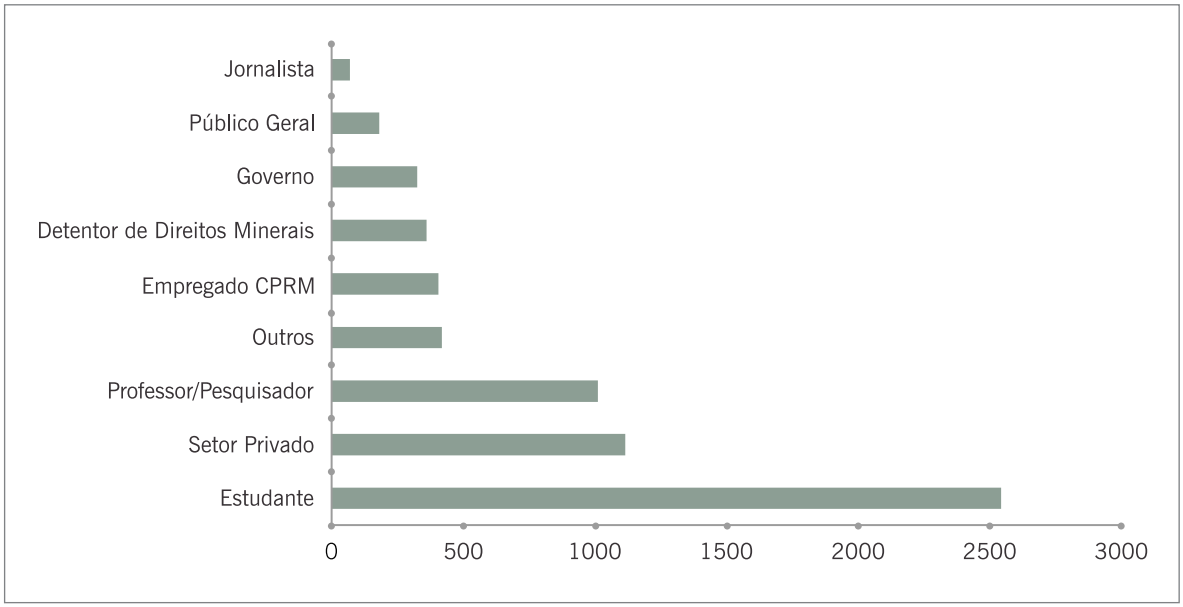


Gráfico 2 - Volume de dados (em Gb) de projetos aerogeofísicos acessados de forma gratuita entre maio de 2017 a setembro de 2019.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE RONDÔNIA

CONTEXTO GEOGRÁFICO

O estado de Rondônia está localizado na Região Norte do Brasil (Figura 3), tem uma área de 237.765,233 km^2, possui 52 municípios e uma população total estimada para o ano de 2018 em 1.757.589 pessoas (Fonte: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/panorama). Encontra-se limitado pelos estados brasileiros do Amazonas, Mato Grosso e Acre, bem como apresenta um limite internacional com a Bolívia. As maiores cidades do estado, além da capital Porto Velho, são: Ji-Paraná, Vilhena, Ariquemes, Guajará-Mirim, Cacoal e Ouro Preto do Oeste.

No clima, Rondônia está inserido em clima equatorial, com médias anuais de temperatura acima de 26º C, sendo as regiões de maior altitude um pouco mais amenas (Fonte: https://www.infoescola.com/geografia/geografia-de-rondonia/).

Rondônia tem um relevo pouco acidentado, sem elevações ou depressões acentuadas. As altitudes variam entre 70 e 500 m com relação ao nível do mar (Figura 4). No sul do estado são encontradas as áreas mais acidentadas, com depressões e elevações. A hidrografia de Rondônia é formada pelo rio Madeira e seus afluentes, que formam oito bacias: Bacia do Guaporé, Bacia do Mamoré, Bacia do Ji-Paraná, Bacia do Jacy-Paraná, Bacia do Abunã, Bacia do Mutum-Paraná, Bacia do Jamari, e Bacia do Aripuanã. O rio Madeira é o principal afluente do rio Amazonas, com 1.700 km de extensão em território brasileiro.

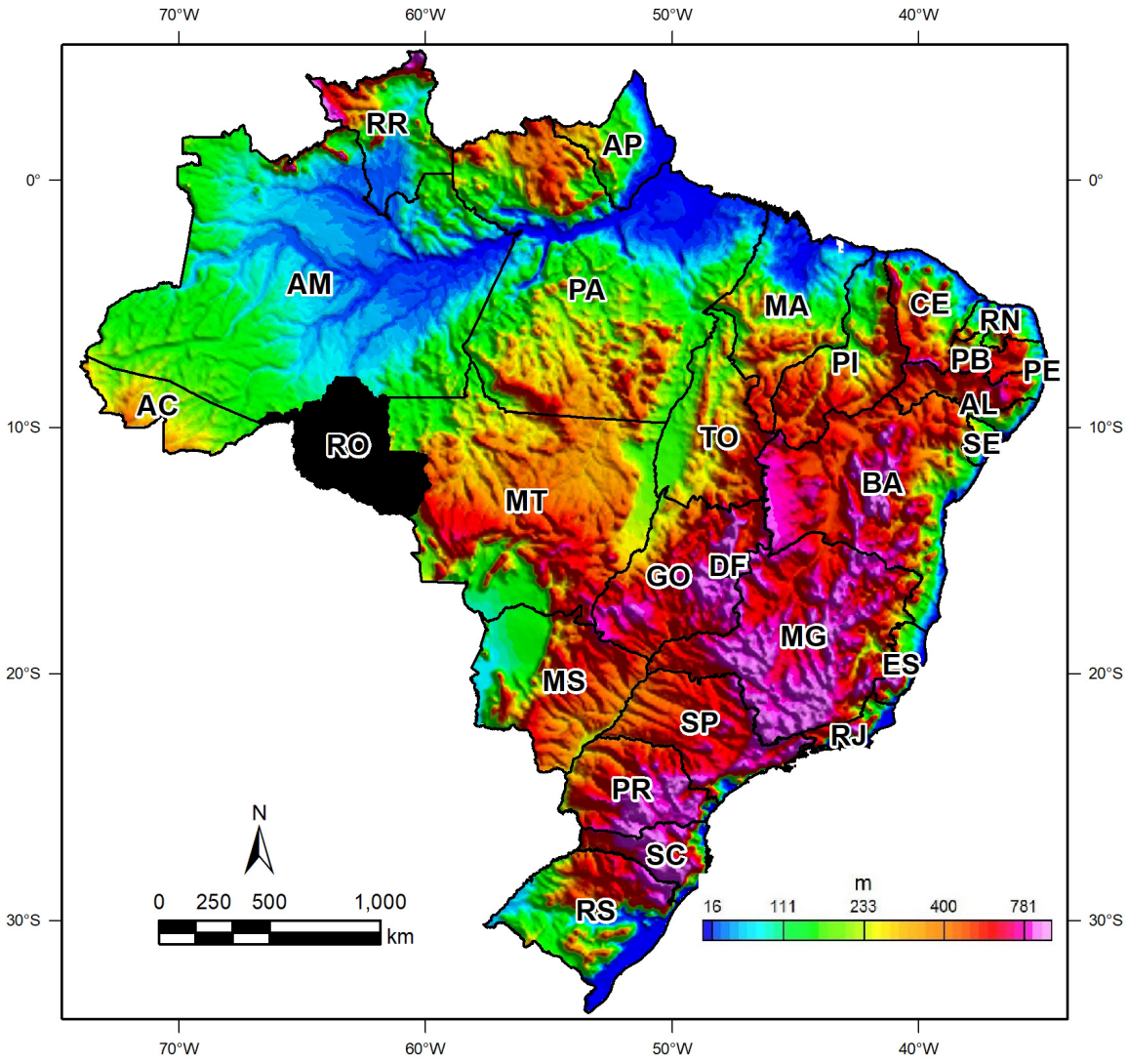


Figura 3 - Localização geográfica do estado de Rondônia. Dados topográficos do GTOPO30 - Global 30 Arc-Second Elevation.

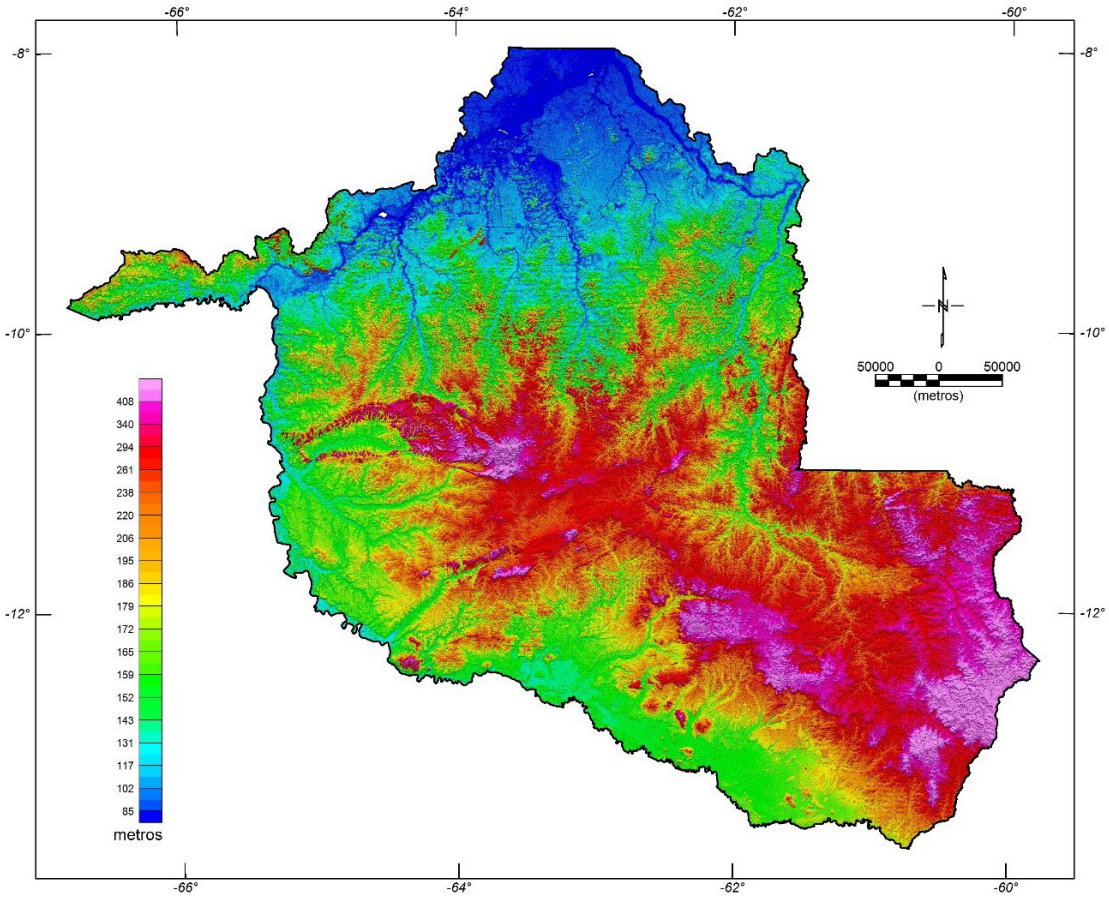


Figura 4 - Topografia do estado de Rondônia (GTOPO30).

CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS

O estado de Rondônia está situado na porção sudoeste do Cráton Amazônico (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999) e abriga rochas dos mais variados tipos, com idades desde o Paleoproterozoico até rochas sedimentares de idade fanerozoica (Figura 5). A denominação Cráton, segundo Brito Neves (2011), refere-se a domínios da crosta litosférica que se mantiveram estáveis por pelo menos 100 milhões de anos, isto é, não apresentam efeitos de deformação ou metamorfismo regional desde então. Nesta ótica, o Cráton Amazônico é a maior entidade tectônica do Brasil e uma das maiores da Plataforma Sul-Americana, ao lado da Cordilheira dos Andes (BIZZI et al. 2003).

O embasamento do estado de Rondônia – rochas ígneas e metamórficas de idade proterozoica, são agrupadas por Tassinari e Macambira (1999) nas Províncias Geocronológicas Rio Negro-Juruena (1,8 a 1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55 a 1,3 Ga) e Sunsás (1,25 a 1,0 Ga).

As rochas sedimentares de idade fanerozoica consistem dos sedimentos mesozoicos da Bacia dos Parecis, na região centro-leste do estado (municípios de Vilhena, Pimenta Bueno, Colorado do oeste, Alto Alegre dos Parecis, Cacoal, entre outros) e aqueles sedimentos de idade cenozoica associados às planícies de inundação dos principais rios que drenam o estado.

Resumo da Geologia do Estado de Rondônia

A geologia do estado de Rondônia abrange rochas e terrenos geológicos distintos, passando por terrenos metamórficos de alto grau paleoproterozoicos, grandes exposições de rochas graníticas mesoproterozoicas e sedimentares meso-neoproterozoicas, mesozoicas e cenozoicas (Figura 6). O "cristalino" e as coberturas sedimentares apresentam-se igualmente distribuídas em áreas ao longo do estado. Para fins de simplificação, podemos dividir os domínios geológicos do estado em: Terreno Jamari, Suíte Serra da Providência, Faixa Alto Guaporé, Faixa Nova Brasilândia, Suíte Intrusiva Rondônia, Bacia dos Parecis e Coberturas Sedimentares.

• Terrenos Jamari

Na região centro-leste de Rondônia o Terreno Jamari é constituído por ortognaisses relacionados a arco de margem continental ativa com idade entre 1,76 e 1,69 Ga, por duas unidades de rochas supracrustais depositadas em bacias

associadas à evolução do arco (1,74 e 1,67 Ga), que geraram protocrosta paleoproterozoica, por quatro suítes de granito/charnockitos com química tipo A (1,55 Ga, 1,49 Ga, 1,34 Ga e 1,08 Ga) e por uma unidade de cobertura neoproterozoica intracontinental (1,0-0,95 Ga).

O Complexo Jamari, integrante do terreno homônimo, representa núcleos antigos (*inliers*) do embasamento. Gnaisses tonalíticos da unidade apresentam tendência metaluminosa a fracamente peraluminosa, cálcio-alcalina de médio a alto potássio (QUADROS & RIZZOTTO, 2007). Segundo Payolla et al. (2002), a ambiência tectônica proposta para a geração do magmatismo que deu origem aos ortognaisses é uma margem continental tipo Andino.

O Terreno registra a deformação e metamorfismo de, pelo menos, três eventos orogenéticos colisionais: Orogenia Quatro Cachoeiras (1,67-1,63 Ga); Orogenia Rondoniana-San Ignácio (1,37-1,32 Ga) e Orogenia Sunsás (1,18-1,10 Ga) (QUADROS et al. 2011). Scandolara et al. (2011) sugeriram que as rochas do Arco Magmático Jamari, por apresentarem diversas semelhanças (litológicas, geoquímicas, geocronológicas) com as rochas do Arco Magmático Juruena (noroeste do MT), podem representar uma única entidade geotectônica, denominada Arco Magmático Juruena-Jamari.

• Suíte Serra da Providência

Segundo Quadros e Rizzotto (2007), as rochas da Suíte Serra da Providência tem ampla distribuição na porção centro-norte do estado de Rondônia, principalmente entre o médio curso do Rio Machado e o alto curso do Rio Branco, onde compõem o batólito que sustenta a serra que dá nome a unidade geológica, além da região de Machadinho d'Oeste e Ouro Preto d'Oeste.

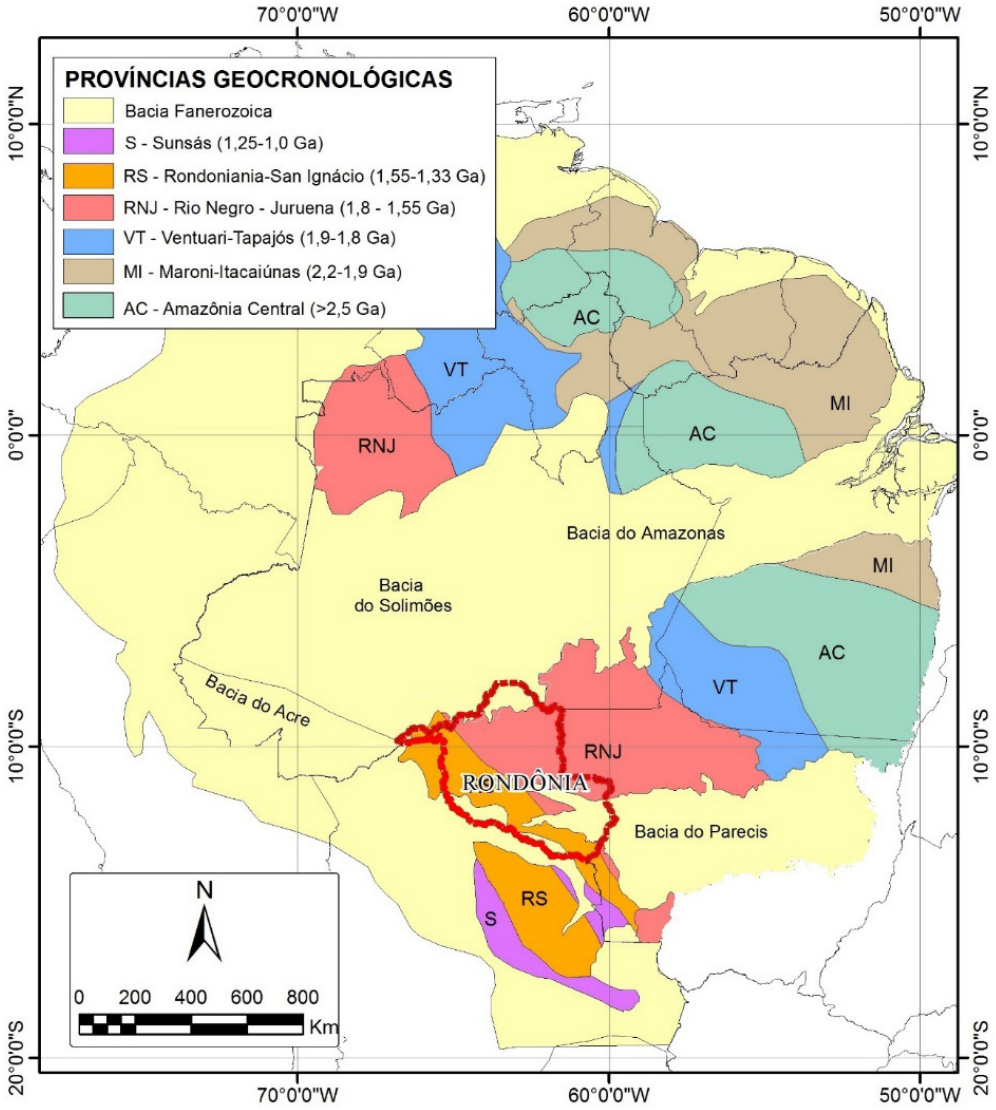


Figura 5 - Localização do estado de Rondônia no Cráton Amazônico e as subdivisões de províncias geocronológicas segundo a concepção de Tassinari e Macambira (1999)

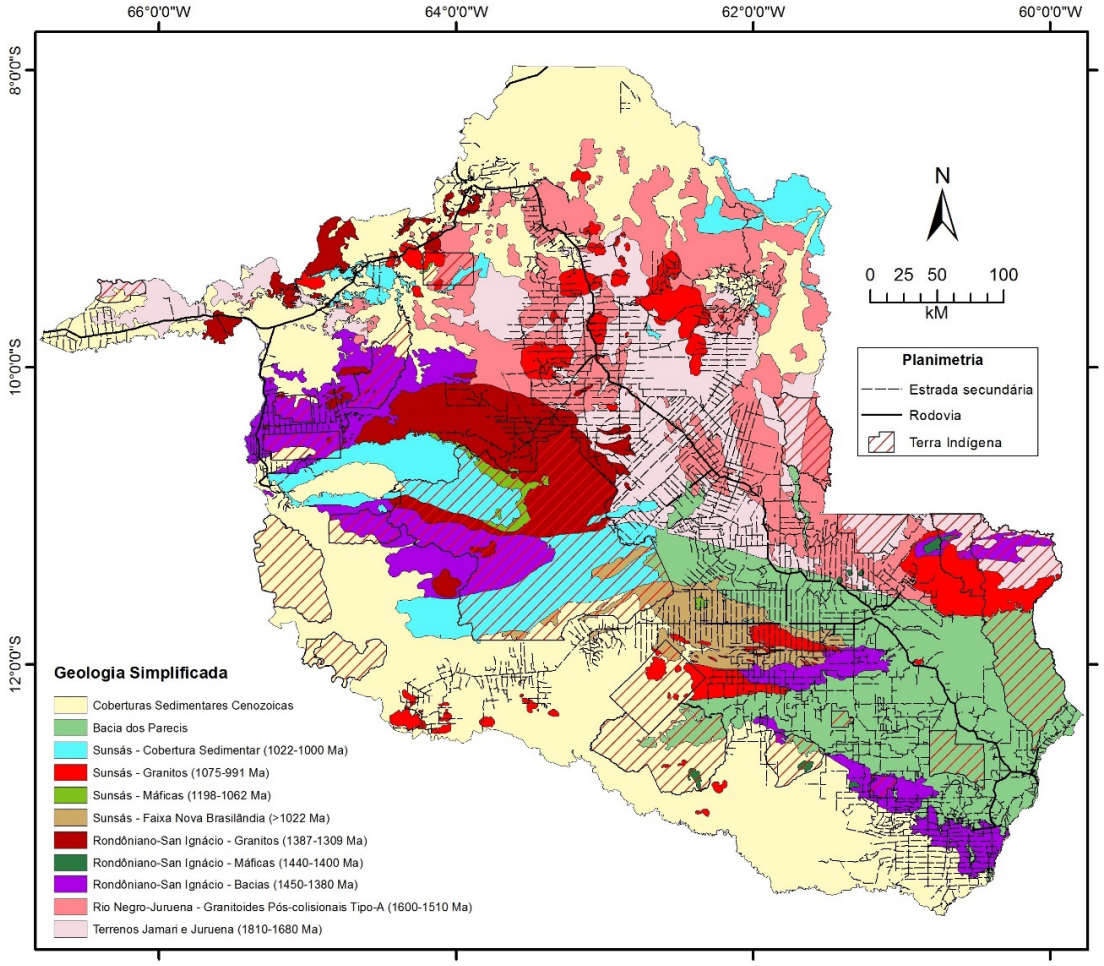


Figura 6 - Geologia simplificada do estado de Rondônia, com delimitação das áreas de Terras indígenas e vias de acesso.

O batólito principal tem mais de 100 km de comprimento, no seu eixo maior. Quadros e Rizzotto (2007) atribuem quatro litotipos principais a esta unidade: monzogranito porfirítico, viborgito, sienogranito granofírico e piterlitos (hornblenda-biotita monzogranitos).

O batólito principal é intrusivo no Complexo Jamari, embora haja raras exposições de contato tectônico (QUADROS & RIZZOTTO, 2007), apesar do contato ser facilmente inferido em imagens de satélites e dados aerogeofísicos.

O magmatismo Serra da Providência foi episódico e possivelmente perdurou por período superior a 50 Ma (QUADROS & RIZZOTTO, 2007). A fase mais antiga, representada por biotita sienogranitos porfirítico tem idade de cristalização de 1.606 ± 24 Ma, seguida por piterlito datado de 1.573 ±15 Ma (BETTENCOURT et al. 1999).

• Faixa Alto Guaporé

A Faixa Alto Guaporé, assim denominada por Rizzotto e Dehler (2007), mostra estruturação WNW-ESSE e, segundo os autores, é produto de orogenia acrescionária-colisional com metamorfismo de médio a alto grau e idades que permitem associá-la à orogenia Rondoniano-San Ignácio. (LITHERLAND et al. 1989, 1986). A Faixa Alto Guaporé é representada principalmente por rochas máfico-ultramáficas (RIZZOTTO et al. 2013; ROMANINI, 2001) e rochas metassedimentares. É intrudida por diversos plutons gabroicos e graníticos de características tardi-a-pós cinemáticos. Este orógeno tem história evolutiva ligada aos períodos Calimiano e Ectasiano.

As rochas metassedimentares pertencem ao Complexo Colorado. Este complexo é constituído por rochas clástico-química bandadas e parcialmente migmatizadas com plagioclásio-biotita-quartzo gnaisse, granada-silimanita gnaisse, formação ferrífera bandada, gnaisse calcissilicático e talco xisto. Dados geocronológicos obtidos a partir da datação $^{40}Ar/^{39}Ar$ de hornblendas de duas amostras de anfibolito mostraram idades entre 1330 ±3 Ma e 1313 ±4 Ma (Rizzotto et al., 2002). Segundo os autores, a idade média de 1319 ± 10 Ma, é interpretada como a época de resfriamento metamórfico regional. As rochas do

Complexo Colorado podem ser correlacionadas as rochas do Grupo Nova Mamoré, que aflora na cidade homônima, no oeste do estado, além de Guajará Mirim e Porto Velho (QUADROS e RIZZOTTO, 2007).

• Faixa Nova Brasilândia

A Faixa Nova Brasilândia é constituída pelo Grupo Nova Brasilândia, o qual é subdividido na Formação Rio Branco e na Formação Migrantinópolis (RIZZOTTO, 1999). A Formação Migrantinópolis é constituída por rochas supracrustais psamo-pelíticas (metaturbititos) com intercalações de *sills* de metagabro/anfibolito e rochas calcissilicáticas, enquanto a Formação Rio Branco é formada por rochas metabásicas representadas por *sills* e *stocks* de metagabro, metadiabásio e anfibolitos intercalados com lentes de rochas calcissilicáticas (RIZZOTTO, 1999). Anomalias magnéticas indicam que esta Faixa Nova Brasilândia é contínua e possui, aproximadamente, 1.000 km na direção E-W, com outros dados geológicos sugerindo que este cinturão se estende ao longo de 2000 km no mesmo *trend* magnético (TOHVET et al, 2006). Neste contexto, a Orogenia Nova Brasilândia é caracterizada por um estágio transtensional sucedido por um regime transpressional acompanhado de encurtamento crustal gerado por um campo de tensão compressional de direção N45°E. Rizzotto (1999) propõem que os protólitos sedimentares e ígneos da Faixa Nova Brasilândia foram formados durante o final do Mesoproterozoico em rifte intracontinental, aberto em torno de 1.150 Ma e fechado em 1.110 Ma (BERGAMI & PRADO, 2019).

• Suíte Intrusiva de Rondônia

Esta unidade foi inicialmente proposta por Kloosterman (1968) como *Younger granites of Rondônia* e este autor indica sua localidade-tipo situada nas cabeceiras do rio Candeias (QUADROS e RIZZOTTO, 2007).

Bettencourt et al. (1999) associaram a essa unidade os granitos de idade de cristalização em torno de 1.000 Ma, representados pelos maciços Ariquemes, Massangana, São Carlos, Caritianas, pedra Branca, Santa Bárbara e Jacundá (a maior parte destes associados à mineralização de cassiterita).

Os maciços graníticos ocorrem como batólitos e *stocks* multifásicos e epizonais, alojados em cruzamento de estruturas rúpteis (QUADROS & RIZZOTTO, 2007). São subcirculares, com algumas feições subvulcânicas e intrudem as rochas do Complexo Jamari e da Suíte Serra da Providência.

A maioria dos granitos contem mineralizações de Sn, W, Nb-Ta, Be e F, em parte associadas as fases tardias do magmatismo representadas por albita-leucogranitos (mina de Bom Futuro, QUADROS & RIZZOTTO, 2007)

• Bacia dos Parecis

A Bacia dos Parecis abrange parte do sudeste de Rondônia. Possui formato alongado na direção E-W e nela estão inclusas rochas do Grupo Parecis e às coberturas sedimentares do Cenozoico. O Grupo Parecis é constituído por diamictito, pelito com *dropstones* e lentes de calcário da e por siltitos, ritmitos e arenitos associados a unidades mais ao topo (ADÔRNO et al. 2017).

O Grupo Parecis, de idade neojurássica a eocretácea, assenta em discordância erosiva sobre o Grupo Pimenta Bueno, ou diretamente sobre o embasamento. O Grupo Parecis apresenta assinatura geológica estritamente continental, possuindo sistemas deposicionais fluviais entrelaçados, proximais a distais, com contribuições eventuais de sedimentação eólica e lacustre na base (Formação Salto das Nuvens). A Formação Salto das Nuvens é intrudida pelos basaltos e diabásios da Formação Anari, que são capeados por uma sequência de arenitos eólicos com eventuais canais fluviais interpretados como drenagens efêmeras (Formação Utiariti). Fator marcante na cartografia do Grupo Parecis é que diferente do Grupo Pimenta Bueno, que está delimitado pelas falhas que limitam os grábens onde ocorre, o Grupo Parecis extrapola os limites destas falhas (SILVA et al. 2019).

• Coberturas Sedimentares Cenozoicas

Ocorrem por todo o estado, principalmente associadas aos terraços dos grandes rios. Podem ser divididas em sedimentos de depósitos fluviais arenosos, depósitos pantanosos associados aos terraços dos principais rios e às coberturas detrito-lateríticas.

Os depósitos fluviais arenosos da Formação Guaporé são constituídos por sedimentos imaturos tais como areia grossa, areia média com níveis cascalhosos e subordinadamente, níveis argilosos.

Os depósitos pantanosos são constituídos por areias finas, esbranquiçadas, sem estruturas sedimentares bem desenvolvidas, intercaladas com silte, e mais raramente, com argila apresentando matéria orgânica subordinada.

Por sua vez, as coberturas detrito lateríticas geralmente ocorrem recobrindo rochas areníticas da Bacia dos Parecis, em altitudes que variam de 380 até 450 metros. Segundo Rizzotto et al. (2016), a forma de ocorrência mais comumente encontrada é de superfície aplainada em forma de platô, onde se desenvolvem crostas lateríticas e/ou silcretes. Nódulos e pisólitos de hematita e goethita são comuns nas encostas dos platôs, gerados pelo desmantelamento das crostas lateríticas, onde os mesmos são aproveitados como material de empréstimo e revestimento das rodovias não pavimentadas.

Recursos Minerais do Estado de Rondônia

Os primeiros recursos minerais a serem explorados sistematicamente no estado de Rondônia foram as mineralizações associadas com Estanho aluvionar, seguida posteriormente pela exploração de mineralizações primárias associadas à Suíte Intrusiva Rondônia, que remetem a meados do século XX. Estes recursos, além de outros associados a estas mineralizações (Nb, Ta, W), são explorados até os dias atuais por mineradoras e cooperativas garimpeiras (Figura 7).

Diversos garimpos de ouro aluvionar ao longo do curso dos rios Madeira e Mamoré, e outros de ouro associado a veios de quartzo em Colorado do Oeste, Tarilândia, Corumbiara, entre outros, foram criados durante a década de 1980, porém com período de atividade curto, a exceção das dragas para extração de ouro aluvionar no Rio Madeira.

Da mesma forma, foi desenvolvida atividade garimpeira aluvionar de diamante em diversos pontos do estado, tendo sido identificados inúmeros corpos kimberlíticos em três grandes campos majoritariamente localizados no estado de Rondônia.

Atualmente, novas ocorrências estão sendo registradas e descritas por trabalhos do Serviço Geológico do Brasil, ou por empresas de iniciativa privada, em *commodities* como Cobre, Manganês, Zinco e Chumbo, entre outros. Destaca-se aqui a mina de Zn-Pb em implantação no município de Nova Brasilândia, terreno fértil para novas descobertas deste tipo.

• Au aluvionar

Segundo Rizzoto et al. (2005), há descrição de pelo menos 22 depósitos auríferos associados aos sedimentos do Rio Madeira, concentrando-se predominantemente no nível conglomerático conhecido como “Mucururu”. Estes níveis são compostos por areia grossa conglomerática, com clastos variando de grânulo a seixo, predominantemente de quartzo e/ou fragmentos de rocha, cimentados por óxido de ferro e quartzo, feldspato, magnetita, ilmenita turmalina e ouro presentes na matriz.

Os cristais de ouro são lamelares, algumas vezes encurvados, apresentando dimensões milimétricas, situado na faixa de 150 a 200 *mesh*. Devido a ser predominantemente composto por partículas finas, os garimpeiros se referem ao ouro como “pó de ouro”, podendo ser até imperceptível a olho nu (RIZZOTTO et al. 2005).

Os depósitos aluvionares do rio Madeira com ouro associado podem ser caracterizados como de fácies de canal, além dos terraços marginais, paleocanais e paleomeandros (ADAMY & ROMANINI, 1990).

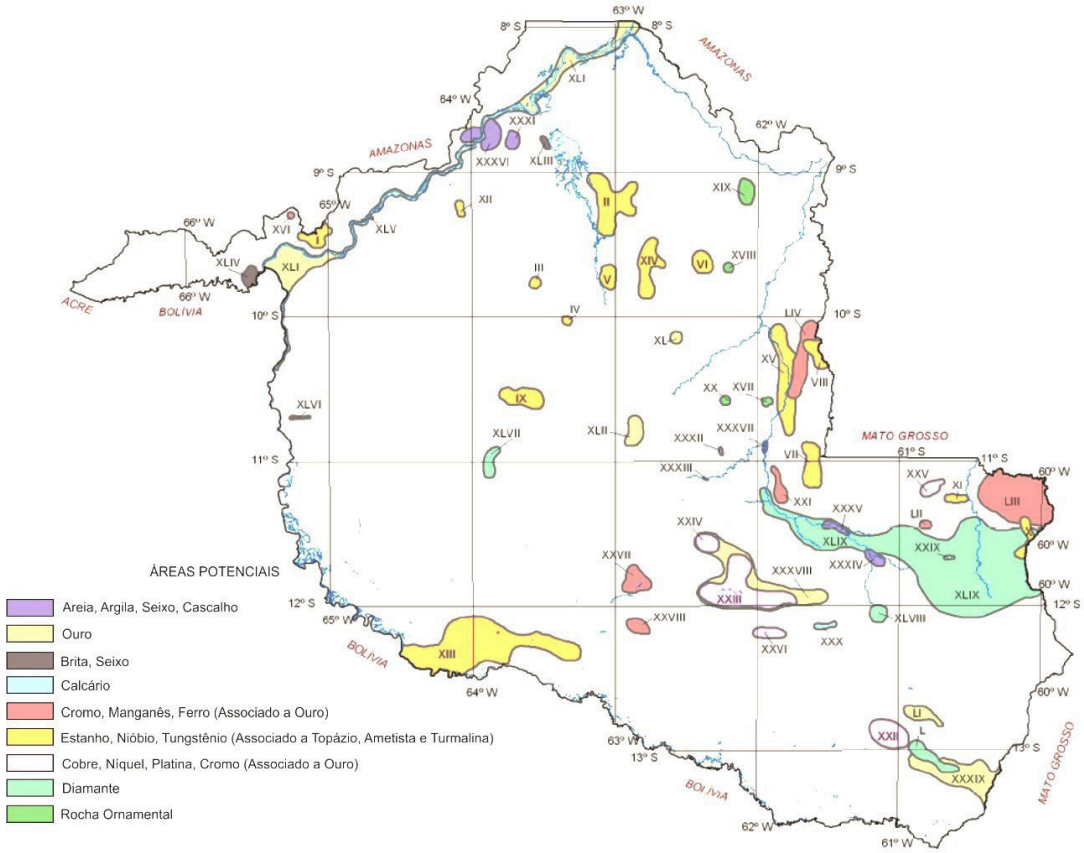


Figura 7 - Mapa das Áreas de Potencial Mineral do estado de Rondônia (Quadros e Rizzotto, 2007).

O ouro do rio Madeira é extraído na região da Reserva Garimpeira do Rio Madeira, com regulamentação no princípio da década de 1980, e previamente a construção das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, cobriam uma área superior a 450 km² (RIZZOTTO et al. 2005). A forma principal de extração é por meio de dragas, com auxílio de mergulhadores, por vezes, em regiões de lâmina d'água superior a 15 metros.

• Campos kimberlíticos e ocorrências de diamante

Cabral Neto et al. (2017) citam que os relatos de diamantes recuperados em fontes primárias em Rondônia têm sido registrados há quase um século. Houve registro de lavras de diamante em várias porções do estado, principalmente de diamante em aluvião, com destaque para a região centro-leste do estado onde foram recuperados os maiores diamantes que se tem registro para o estado de Rondônia (56,3 e 54 cts, CABRAL NETO et al. 2017).

Estes autores separam os kimberlíticos do estado de Rondônia em três grupos distintos (Figura 8): Campo de Pimenta Bueno (dividido entre os *clusters* Cosmos-Pepper, Arara, Carolina, Encanto e Cinta-Larga), Campo de Ariquemes (*cluesters* Cujubim e Coringa) e Campo de Colorado do Oeste (*cluster* Concord e kimberlito Tarcísio).

Cabral Neto et al. (2017) ainda concluem que os campos kimberlíticos de Rondônia apresentam potencial de moderado a alto, com destaque para o Campo Kimberlítico de Pimenta Bueno devido a sua proporção de corpos mineralizados e a química altamente favorável à mineralização.

• ETR (±Zr) – Elementos Terras Raras

Segundo Buch et al. (2018a), a ocorrência de ETR no município de Costa Marques foi inicialmente descrita por trabalhos pioneiros da CPRM nas décadas de 1970 a 1990 (COSTA, 1990; FREITAS et al. 1985; TORRES et al. 1979), inicialmente identificando mineral xenotímio em concentrados de bateia.

Costa (1990) identificou anomalias geoquímicas de Y, La, Zr e Ti em amostras de solo, além de mencionar a ocorrência de outros minerais de interesse, como bastinesita, monazita, zircão e titanita. Recentemente, Buch et al. (2018a) indicaram concentração de elementos terras raras em óxido (TREO, na sigla em inglês) superiores a 1% em rocha mineralizada. Já Buch (2018), caracteriza melhor as nuances da geologia e

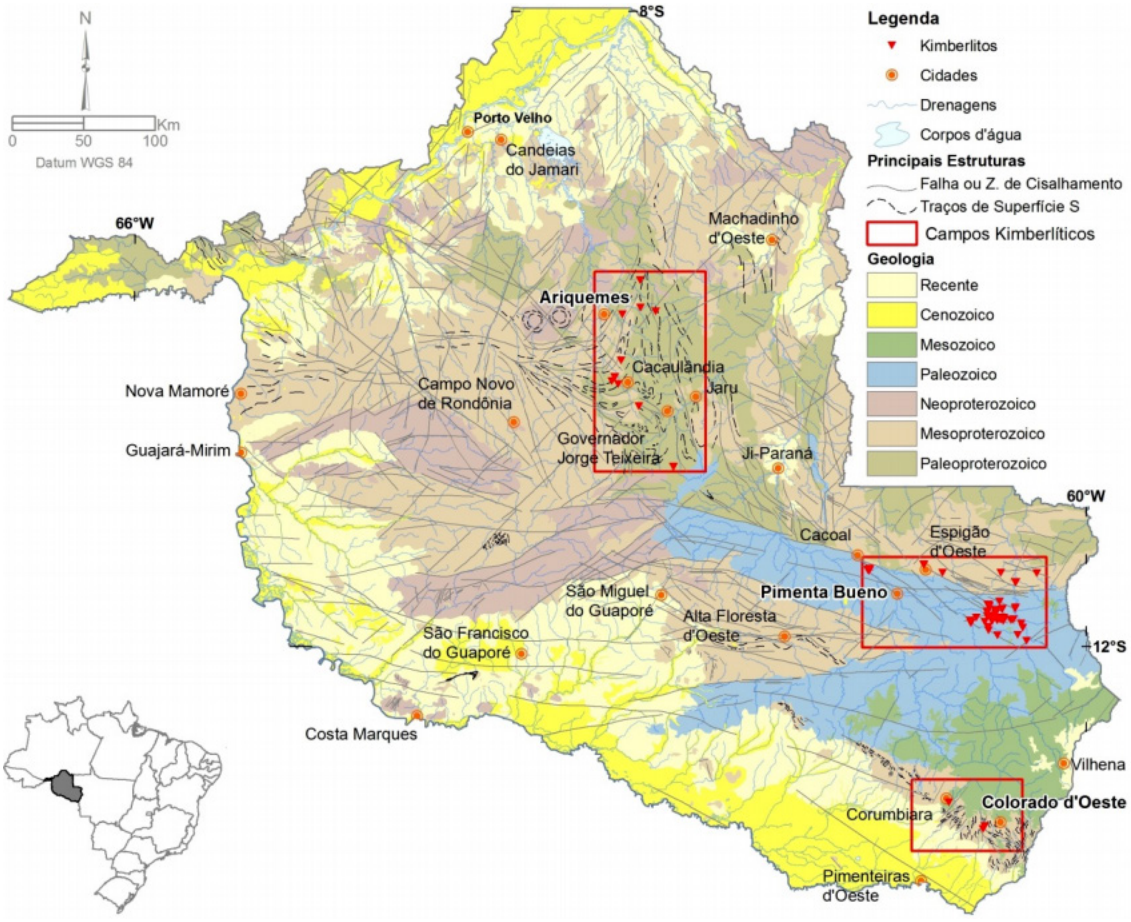


Figura 8 - Campos Kimberlíticos de Rondônia, segundo Cabral Neto et al. (2017)

da petrogênese das rochas mineralizadas, além de dividir o maciço da Serra do Ouro Fino em duas suítes de idade distintas: Suíte Ouro Fino, hospedeira da mineralização, possui afinidade com granitos pós-colisionais da Província Rondoniana-San Ignácio e rochas ígneas subvulcânicas intrusivas, com afinidade com a Suíte Intrusiva Rondônia.

Além disso, Buch (2018) mostra detalhes da mineralização em rocha primária, indicando que há alto TREO (até 3,5% em algumas amostras), além de alta concentração de zircônio (Figura 9).

• Sn-(±W-Nb-Ta) na Suíte Intrusiva Rondônia

Segundo Buch et al. (2018b), as primeiras descobertas de cassiterita no estado de Rondônia remetem a década de 1950, em uma região de lavoura próxima ao Rio Machadinho, o que, em alguns anos depois, culminaria em um primeiro boom de produção de estanho e metais associados no estado de Rondônia incentivado pelo cenário pós-guerra. Na década de 1960, Rondônia foi responsável por pelo menos 50% da produção de Sn do Brasil, com inúmeras atividades garimpeiras distribuídas ao longo da porção central do estado, onde se encontravam teores altíssimos de cassiterita em depósitos aluvionares.

Os principais depósitos, exauridos ou não, desenvolvidos por atividade garimpeira ou mineração mecanizada foram Oriente Novo, São Lourenço, Santa Bárbara, Pedra Branca, Caritianas e Bom Futuro, entre outros.

Hoje, as atividades extrativas estão concentradas nas mãos de cooperativas de garimpeiros, como a COOPERSANTA, COOPERMETAL, CEMAL, Cooperativa dos Garimpeiros de Mutum Paraná, além de empresas como Metalmig Mineração e Estanho de Rondônia AS (ERSA).

Ainda segundo Buch et al. (2018b), Rondônia também produz uma quantidade significativa de metais associados ao estanho, como Nióbio, cuja produção em 2016 teria sido superior à 463 toneladas.

As mineralizações de Sn e metais associados estão condicionadas principalmente as rochas da Suíte Intrusiva Rondônia ou a paleoaluviões decorrentes da erosão destas.

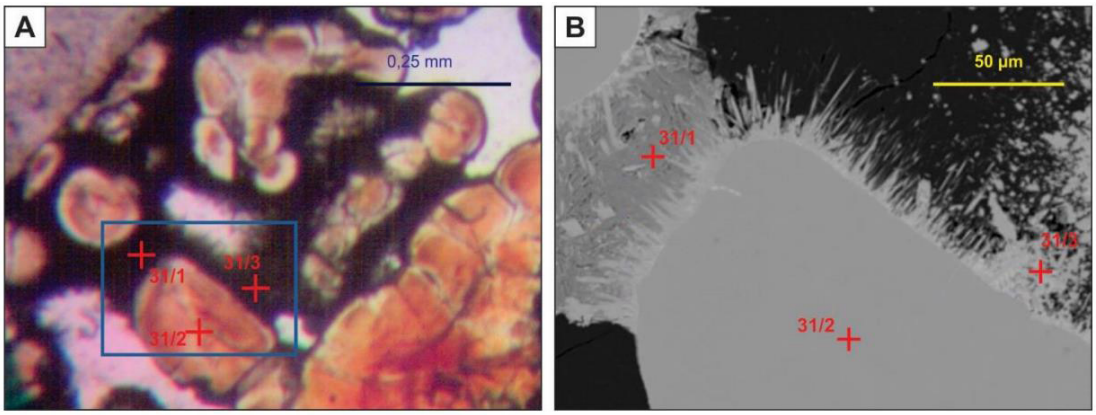


Figura 9 - Fotomicrografias de rocha mineralizada da Suíte Ouro Fino (Buch, 2018). A) Fotomicrografia com destaque para cristais de zircão e B) imgem de EDS com sobrecrescimento de zircão hidrotermal em elpidita mineralizada em ETR.

MATERIAIS E MÉTODOS

DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados aerogeofísicos do estado de Rondônia foram levantados em sete projetos (Figura 10):

i) Sudeste de Rondônia (LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES, 2006)

ii) Rio Machado (LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES, 2009)

iii) Rondônia Central (LASA PROSPECÇÕES, 2010).

iv) Sudoeste de Rondônia (PROSPECTORS AEROLEVANTAMENTOS E SISTEMAS, 2010).

v) Japuíra (LASA PROSPECÇÕES, 2014)

vi) Rio Branco-Machadinho (LASA PROSPECÇÕES, 2015)

vii) Rio Madeira-Ituxi (PROSPECTORS AEROLEVANTAMENTOS E SISTEMAS, 2015)

Estes projetos levantaram perfis magnetométricos do campo magnético total e gamaespectrométricos de alta densidade, com linhas de voo e de controle espaçadas de 500 m e 5.000 m, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura de voo foi fixada em 100 m acima do terreno. Foram empregadas aeronaves equipadas com magnetômetro e gamaespectrômetro, posicionadas pelo sistema de observação de satélite GPS com precisão de 1 m. O magnetômetro com sensor de vapor de césio foi montado na cauda da aeronave (tipo Stinger) (Fotografia 1). As medidas foram realizadas a cada 0,1 s o que equivale, dependendo da velocidade média da aeronave a uma medida a cada 7,7 m. O gamaespectrômetro com detectores de cristais de iodeto de sódio (NaI) (Fotografia 2) realizou a análise individual e precisa dos fotopicos de potássio, equivalente tório (***e***Th) e equivalente urânio (***e***U). As medidas foram efetuadas a cada 1,0 s, representado medições a intervalos médios de amostragem de aproximadamente 77 m.

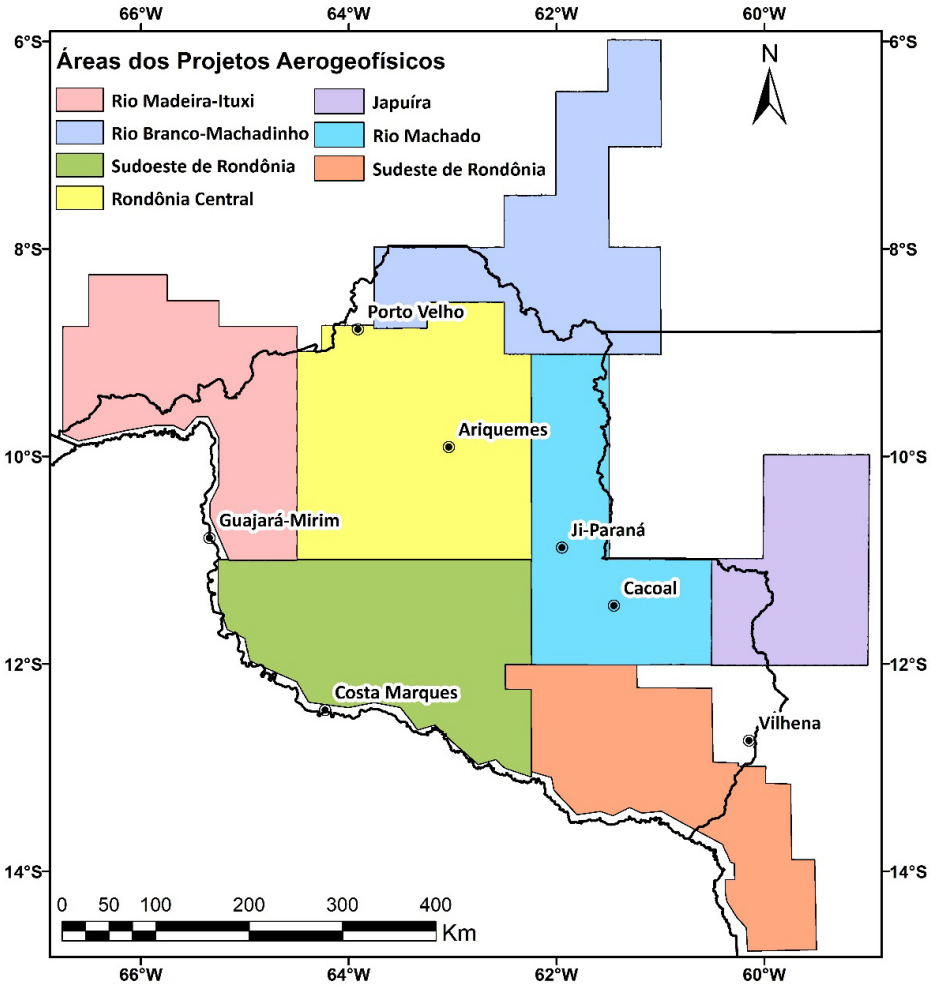


Figura 10 - Localização dos levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) realizados no estado de Rondônia entre 2006 e 2015 com linhas de voo N-S espaçadas de 500 m e altura de voo igual 100 m.



Fotografia 1 - Avião equipado com magnetômetro do tipo vapor de 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 e apontando para o sul e formando com um ângulo em relação ao eixo de rotação. Os pontos em que o eixo do dipolo intercepta a superfície da Terra são denominados polos geomagnéticos (Figura 11). 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 aposta 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 750OC, Ni 310OC, magnetita 515OC).

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

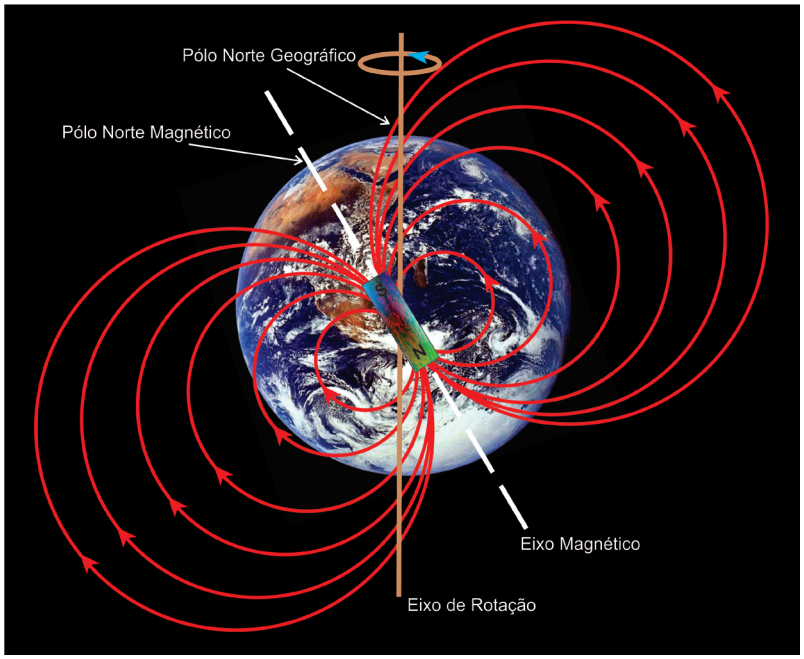


Figura 11 - Representação esquemática do Campo Magnético da Terra. Ele pode ser comparado com um grande imã cuja direção forma um ângulo agudo com o eixo de rotação.

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 produzida 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: $N = N0e^{-\lambda t}$, 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 à 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 E HARTHILL 1989).

Na natureza ocorrem em torno de 50 isótopos radioativos, mas a maioria é rara ou fracamente radioativa. Os elementos com interesse principal em radiometria são urânio (^{238}U), tório (^{232}Th) e potássio (^{40}K). Eles são o 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 formatos adequados para os trabalhos de interpretação e integração geológica. De acordo com Isles e 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 foi 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 foram interpolados em uma malha de 125 x 125 m pelo método de Bi-direcional para os dados aeromagnetométricos e da Mínima Curvatura para os dados aerogamaespectrométricos. No método Bi-direcional produziu malhas interpoladas em duas etapas de processamento: a) cada linha é interpolada ao longo da linha original de levantamento produzindo valores na intersecção de cada linha da malha com o valor observado; b) os pontos de intersecção para cada linha são interpolados na direção ortogonal para produzir valores em cada ponto requerido da malha.

Junção dos Diferentes Projetos

No estado de Rondônia, o levantamento completo com dados aerogeofísicos necessitou a execução de sete diferentes projetos (Figura 10). Portanto, uma das tarefas mais importantes deste projeto foi juntar os dados magnetométricos e gamaespectrometricos 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 empegada a ferramenta GridKnit, que utiliza técnicas de fusão de malhas que reduzem

o efeito de artefato que ocorre geralmente nas interfaces entre dados de diferentes projetos. Esta tarefa foi muito mais complicada quando aplicada nos dados gamaespectrométicos. Isto decorre por causa das diferenças nos sensores utilizados em cada levantamento. No estado de Rondônia, o principal problema de junção de dados ocorreu com o canal de contagem total e os produtos de urânio e potássio anômalos. Por causa da baixa qualidade do resultado da junção esses produtos não serão apresentados neste atlas.

Aplicação Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos

Os procedimentos de filtragens dos dados aeromagnetométricos foram efetuados por meio do *MAGMAP filtering*. Esse sistema é constituído por um grupo programas que aplicam filtragens bidimensionais em dados interpolados de campo potencial (magnéticos e gravimétricos) no domínio do número de onda. As técnicas utilizadas são adaptadas dos trabalhos de Bhattacharyya (1966) e Spector & Grant (1970). Os filtros são aplicados aos dados após um pré-processamento para remover tendências, preenchimento de espaços vazios e sua transformação para o domínio do número de onda por meio da técnica de *Fast Fourier Transform (FFT)*. Após a filtragem a malha de dados é transformada de volta para o domínio do espaço. Nos itens a seguir, onde estão apresentados os mapas aerogeofísicos, para cada produto resultante de uma transformação ou filtragem existe uma breve descrição dos fundamentos teóricos e utilidades práticas dos resultados.

MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS

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

Uma 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 magnético é fundamental.

Atualmente, em todo mundo, sobretudo nos países com dimensão continental, os governos têm 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 geológicas, 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.

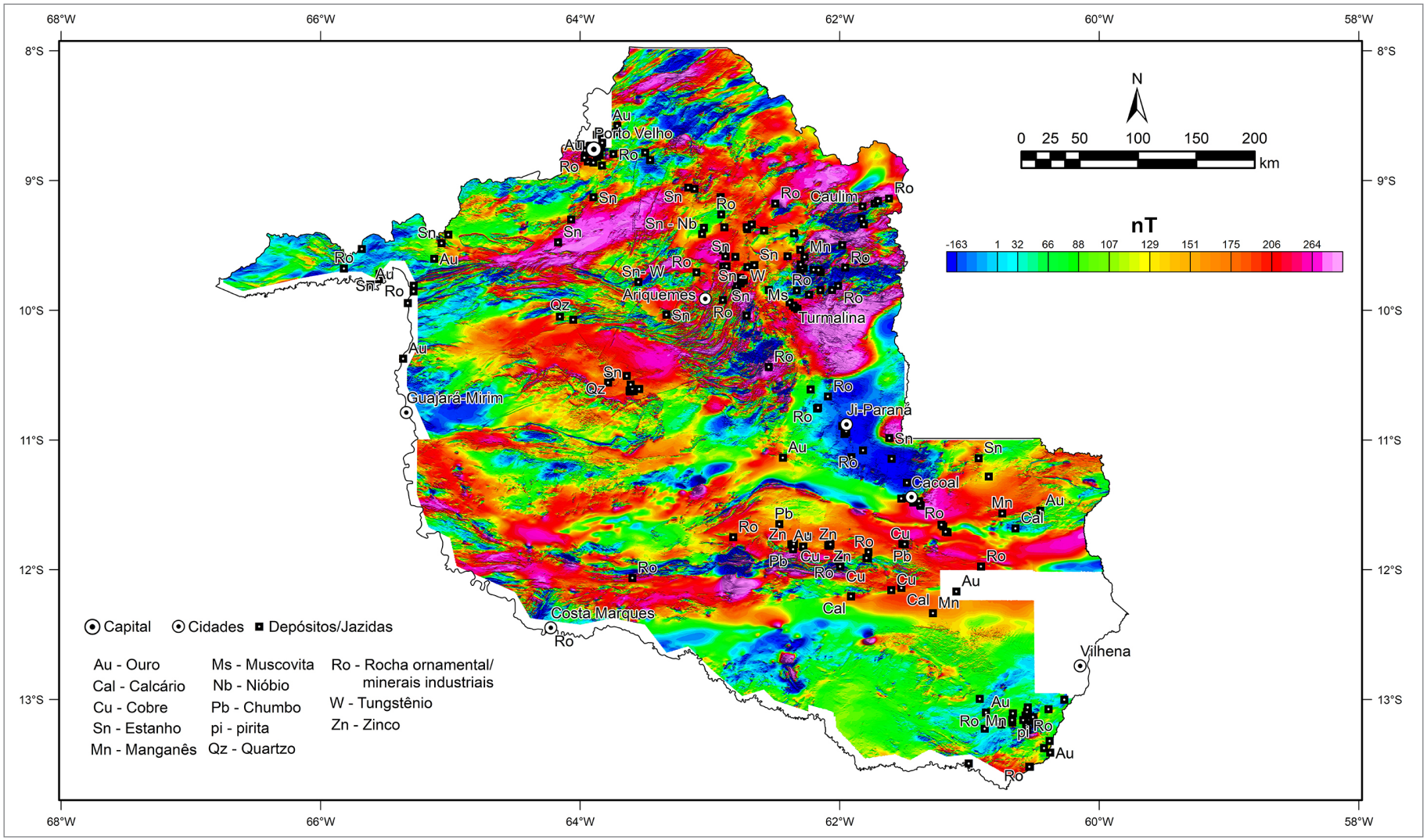
ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS

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. Neste caso, a relação frequência-amplitude das anomalias permite interpretá-las qualitativamente em termos de dimensão e profundidade. Nos trabalhos de mapeamento e prospecção devem ser destacadas as anomalias cuja relação frequência-amplitude indique profundidades rasas. Nas latitudes magnéticas atuais do estado de Rondônia, 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, além da existência de magnetismo remanente.

Para Isles e 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



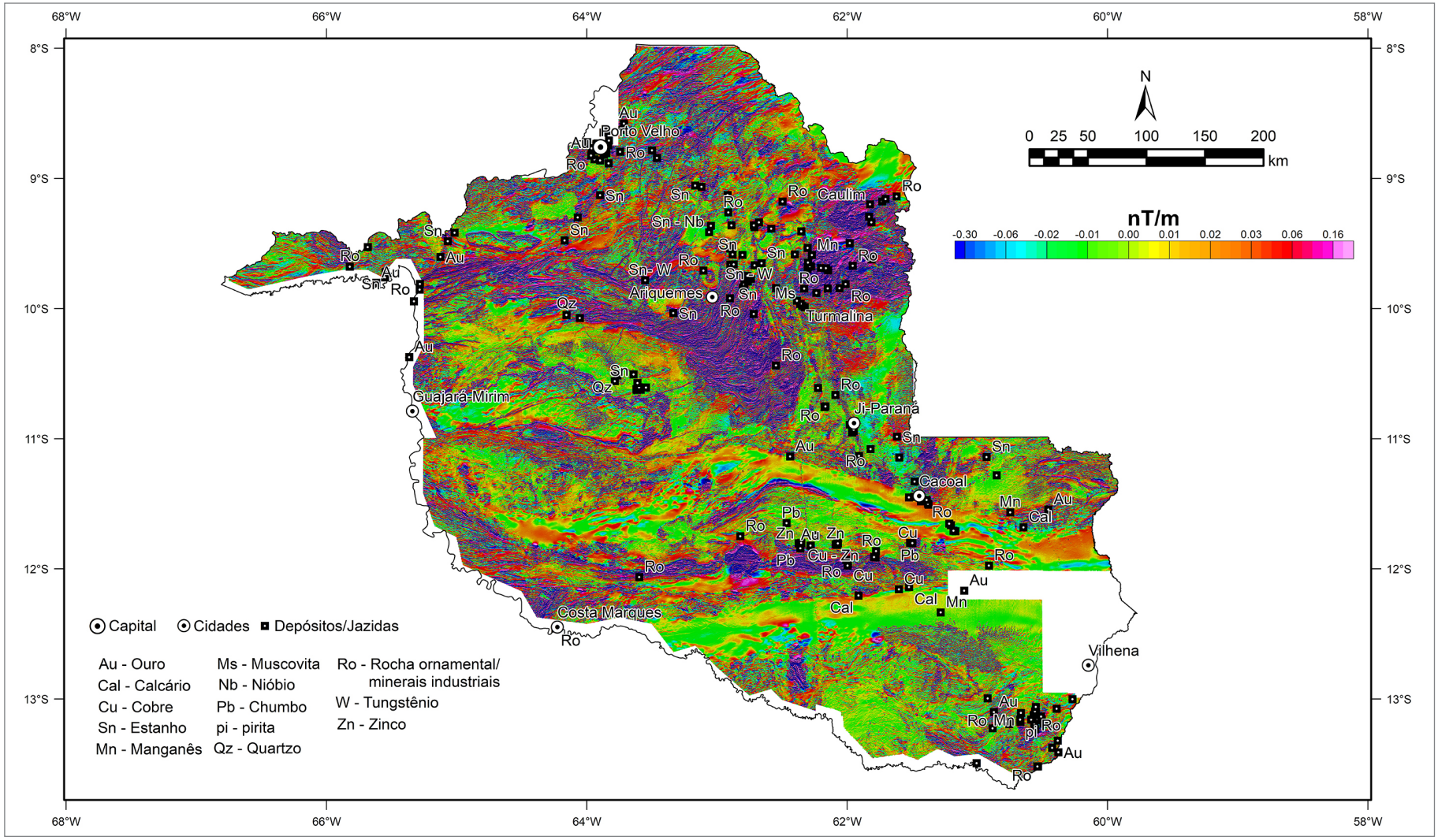
1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

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



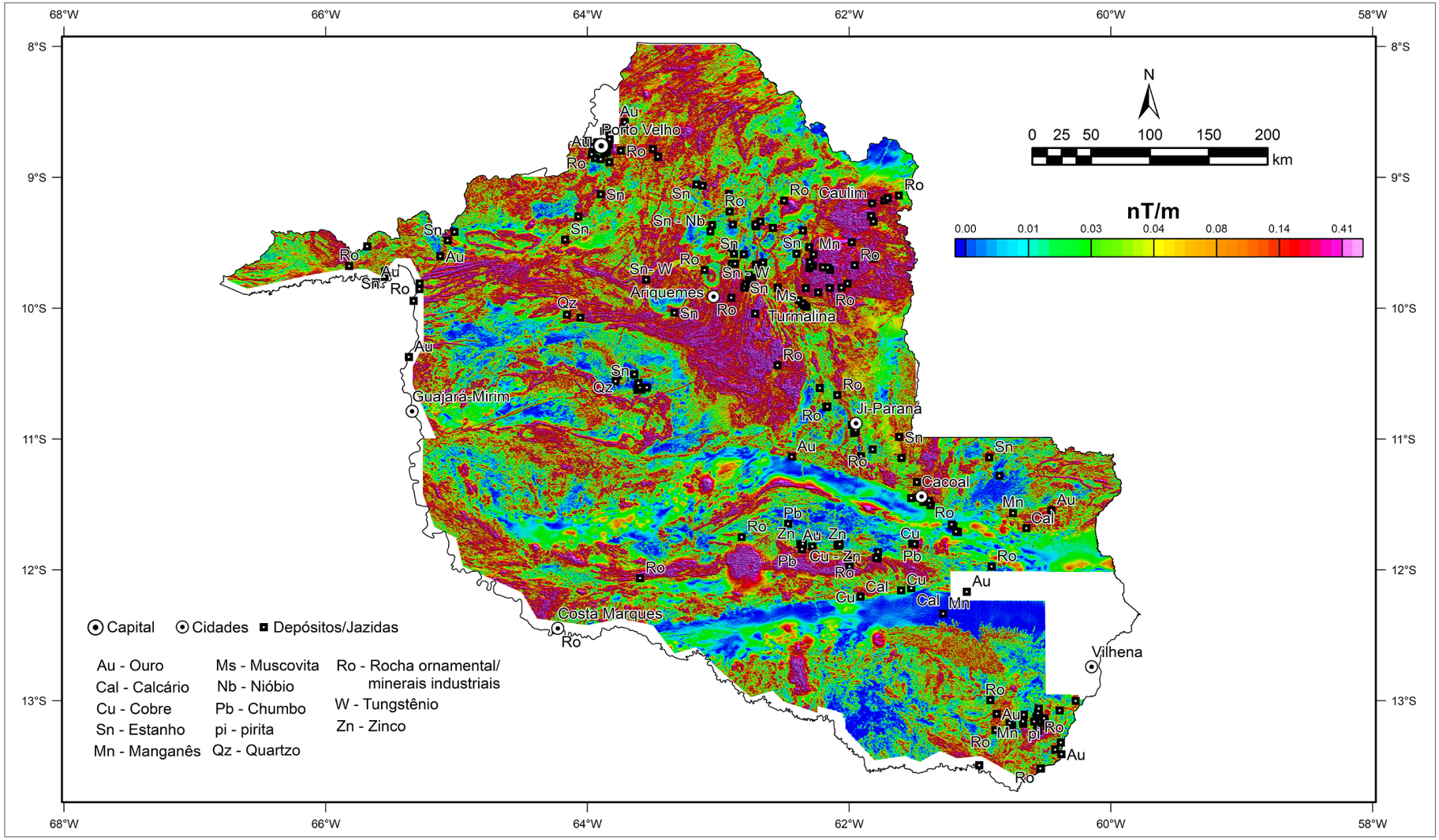
GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

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



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 fanerozoicos. 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 de escala regional, 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 (*cutoff 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 r0 foi efetuada a partir da análise do espectro de potência (Figura 12). Observa-se que o número de onda correspondente ao limite entre fontes mais profundas e as mais rasas é 0,04 ciclos/km.

O operador gaussiano residual foi utilizado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais maiores que 0,04 ciclos/km, gerando o mapa representativo das fontes rasas e anomalias com comprimentos de onda menores que 25 km.

O operador gaussiano regional foi aplicado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais menores que 0,04 ciclos/km, gerando, teoricamente, uma malha de dados com assinaturas causadas apenas por fontes profundas e anomalias com comprimentos de onda maiores que 25 km.

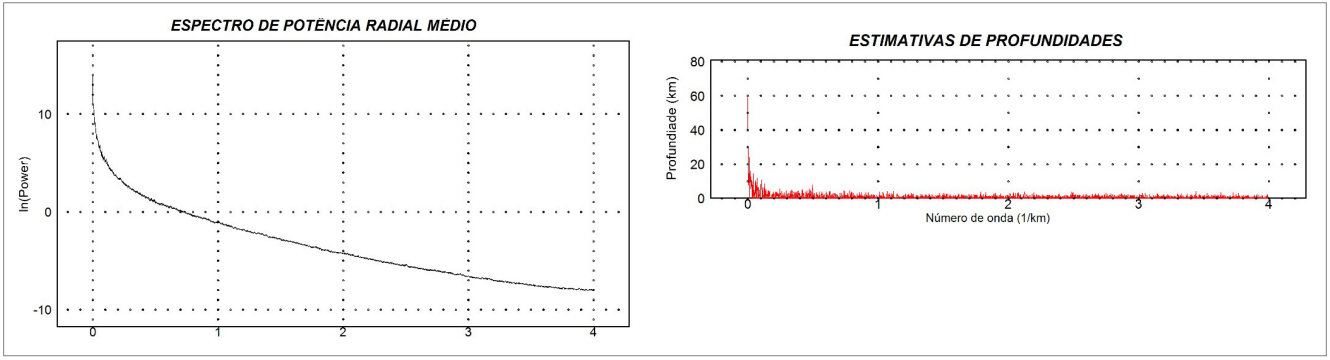
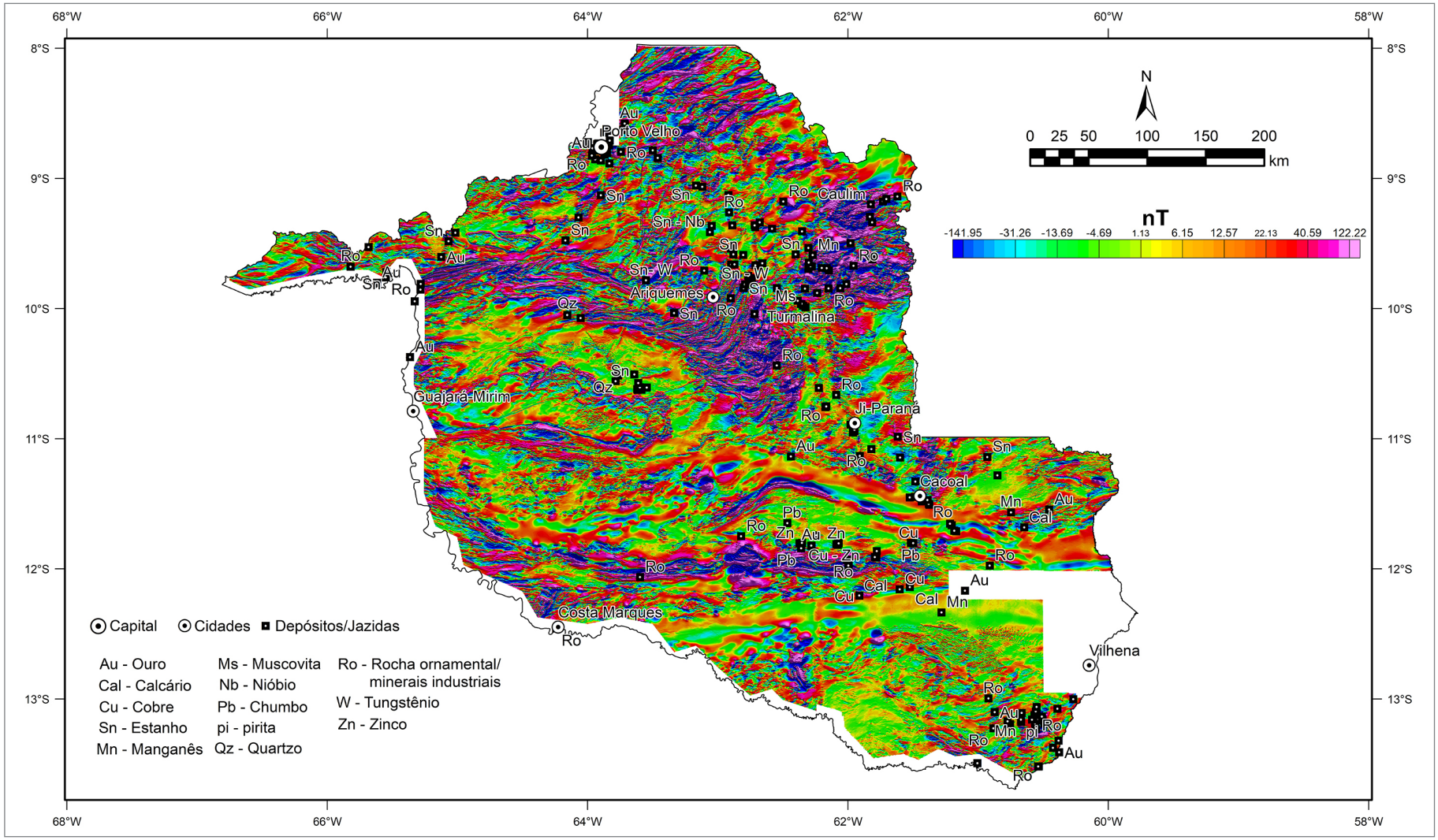
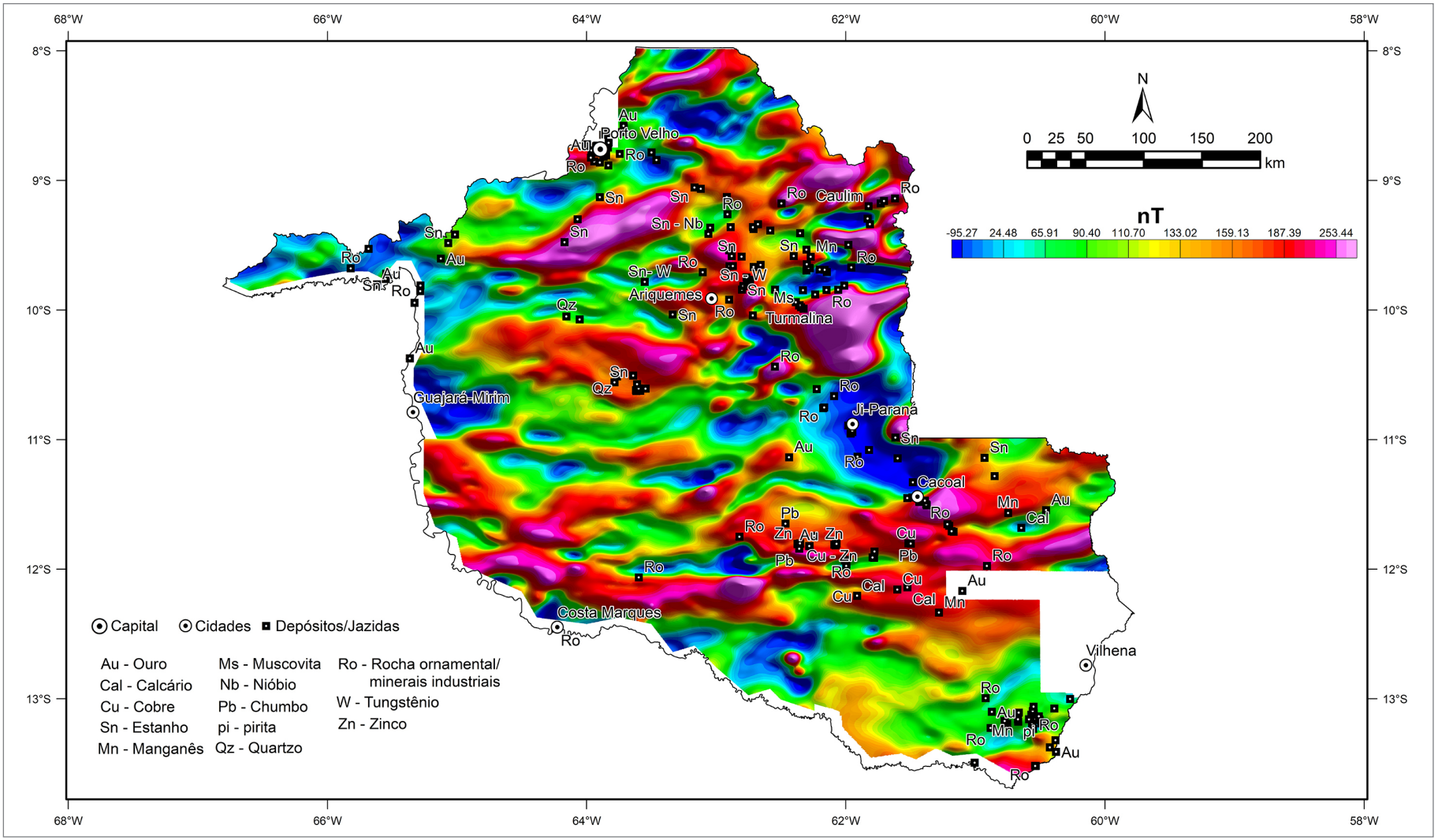


Figura 12 - Espectro de potência radial médio com estimativas de profundidades médias do topo das fontes magnéticas do estado de Rondônia. Este espectro foi empregado para separar fontes magnéticas rasas (componente residual) e fontes profundas (componente regional) por meio do filtro gaussiano de separação regional-residual.

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



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



PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DE RONDÔNIA

O ESTADO DE RONDÔNIA é separado por dois domínios magnéticos regionais principais. À centro-norte e norte do Estado é possível encontrar altas amplitudes magnéticas associadas a altas frequências que estão relacionadas ao Complexo Jamari e a Suíte Intrusiva Serra da Providência, enquanto no centro-sul e sul do Estado tem-se regiões comparativamente menos magnéticas relacionadas a Bacia do Parecis, Suíte Intrusiva Cerejeiras e Complexo São Felipe, Formação Palmeiral e coberturas sedimentares cenozoicas.

Em Rondônia existem dois lineamentos magnéticos importantes relacionados aos grabens de Pimenta Bueno e Colorado. Tais lineamentos tem continuidades a oeste da Bacia do Parecis, sendo no caso do lineamento norte do graben Pimenta Bueno, com direção NW-SE, se prolongando e limitando ao Complexo São Felipe com a Suíte Cerejeiras. O lineamento sul relativo ao graben Colorado, tem direção NE-SW e se prolonga nessa direção possivelmente refletindo o embasamento das Coberturas Sedimentares Cenozoicas do Sudoeste de Rondônia. A Faixa Nova Brasilândia, que se localiza entre os grabens de Pimenta Bueno e Colorado, se caracteriza distintamente no campo total, com anomalias magnéticas de alta amplitude. Uma importante anomalia circular não aflorante com cerca de 31 km de diâmetro se conecta à oeste da Faixa Nova Brasilândia, dando continuidade a anomalias magnéticas de alta amplitude que se prolongam nesta mesma direção em subsuperfície. As mesmas parecem se rotacionar em direção a noroeste quando alcançam o limite do Estado com a Bolívia. A Formação Migrantinópolis, que se encontra a norte da Faixa Nova Brasilândia, apresenta assinatura magnética de baixa amplitude com algumas anomalias de alta frequência.

A Formação Palmeiral apresenta anomalias magnéticas de baixa amplitude e frequência e é delimitada por bordas mais magnéticas. A mesma assinatura é encontrada no Complexo São Felipe e Suite Cerejeiras, no centro-oeste do estado. Inclusive, o limite da Suíte Intrusiva de Cerejeiras com o Complexo Jamari e a Suíte Intrusiva Serra da Providência geram um lineamento expressivo e rotacionado que acompanha o limite do corpo, aonde no centro do Estado tem direção N-S, e no oeste do estado cria lineamentos extensivos de direção E-W.

Do centro-norte e norte do Estado, temos o Complexo Jamari, a Suíte Intrusiva Serra da Providência e Suíte Intrusiva Rondônia que aumentam as amplitudes das anomalias magnéticas, bem como suas frequências. As regiões circulares e desmagnetizadas que ocorrem nessa região refletem a presença de corpos graníticos da Suíte Intrusiva Rondônia, que ocorrem principalmente na área nordeste do estado. Essa região apresenta estruturação intensa evidenciada pela alta densidade de lineamentos, de direção principal NNE e NNW.

O extremo norte do estado de Rondônia é caracterizado por extensivos lineamentos de alta frequência e amplitude na direção NE-SW que provavelmente refletem a característica do embasamento que ocorre sob as coberturas sedimentares cenozoicas aflorantes nessa região.

O estado de Rondônia é rico em dipolos magnéticos que a depender de sua distribuição, podem ser característicos de diques, corpos kimberlíticos e/ou alcalino-carbonatíticos. As anomalias de diques têm direção aproximadamente N-S na região nordeste do estado, enquanto na região oeste, tais lineamentos tem direção principal E-W.

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 (***e***U) e do tório (***e***Th), 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 carreiam 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 carreado por longas distâncias.

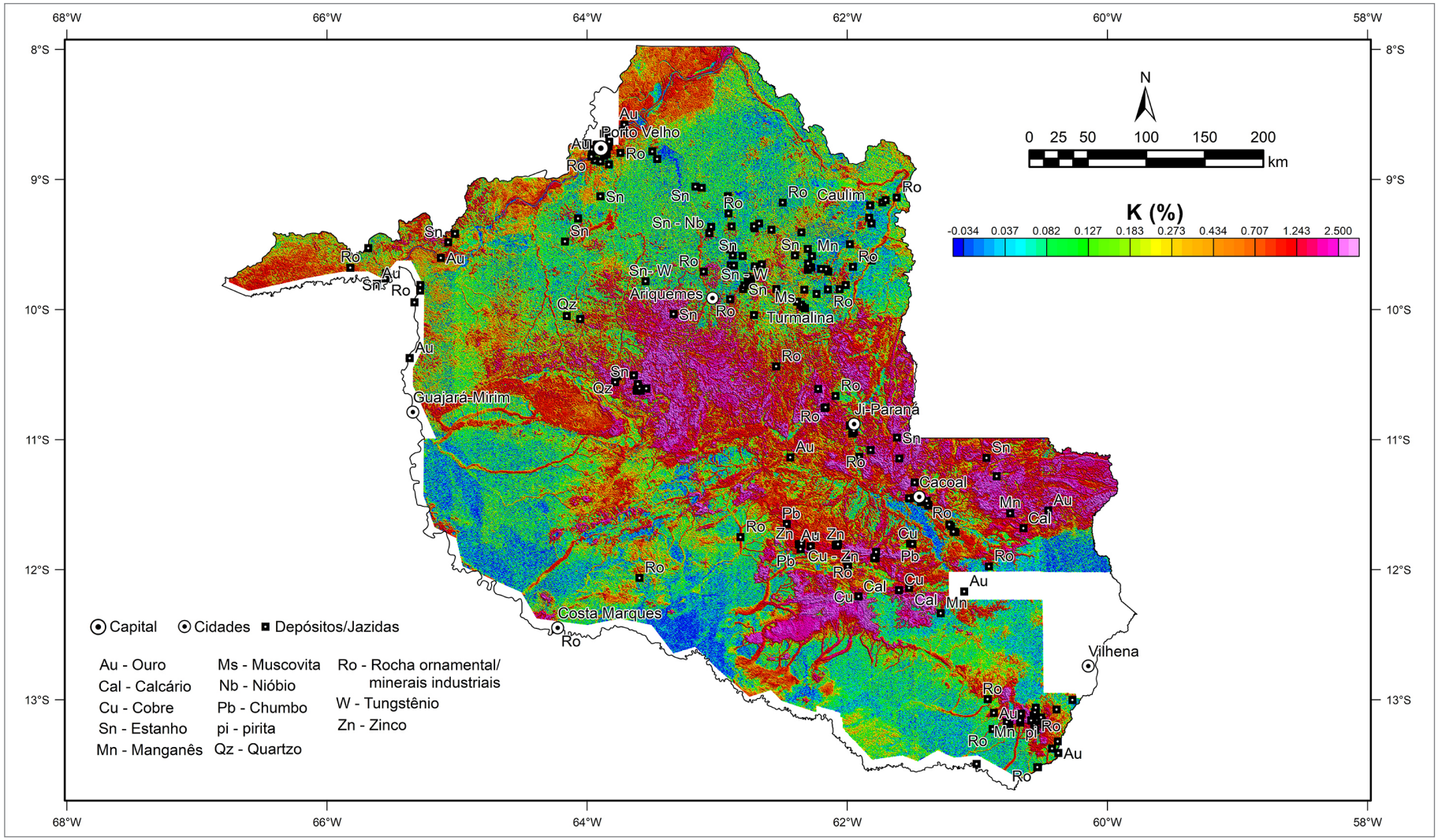
O potássio, o tório e o urânio aumentam nas rochas ácidas e diminuem nas rochas básicas. Entre eles, o tório tem o comportamento menos móvel, enquanto o urânio é o mais móvel. Comumente, o urânio quando liberado das rochas hospedeiras, tende a ser absorvido pelos minerais argilosos formados pelo intemperismo. 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 radio-elementos é às vezes também uma indicação do aumento da alcalinidade.

POTÁSSIO

NO ESTADO DE RONDÔNIA o potássio apresenta uma média de 0,57 %. Esta média está abaixo dos valores médios informados em Dickson e 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 E MARMO, 2017) são apresentadas a seguir.

O potássio é um metal alcalino, de cor prateada, mole, bom condutor de calor e eletricidade, que se oxida facilmente e, depois do Li, é o metal mais leve. Em virtude de sua alta reatividade não é encontrado livre na natureza. Devido à similaridade entre os raios atômicos, pode ser substituído por Rb, Cs, Ba, Pb e Tl. É um dos constituintes maiores dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Durante a diferenciação magmática o mesmo se concentra progressivamente em K-feldspatos, como o ortoclásio e microclina, e outros silicatos, entre eles alunita, leucita e muscovita, o que faz com que fique mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas (KOLJONEN, 1992). Pode também estar presente em soluções hidrotermais associado a mineralizações de cobre pórfiro e em pegmatitos (MINEROPAR, 2005). Minerais de minério: evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita e halita), nitro ou caliche, carnalita, polialita, cainita, langbeinita, schoenita e singernita (DNPM, 2009). Principais utilidades: o principal uso do K é como fertilizante na agricultura, na forma de sulfatos e cloretos, em complementação ao uso de nitratos e fosfatos. A liga de K-Na é usada como meio de transferência de calor. Como agente redutor é utilizado em aplicações terapêuticas, na produção de sal sem Na. Impactos biológicos: seus sais são essenciais para os processos vitais: é um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas. É um elemento importante para o crescimento das plantas e da dieta humana. Os íons de K+ assim como os de Na+ agem nas membranas celulares na transmissão de impulsos eletroquímicos dos nervos e fibras musculares. Por outro lado, os sais de K são extremamente tóxicos quando injetados na corrente sanguínea. O composto KCN (cianeto de potássio) e o HCN (ácido cianídrico) são letais, considerados hematóxicos (PEIXOTO, 2004). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes (pH<4 e 5-8) e redutoras são ligeiramente móveis (LICHT ET AL., 2007). Tipos de depósitos: depósito sedimentar químico, derivado de exalações relacionadas a evaporitos (BIONDI, 2003). Principais jazidas: Canadá, Rússia, Belarus, 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

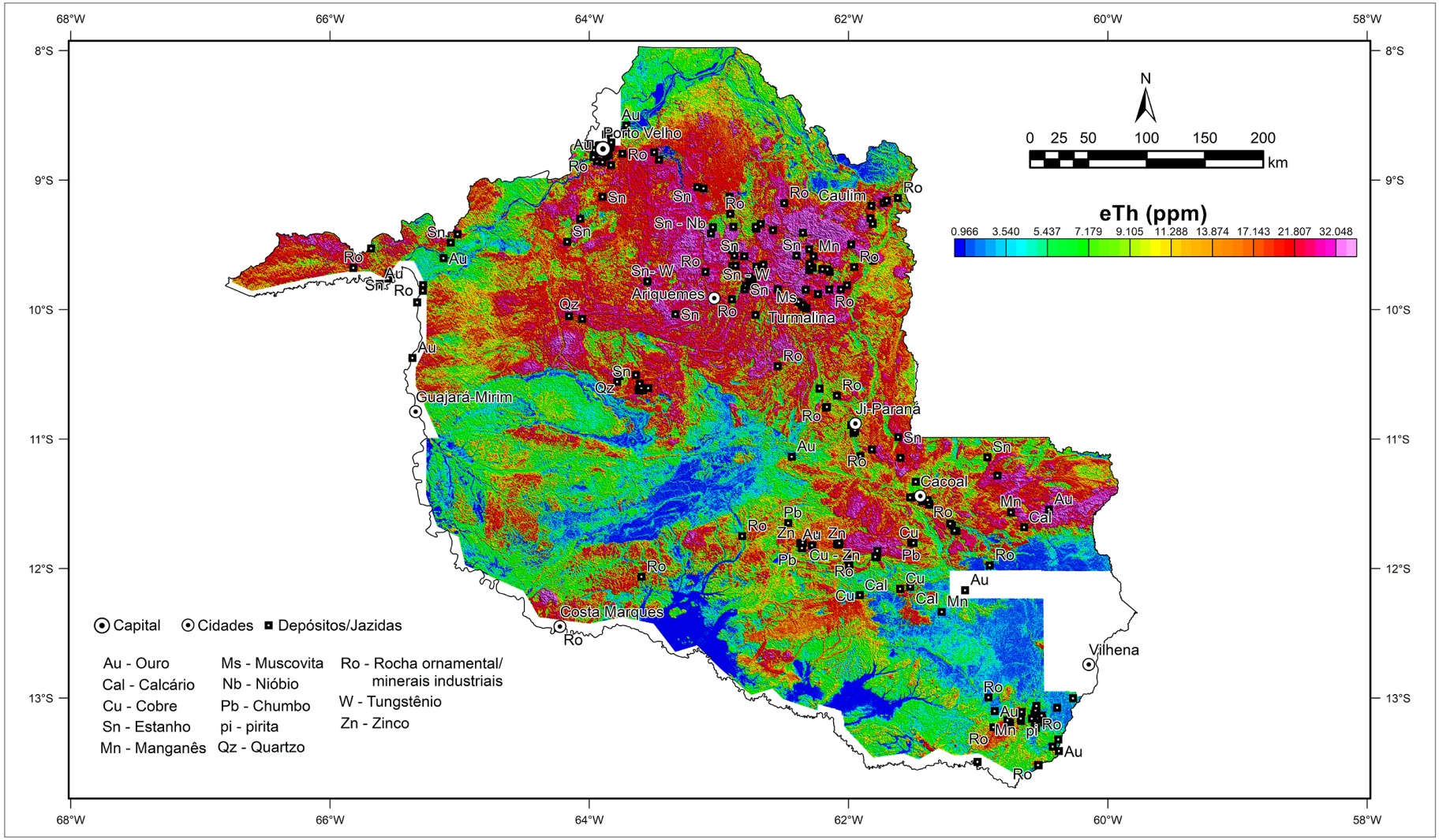

68°W
66°W
64°W
62°W
60°W
58°W
8°S
9°S
10°S
11°S
12°S
13°S
N
0 25 50 100 150 200
km
K (%)
-0.034 0.037 0.082 0.127 0.183 0.273 0.434 0.707 1.243 2.500
Porto Velho
Ariquemes
Guajará-Mirim
Ji-Paraná
Cacoal
Vilhena
Costa Marques
Caulim
Turmalina
Capital
Cidades
Depósitos/Jazidas
Au - Ouro
Cal - Calcário
Cu - Cobre
Sn - Estanho
Mn - Manganês
Ms - Muscovita
Nb - Nióbio
Pb - Chumbo
pi - pirita
Qz - Quartzo
Ro - Rocha ornamental/ minerais industriais
W - Tungstênio
Zn - Zinco

EQUIVALENTE TÓRIO

NO ESTADO DE RONDÔNIA o equivalente de tório apresenta uma média de 12,95 ppm. Esta média está um pouco acima dos valores médios informados em Dickson e 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 E MARMO, 2017) são apresentadas a seguir.

O tório é um metal da série dos actinídeos, 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 na parte superior da litosfera, sendo sua distribuição fortemente controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH (KABATA-PENDIAS E 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 resistatos e possuem mobilidade reduzida no intemperismo, concentrando-se assim nos sedimentos residuais em regiões de clima tropical, ou em areias e placers como minerais pesados (KOLJONEN, 1992). Minerais de minério: monazita [(Ce, La, Nd, Th) PO_4], thorita, euxenita, sendo também encontrado em outros minerais, associado a ETR e urânio, bem como a 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 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

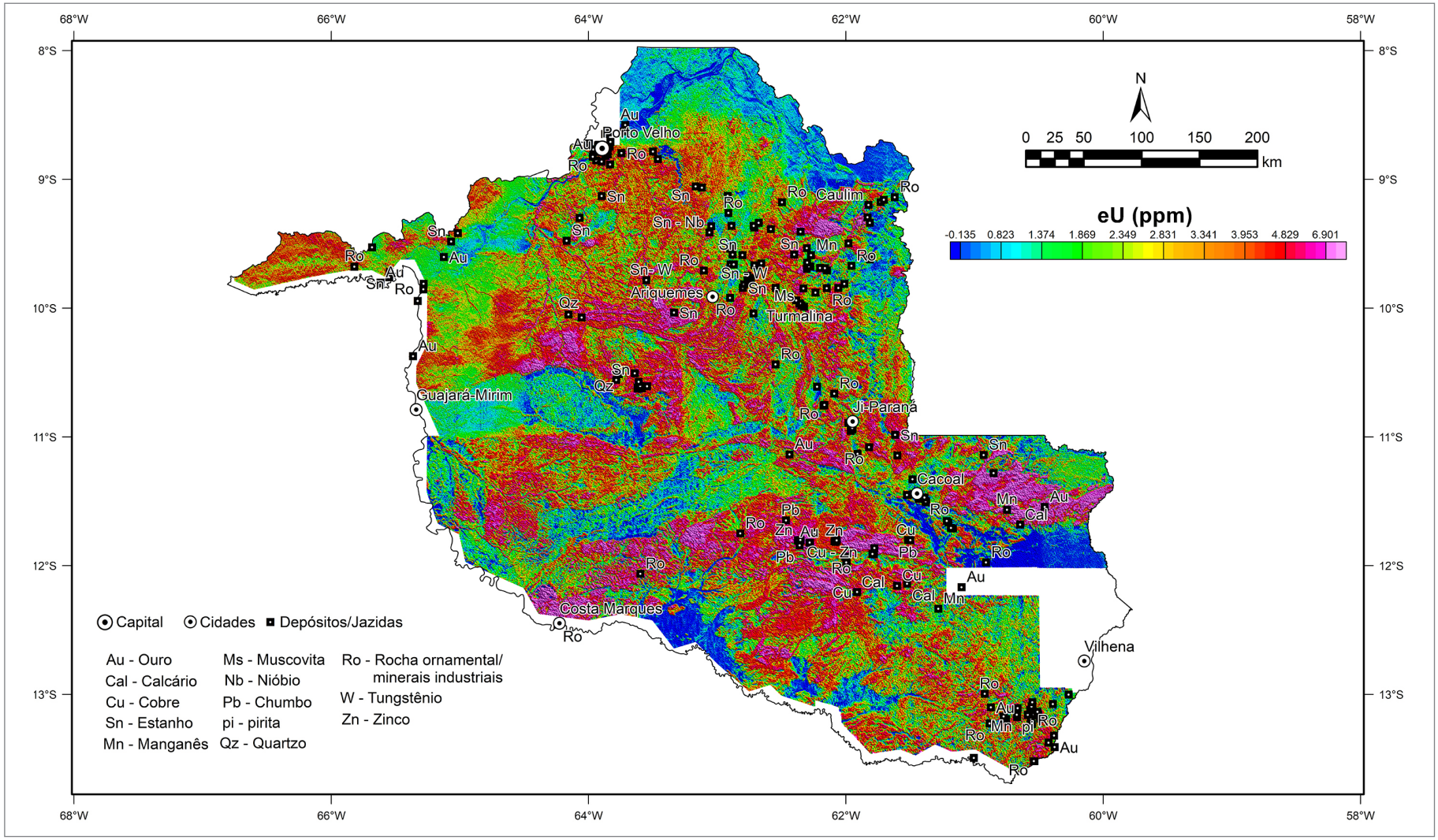


EQUIVALENTE URÂNIO

NO ESTADO DE RONDÔNIA o equivalente urânio apresenta uma média de 2,69 ppm. Esta média está um pouco abaixo dos valores médios informados em Dickson e 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 E MARMO, 2017) são apresentadas a seguir.

O urânio é um metal do grupo dos actinídeos, não possui cor característica, é denso, reativo, dúctil, maleável, oxida-se facilmente e possui como característica principal ser altamente radioativo. Existe na forma de três isótopos: ^{234}U, ^{235}U e ^{238}U. O íon U^{+4} concentra-se nos últimos estágios de diferenciação magmática, nas estruturas do zircão, allanita, esfalerita, apatita, monazita e minerais de tório, ítrio e lantanídeos. O urânio é comumente enriquecido nos granitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais. Suas associações metalogenéticas são com V, As, P, Mo, Se, Pb e Cu (KOLJONEN, 1992). Em condições de intemperismo, forma complexos orgânicos facilmente solúveis e móveis, relativamente estáveis em condições áridas. Na litosfera sua distribuição é controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH. Por ser muito reativo, não é encontrado em seu estado elementar (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 1992). Minerais de minério: uraninita (UO_2), pechblenda (variedade impura e amorfa da uraninita), carnotita, euxenita, autunita, torbenita, samarskita, margaritasita, lantinita e albernatyite. 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 $pH<4$ e $pH\geq5$ à ≤8, a mobilidade é moderadamente alta, e em condições redutoras mostra-se imóvel (MINEROPAR, 2005; KOLJONEN, 1992). Tipos de depósitos: relacionados com vulcânicas félsicas e máficas subaéreas; associado aos depósitos de Au em rochas sedimentares clásticas, tipo folhelhos negros (Suécia) ou conglomerados e arenitos tipo Witwatersrand; em rochas metamórficas regionais do tipo discordância junto com o Au; em rochas alcalinas (carbonatitos) e depósitos do tipo IOCG; relacionados a inconformidades (LICHT 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-*e*Th-*e*U)

ESTE MAPA É RESULTANTE de uma composição em falsa cor dos canais de K, ***e***Th e ***e***U, 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 ***e***Th; e azul (B-blue) para as rochas ricas em ***e***U. 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 radio-elementos.

Este mapa tem o potencial de distinguir muito bem as unidades geológicas a partir da análise combinada dos três radio-elementos. 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 ***e***Th e ***e***U pode estar 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 13 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.

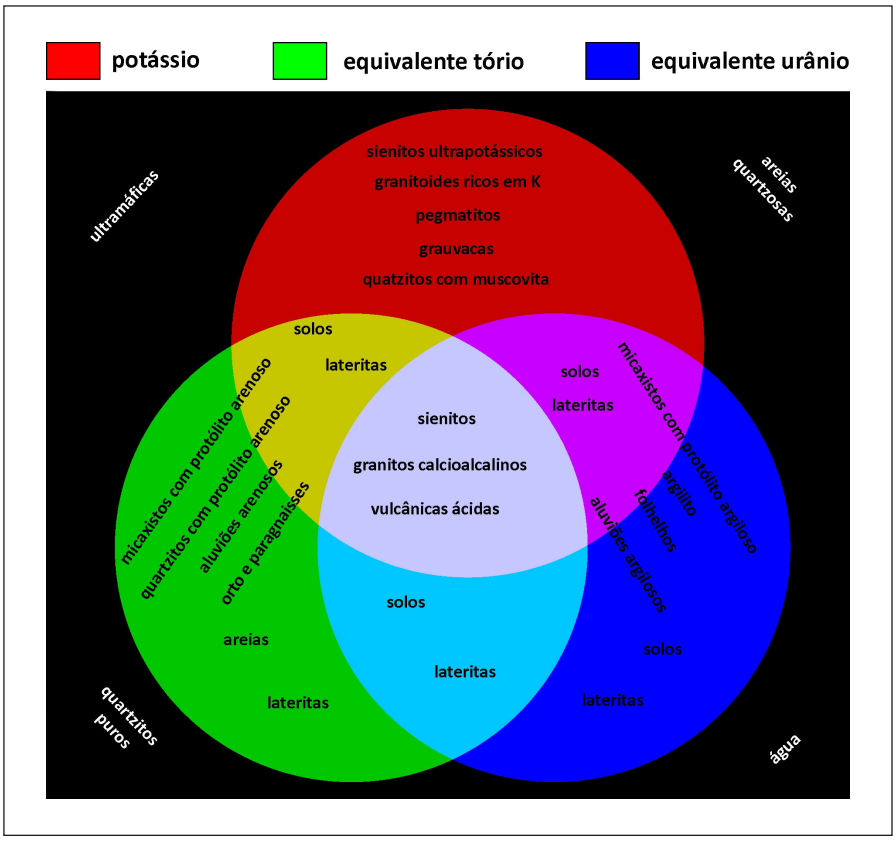
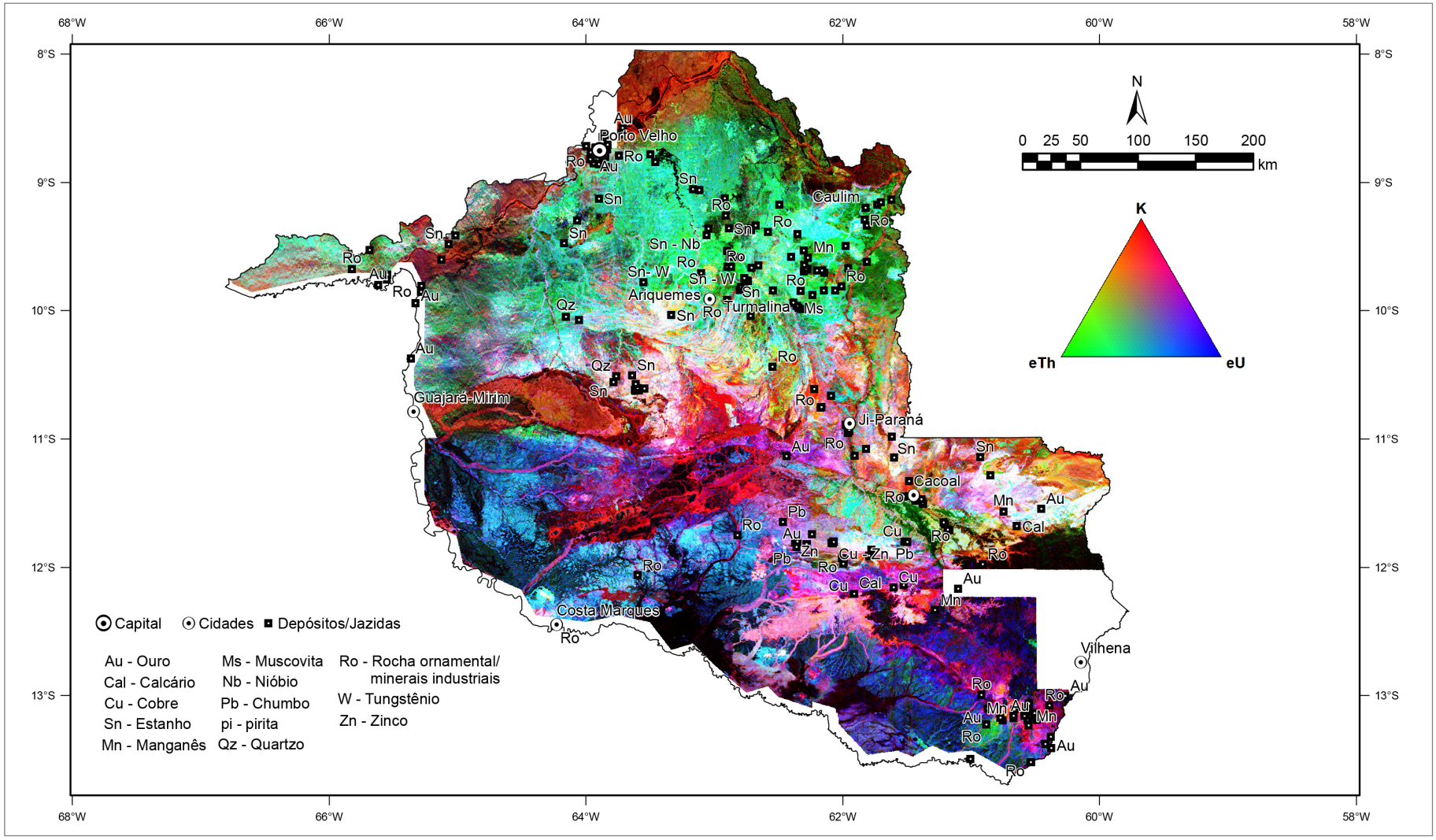


Figura 13 - Possibilidades de correlação entre tipos litológicos e tonalidades de cores em uma Composição Ternária RGB.

Composição Ternária RGB (K-*e*Th-*e*U)

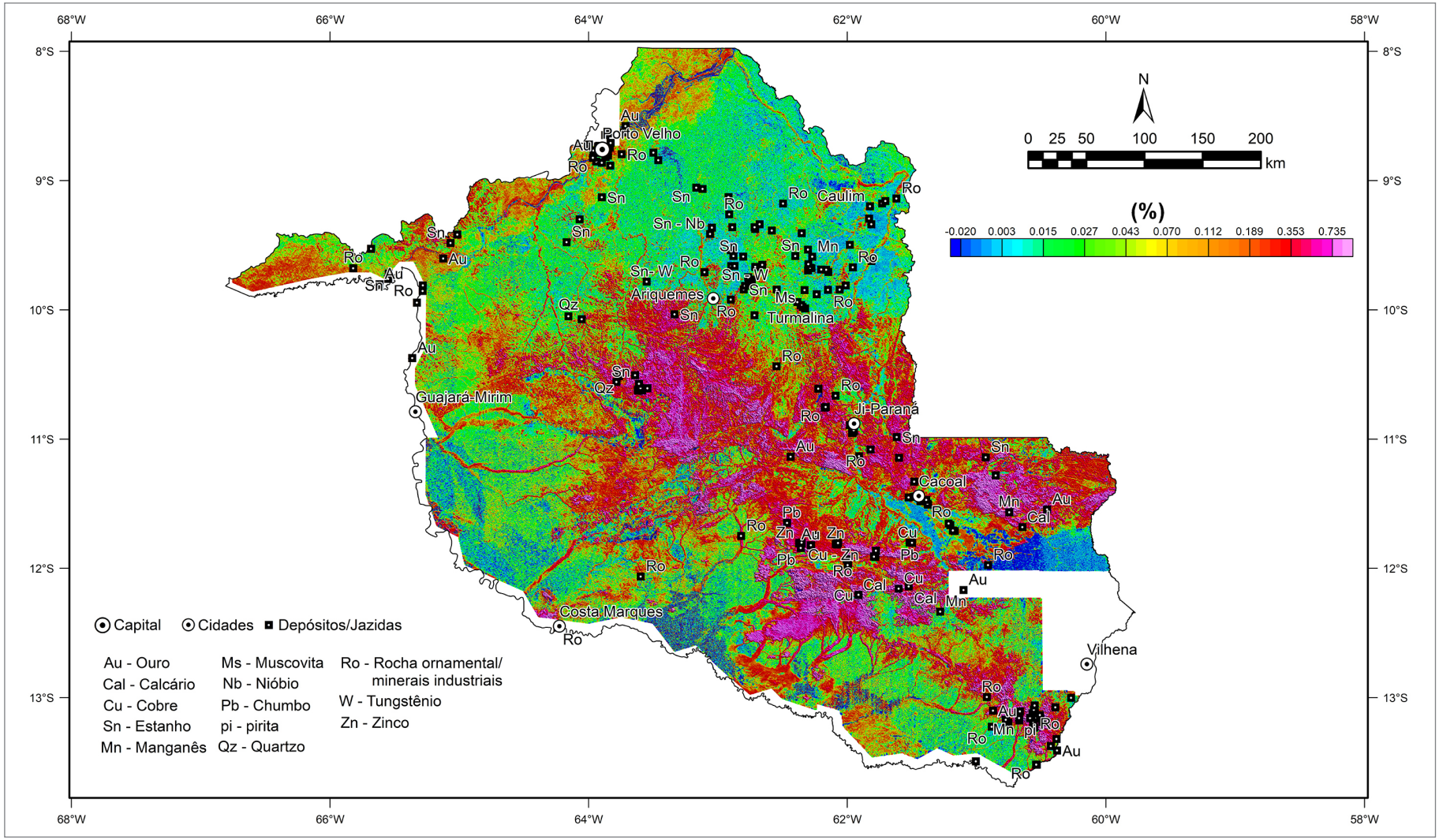


PARÂMETRO F

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 durante o 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 ***e***Th 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****e***U/***e***Th.

Parâmetro F


68°W
66°W
64°W
62°W
60°W
58°W
8°S
9°S
10°S
11°S
12°S
13°S
N
0 25 50 100 150 200
km
(%)
-0.020 0.003 0.015 0.027 0.043 0.070 0.112 0.189 0.353 0.735
Porto Velho
Ariquemes
Guajará-Mirim
Ji-Paraná
Cacoal
Vilhena
Costa Marques
Caulim
Turmalina
Capital
Cidades
Depósitos/Jazidas
Au - Ouro
Cal - Calcário
Cu - Cobre
Sn - Estanho
Mn - Manganês
Ms - Muscovita
Nb - Nióbio
Pb - Chumbo
pi - pirita
Qz - Quartzo
Ro - Rocha ornamental/ minerais industriais
W - Tungstênio
Zn - Zinco

PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE RONDÔNIA

A DIVISÃO DO ESTADO em dois domínios principais de norte e sul também se aplica aos dados gamaespectrométricos. A região centro-norte tem uma concentração elevada de ***e***Th e dos três radioelementos na presença de corpos graníticos, enquanto na região sul tem-se uma depleção de ***e***Th e K e, sendo assim, temos zonas de cores pretas e azuis no mapa Ternário RGB que refletem, principalmente, as coberturas sedimentares cenozoicas. Os altos teores de K, ***e***Th e ***e***U na região sul e sudoeste de Rondônia são provenientes de corpos graníticos da Suíte Intrusiva Rondônia, que se encontram isolados e esparsos nessa área. Tais granitos formam corpos arredondados de cor esbranquiçada no mapa Ternário RGB. A Formação Palmeiral apresenta uma correlação direta com altos teores de K e baixos teores de ***e***Th e ***e***U, estando nitidamente delimitado no mapa Ternário RGB através de cores avermelhadas e pretas.

Nos mapas de concentração de Potássio, Equivalente de Tório e Equivalente Urânio pode-se identificar uma acumulação de altos teores de K na região central e centro-sudeste e uma acumulação principal de ***e***Th na região centro-norte, enquanto o conteúdo de ***e***U se encontra distribuído com relativa homogeneidade em todo o estado de Rondônia. Esta acumulação de K se deve possivelmente a sua maior mobilidade condicionada através de drenagens e topografia. Já o elemento ***e***Th não apresenta essa característica de mobilidade e, portanto, sua acumulação na região centro-norte reflete condições geológicas propiciadas pela composição das rochas do Complexo Jamari e das Suítes Intrusivas Serra da Providência e Rondônia. O mapa Ternário RGB, inclusive, evidencia dobramentos da Suíte Intrusiva Serra da Providência de cores esbranquiçadas, estando no limite dos domínios gamaespcetrométricos de altos teores de ***e***Th e K.

No extremo norte do estado, nas adjacências do Rio Madeira, tem-se altas concentrações de K e baixas concentrações de ***e***Th e ***e***U, delimitando o fim da região de alto ***e***Th característica do centro-norte. O extremo Noroeste do estado de Rondônia tem assinaturas gamaespectrométricas similares a região centro-norte, com tons esverdeados no mapa Ternário RGB e delineando, inclusive, corpos graníticos arredondados e com elevadas concentrações dos três radioelementos.

Como os dados gamaespectrométricos refletem a geologia das rochas aflorantes, há uma razoável correlação entre o mapa geológico e os mapas de concentração dos radioelementos, principalmente o mapa Ternário RGB.

ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS

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

Os exemplos apresentados a seguir são uma amostra desta potencialidade. A assinatura geofísica associada ao granito da Província Estanífera de Rondônia permitiu a caracterização dos depósitos primários e secundários, se tornando um importante aliado na pesquisa mineral. Três novos gossans da Formação Migrantinópilis na Faixa Nova Brasilândia foram descobertos em campo e se encontram associados a lineamentos magnéticos específicos que possivelmente condicionaram as mineralizações. E, por fim, corpos kimberlíticos foram identificados e classificados de acordo com sua importância diamantífera.

Nestes casos, os dados aerogeofísicos revelaram várias assinaturas importantes para o contexto da mineralização que ainda carecem de entendimento e de uma boa correlação geológica, podendo auxiliar na definição de novos alvos.

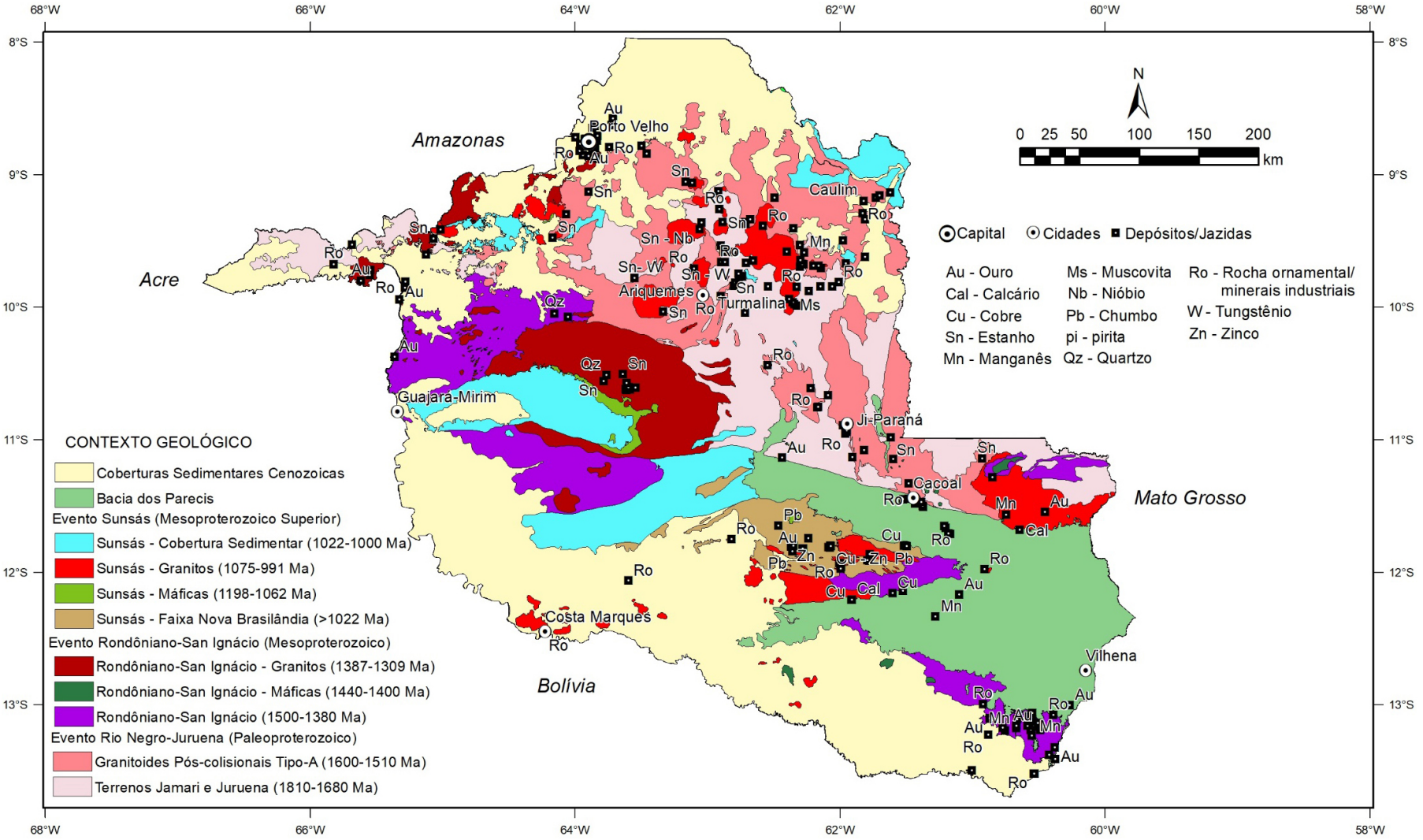


Figura 14 - Geologia simplificada do estado de Rondônia (modificada de QUADROS & RIZZOTO, 2007), com localização das principais jazidas/depósitos minerais e das áreas de detalhamento das assinaturas aerogeofísicas

CARACTERIZAÇÃO AEROGEOFÍSICA DA ÁREA JAMARI - PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA (BUCH ET AL., 2019)

NO PROJETO ARIM – Reavaliação da Província Estanífera de Rondônia as principais características geológicas e geofísicas de áreas onde ocorrem estes depósitos foram avaliadas, com foco principal nos diversos jazimentos de minérios de estanho. A Província Estanífera de Rondônia é conhecida por seu histórico de produção de cassiterita, mantendo-se como uma importante fonte de estanho.

A área Jamari (Figura 15) está localizada na porção centro-norte do estado e apresenta o maior número de distritos mineiros conhecidos (16 distritos), associados ao magmatismo do final do Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico (suítes Rondônia e Santa Clara).

O mapa Ternário RGB da área Jamari é exposto na Figura 15, com destaque para as áreas de predominância do plutonismo esteniano-toniano das suítes Santa Clara e Rondônia. Nesta área ocorrem três suítes mineralizadas em estanho: Serra da Providência, Santa Clara e Rondônia.

Os depósitos estaníferos primários possuem quase sempre elevados valores dos três canais gamaespectrométricos, dando a eles uma cor branca no mapa. Subordinadamente, a cor esverdeada é habitual e indica principalmente altos valores de ***e***Th e, às vezes, altos valores de ***e***U. Um exemplo diz respeito ao batólito Massangana (Suíte Rondônia), localizado na região sudoeste da área, com 900 km^2 de área, e apenas sua porção oeste indica uma mineralização primária devido ao alto valor radiométrico total, demonstrando a relação entre depósitos primários e altos valores radiométricos. O distrito de Oriente Novo localiza-se em uma dessas regiões de altos valores radiométricos totais, confirmando a hipótese da associação de elevada radiometria com depósitos primários. Alternativamente, a exemplo dos maciços da Suíte Serra da Providência, as porções "estéreis" se apresentam com tons vermelhos, assinalando maior teor de K em relação ao ***e***U e ***e***Th. Os mesmos se encontram a sul e a norte da Suíte Santa Clara. Por apresentarem-se com

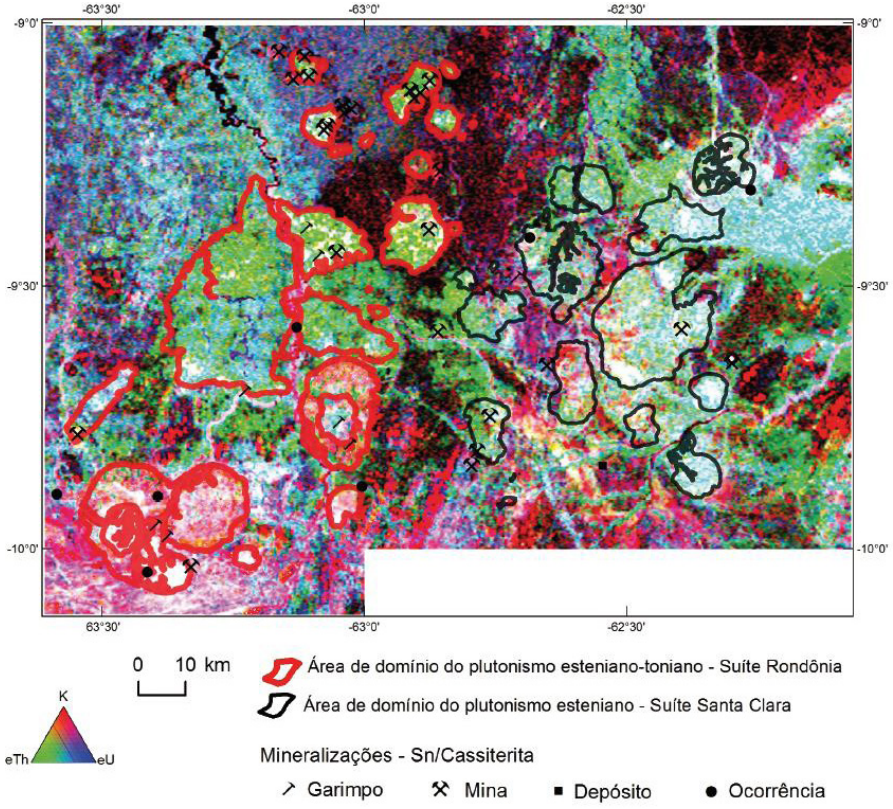


Figura 15 - Mapa Ternário RGB de K, ***e***Th e ***e***U da Área Jamari.

tons escuros de vermelho, presume-se que nessas regiões não são conhecidas mineralizações primárias.

Destaca-se a presença de anomalias de potássio nos granitos do centro a sudoeste e das anomalias de tório e urânio nos granitos a centro-norte, que podem estar associadas a erosão da mineralização primária nos granitos pobres em tório e urânio gerando depósitos secundários, ao mesmo tempo em que os granitos ricos em tório e urânio estão provavelmente associados a fases hidrotermais tardias com depósitos primários.

Os dados de magnetometria (Figura 16) evidenciam feições circulares definidas por baixos magnéticos circundados por anomalias de alta frequência que indicam possíveis intrusões tardias no interior dos maciços graníticos. Na porção centro-sul e oeste da área observa-se uma elevada densidade de lineamentos de alta frequência de direção NE. Tais lineamentos se tornam menos magnéticos ao adentrarem o domínio magnético das suítes Santa Clara e Rondônia devido ao aquecimento oriundo das intrusões das mesmas (Figura 15). Este domínio magnético (linha preta, figuras 15 e 16), define um domínio plutônico esteniano-toniano e permite inferir que as suítes Santa Clara e Rondônia sejam mais abundantes no nível subaflorante e que a colocação dos corpos tenha ocorrido a partir de uma fissura crustal profunda. Também é necessário dizer que a estrutura magnética onde o distrito Bom Futuro se localiza é muito maior que o depósito em si. Isto sugere que pode existir, na mesma estrutura, uma mineralização primária. A região sudeste compreende lineamentos de frequência moderada, e ao que demonstra, não se assemelha com as regiões mineralizadas. Esta evidência indica baixo potencial para mineralizações nessa área, reforçada pela falta de intrusões graníticas e pelos baixos teores radiométricos.

A figura 17 mostra perfis geofísicos da Suíte Rondônia, escolhidos previamente para análise do sinal em minas e garimpos conhecidos. No Perfil A-A' existe uma

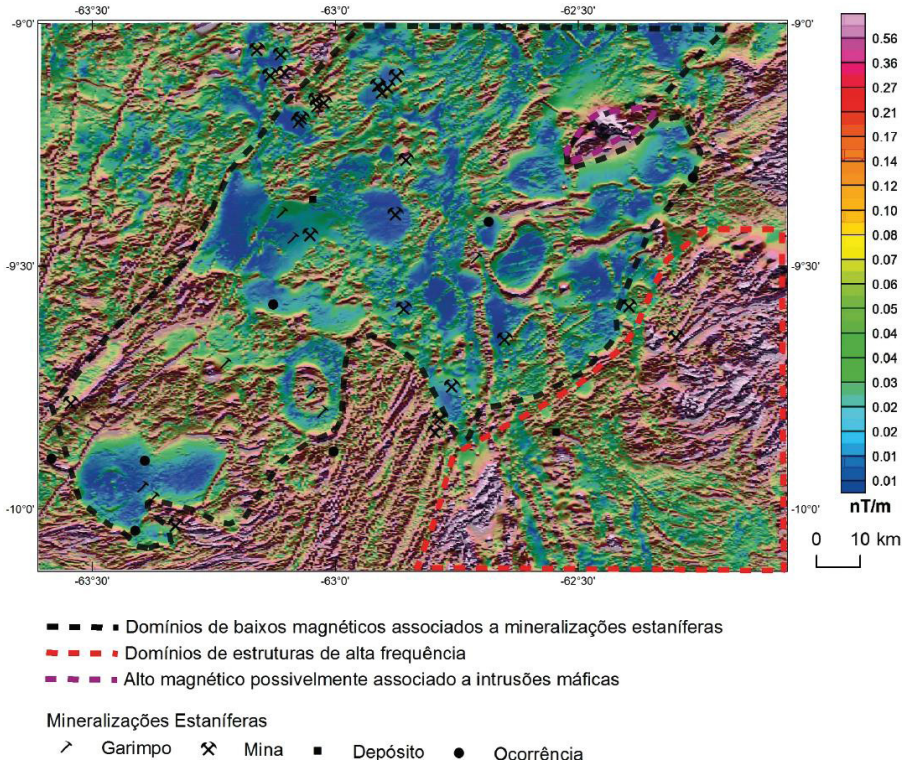


Figura 16 - Mapa do Gradiente Total sombreado com a primeira Derivada Vertical. Linha tracejada em preto mostra a região desmagnetizada favorável onde se encontra as estruturas de caldeira de formação dos granitos.

maior expressividade dos canais do K e do ***e***U, em comparação com o canal ***e***Th. Os maiores valores de Gradiente Total no mesmo devem-se a presença de rochas encaixantes da Suíte Intrusiva Serra da Providência, podendo-se perceber a baixa suscetibilidade magnética dos granitos em ambos os perfis. Há uma boa correlação entre a existência de minas e garimpos com os elevados valores dos canais gama-espectrométricos e também com gradientes magnéticos de baixos valores relativos do Gradiente Total, indicando a posição das mineralizações em locais estruturados. Comumente, os corpos graníticos apresentam baixos valores de magnetometria, com eventuais deformações internas indicadas por lineamentos magnetométricos e altos valores em pelo menos algum dos canais de potássio, tório ou urânio.

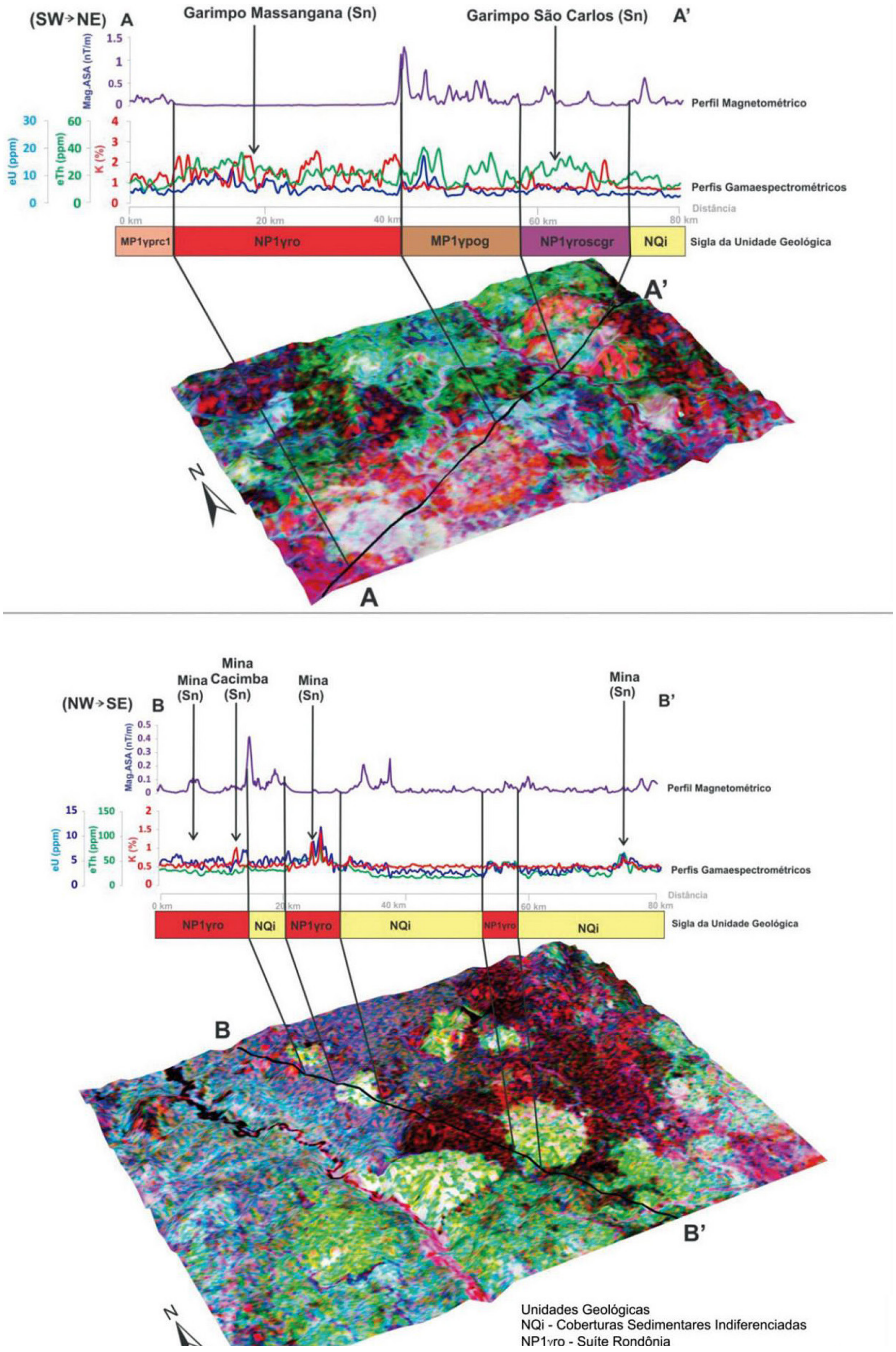


Figura 17 - Perfis AA' e BB' que interceptam os granitos da Suíte Rondônia.

AEROGEOFÍSICA DA FAIXA NOVA BRASILÂNDIA – OCORRÊNCIAS DE ZN-PB-CU EM GOSSANS NA FORMAÇÃO MIGRANTINÓPOLIS (BERGAMI ET AL., 2019)

NA FORMAÇÃO MIGRANTINÓPOLIS, associados a pequenas anomalias magnéticas de alta frequência e alinhados a estruturas WNW, encontram-se três gossans com ocorrências de Zn-Pb-Cu e eventualmente Au. Outras duas ocorrências de Zn-Pb-Cu em gossans são encontradas nos limites de uma zona altamente magnética que caracteriza o limite com a Formação Rio Branco.

Totalizando, cinco alvos com valores anômalos em rocha de Zn-Pb-Cu foram identificados e denominados de gossans do Beijo, DM, P-16, Pedra Queimada e Finados (Figura 18).

Tais gossans estão claramente associadas com os mapas de campo magnetométrico, apresentando anomalias magnéticas de alta amplitude. Os gossans Pedra Queimada, Finados e DM ainda se alinham ao longo de um lineamento magnético bem marcado de direção aproximada de N60°W (Figura 18).

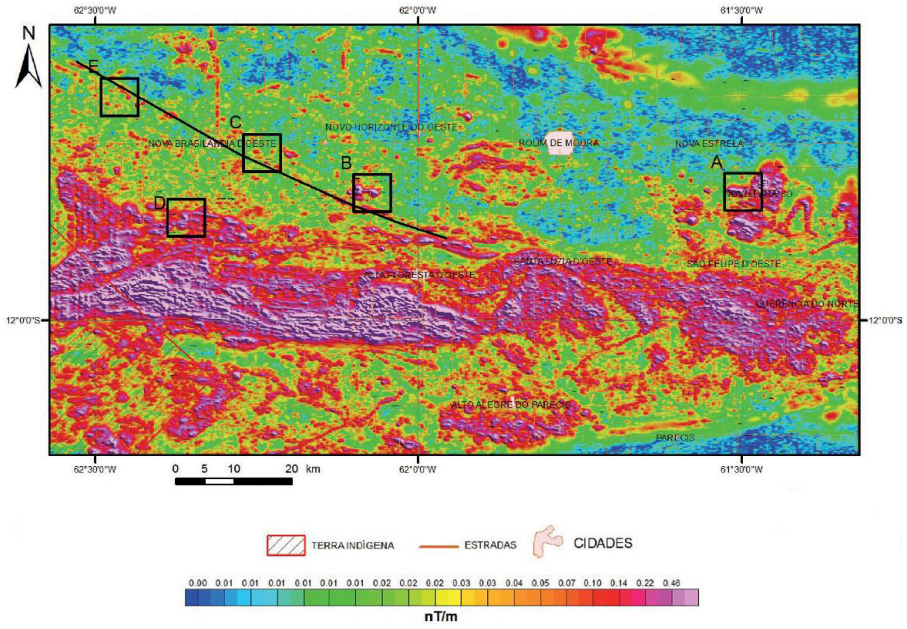


Figura 18 - Mapa aeromagnetométrico (campo magnético anômalo residual) com localização das ocorrências de gossans. Notar disposição das ocorrências sobre lineamento magnético de direção aproximada N60°W. A) GossanP-16; B) Gossan Pedra Queimada; C) Gossan DM; D) Beijo; E) Gossan Finados.

Gossans Pedra Queimada e DM

O gossan Pedra Queimada representa a ocorrência mais expressiva mapeada na área do projeto. Ambos os gossans Pedra Queimada e DM se apresentam nas imagens de aeromagnetometria (Figuras 19-A e 20-A) sobre uma zona de alta suscetibilidade magnética, alongada na direção WNW-ESE. Essa anomalia está alinhada com outras nas quais também foram mapeadas ocorrências semelhantes (gossans).

O mapa aerogamaespectrométrico classificado nas cores RGB (K, ***e***Th, ***e***U respectivamente) mostra que o alvo Gossan Pedra Queimada está localizada em uma região enriquecida em urânio e tório (coloração ciano), típico de rochas em avançado estado de intemperismo (Figura 19-B), enquanto que DM apresenta uma região de enriquecimento radiométricos em urânio e potássio (coloração magenta) (Figura 20-B).

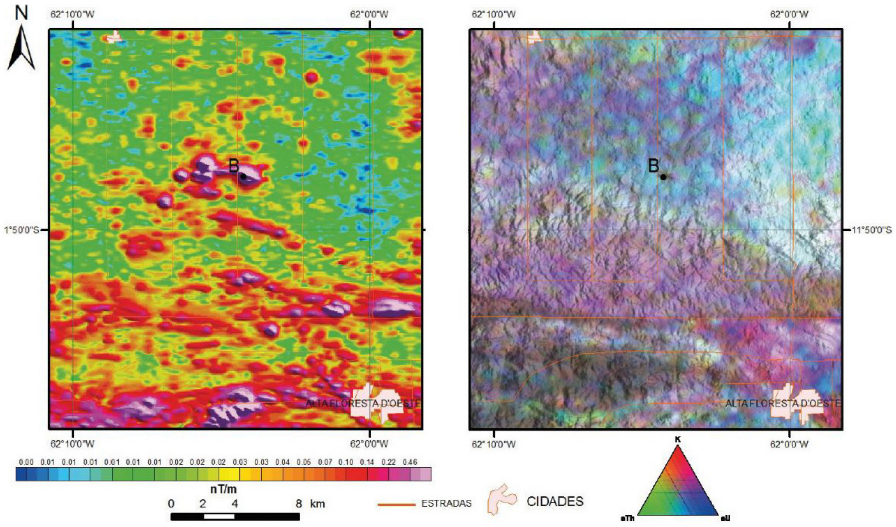


Figura 19 - (A) Localização do alvo Gossan Pedra Queimada sobre imagem da aeromagnetometria (campo magnético anômalo residual) e (B) sobre aerogamaespectrometria (RGB – K, ***e***Th, ***e***U).

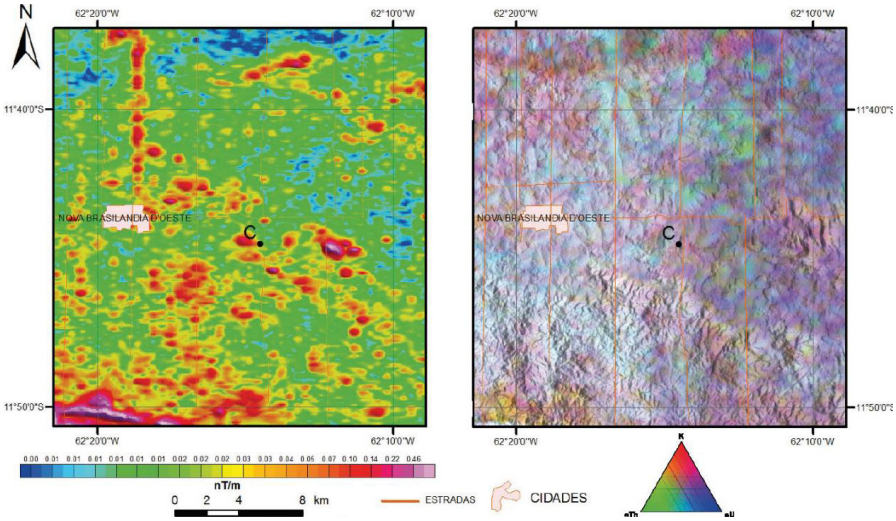


Figura 20 - (A) Localização do alvo Gossan DM sobre imagem da aeromagnetometria (contagem magnética anômala residual) e (B) sobre aerogamaespectrometria (RGB – K, ***e***Th, ***e***U).

Gossan P-16

Enquanto nos gossans Pedra Queimada e DM há pesquisas minerais sendo desenvolvidas, no P-16 não há indícios de atividade garimpeira, nem de pesquisa mineral por parte de empresas do setor privado à época do projeto.

A ocorrência P16 é marcada por uma forte anomalia magnética (Figura 21-A) de direção WNW-ESSE, com 2,7 km de extensão, associada à acentuada elevação topográfica. Esta anomalia está inserida ao longo de um lineamento magnetométrico regional, com aproximadamente 50 km de extensão, relacionado a zonas de cisalhamento transcorrentes que se desenvolvem ao longo do contado entre as formações Migrantinópolis e Rio Branco durante a fase de deformação F2. O reconhecimento de campo da anomalia magnética levou a descoberta de gossan e brechas ricas em óxido de ferro ao longo da elevação topográfica, se caracterizando é uma grande aliada na revelação de recursos minerais ainda não conhecidos.

O mapa gamaespectrométrico (Figura 21-B) mostra um enriquecimento relativo em tório ao longo do gossan. Ainda que essa assinatura gamaespectrométrica seja característica de regiões com elevado grau de intemperismo, parece demonstrar também características do hidrotermalismo, sendo por isso merecedor de investigação como ferramenta prospectiva.

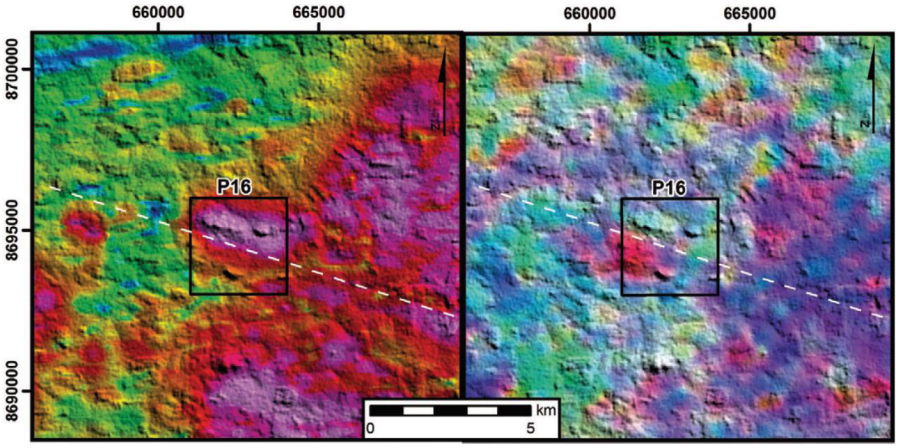


Figura 21 - A) Mapa magnetométrico do Gradiente Horizontal Total (GHT). B) Mapa gamaespectrométrico com a composição colorida RGB dos canais K, ***e***Th, ***e***U. Área do mapeamento de detalhe da ocorrência P16 em destaque. Ambos os produtos se encontram fundidos com o relevo sombreado (SRTM, 30 m). A linha branca pontilhada representa o lineamento magnetométrico regional.

Gossans do Beijo e Finados

O gossan do Beijo e de Finados, assim como P-16, também não apresentam indícios de atividade garimpeira e nem pesquisas minerais à época do projeto. As imagens da aeromagnetometria mostram que o Beijo está localizada sobre uma importante anomalia magnética de alta amplitude, porém o Finados não apresenta anomalia magnética significativamente elevada (porém se encontra em uma região de anomalias de alta frequência). No mapa aerogamaespectrométrico a ocorrência do Beijo está localizada em uma região enriquecida em potássio e tório (tons amarelados), enquanto a área do Gossan de Finados é enriquecida em urânio e potássio (Figuras 22-B E 23-B). O tório é um elemento pouco móvel, que tende a se concentrar em rochas sujeitas à intensa alteração intempérica. O potássio, presente no gossan Beijo, é um elemento mais móvel cujo enriquecimento no local pode ser explicado pela colocação do corpo granítico da Suíte Rio Pardo, que tem expressão nítida neste produto (zona alongada de cor branca), na magnetometria e no relevo.

Sendo assim, os lineamentos magnetométricos estruturados na direção NW e WNW e associados a anomalias magnéticas de alta frequência na Formação Migrantinópolis constituem atributos geofísicos importantes na caracterização das ocorrências de Zn-Pb-Cu. A mudança do comportamento do campo magnético próximo ao limite entre a Formação Migrantinópolis e a Formação Rio Branco também parecem caracterizar essas mineralizações.

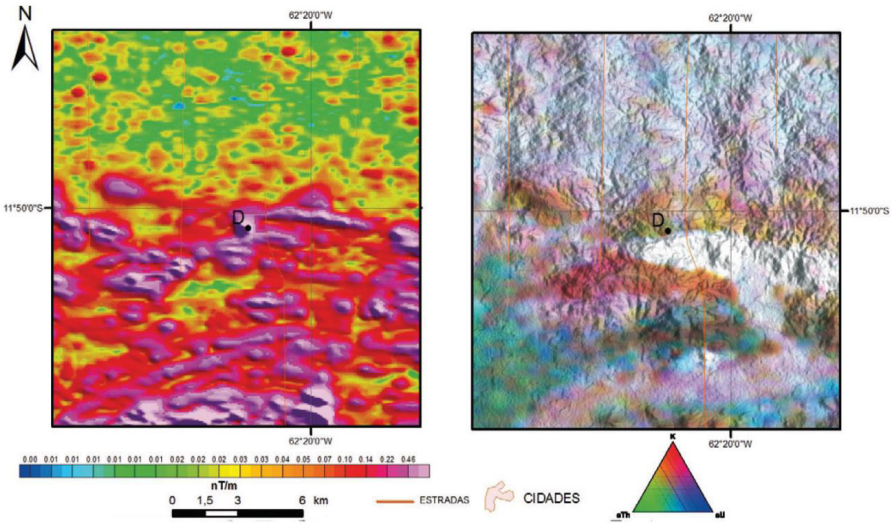


Figura 22 - (A) Mapa magnetométrico do Campo Magnético Anômalo residual. (B) Mapa gamaespectrométrico com a composição colorida RGB dos canais K, ***e***Th, ***e***U. Ambos os produtos se encontram fundidos com o relevo sombreado (SRTM, 30 m).

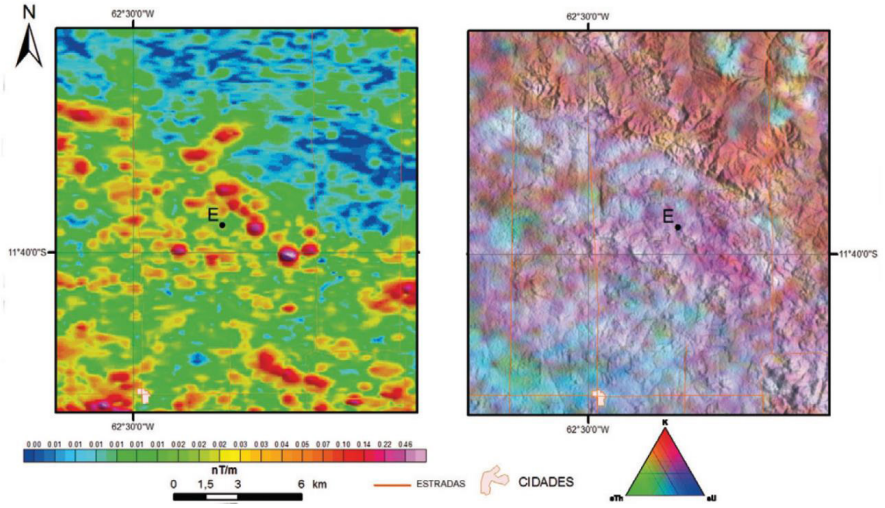


Figura 23 - Mapa magnetométrico do Campo Magnético Anômalo residual. (D) Mapa gamaespectrométrico com a composição colorida dos canais K, ***e***Th, ***e***U (vermelho, verde e azul respectivamente). Ambos os produtos se encontram fundidos com o relevo sombreado (SRTM, 30 m).

AEROGEOFÍSICA APLICADA A IDENTIFICAÇÃO DE CORPOS KIMBERLÍTICOS DIAMANTÍFEROS (PROJETOS DIAMANTE BRASIL E AZ125º) (ROCHA ET AL., 2019)

DE ACORDO COM Bardet (1977), um lineamento de direção ESSE-WNW (N125º), no qual ocorre uma sucessão de depósitos de diamantes alinhados, é denominado de Az 125º e ocorre desde o estado de Rondônia até a costa do estado do Rio de Janeiro. A origem de tal lineamento não é consensual, possivelmente resulta de uma sutura litosférica, separando domínios mantélicos composicionalmente distintos com regimes térmicos e efeitos metassomáticos particulares. Trabalhos prévios com prospecção de rochas kimberlíticas e alcalino-carbonatíticas sugerem o método magnetométrico como uma das principais ferramentas para a localização das intrusões (HARALYI E SVISERO, 1984; MACNAE, 1995; POWER ET AL., 2004; FOWLER ET AL., 2001; SILVA, 2006). Utilizando os dados de aeromagnetometria, foi possível delimitar corpos alcalino-carbonatíticos e kimberlíticos nos quais os diamantes se encontram associados (Figura 24). Os corpos kimbelíticos e carbonatíticos foram identificados visualmente por serem caracterizados por um dipolo nos mapas de Campo Magnético Anômalo (CMA) com geometria arredondada.

Os corpos kimberlíticos e alcalinos normalmente apresentam geometria de um cilindro vertical ou cone, cujas assinaturas magnéticas podem variar dependendo, principalmente, da latitude da área e do contraste com a rocha encaixante. O contraste magnético entre as rochas encaixantes e os corpos intrusivos geralmente se mostra alto, possibilitando o realce das assinaturas possivelmente relativas a estes corpos. Em geral, a assinatura magnética por eles produzida é observada na imagem do Campo Magnético Anômalo como um dipolo, e na imagem do Gradiente Total como uma anomalia monopolar bem definida.

Como é possível visualizar na Figura 24, o estado de Rondônia apresenta uma grande possibilidade de ocorrência de corpos kimberlíticos, que podem hospedar ou não diamantes primários.

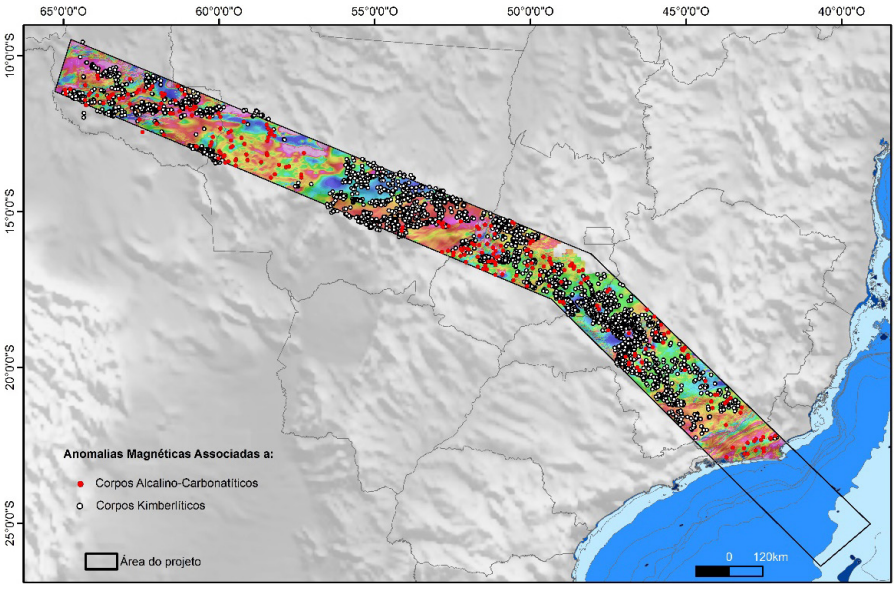


Figura 24 - Mapa da área do projeto AZ 125º com as anomalias magnéticas associadas a corpos alcalino-carbonatíticos (círculos vermelhos) e kimberlíticos (círculos brancos) interpretadas por meio de análise visual (sobre a imagem geofísica do Campo Magnético Anômalo).

Classificação

Montou-se um banco de dados com uma classificação das anomalias magnéticas identificadas com relação à distância das anomalias com corpos kimbelíticos e ocorrências diamantíferas conhecidas. Tal classificação variou de 2 a 6, sendo os menores pesos atribuídos às anomalias mais afastadas dos corpos kimberlíticos e ocorrências de diamantes mapeadas, e os maiores valores àquelas mais próximas. A partir deste banco de dados com os pesos finais atribuídos a cada anomalia, foi gerado um mapa com as localizações e classificações das anomalias magnéticas possivelmente associadas a corpos kimberlíticos (Figura 25).

Nota-se através da Figura 25 que aquelas com peso 2 (círculos pretos) encontram-se quase que uniformemente espalhadas por Rondônia, com acumulações do sentido W-E do Estado. Conforme o valor do peso vai aumentando, é esperado que as quantidades sigam diminuindo. Duas ocorrências de peso 3 se encontram localizadas nas regiões central e sudeste (Ariquemes e Pimenta Bueno). As ocorrências de peso 4 e 5 se acumulam principalmente na região Sudeste do estado de Rondônia, nas adjacências de Pimenta Bueno, bem como no extremo sul do Estado, representando Colorado d'Oeste.

O que também se observa é que existem quatro anomalias com peso 6 (círculos laranjas) ocorrendo em três províncias diamantíferas (Figura 26), sendo que duas delas (50% das anomalias de peso 6) estão em Pimenta Bueno, demonstrando a grande importância dessa província diamantífera.

Embora haja uma clara relação espacial entre as províncias acima mencionadas, o posicionamento dos kimberlitos de Juína, Paranatinga, e Pimenta Bueno demonstra estar muito mais condicionado a movimentos flexurais das bordas da Bacia dos Parecis que ao próprio Lineamento Az 125°. Pimenta Bueno mostra um alinhamento ao eixo central do graben da referida bacia e Paranatinga alinha-se com o Arco da Serra Formosa (N-NW) que separa os dois depocentros da Bacia dos Parecis. Tais feições demonstram que o controle das províncias kimberlíticas de Juína, Pimenta Bueno e Paranatinga com o prolongamento NW do Lineamento

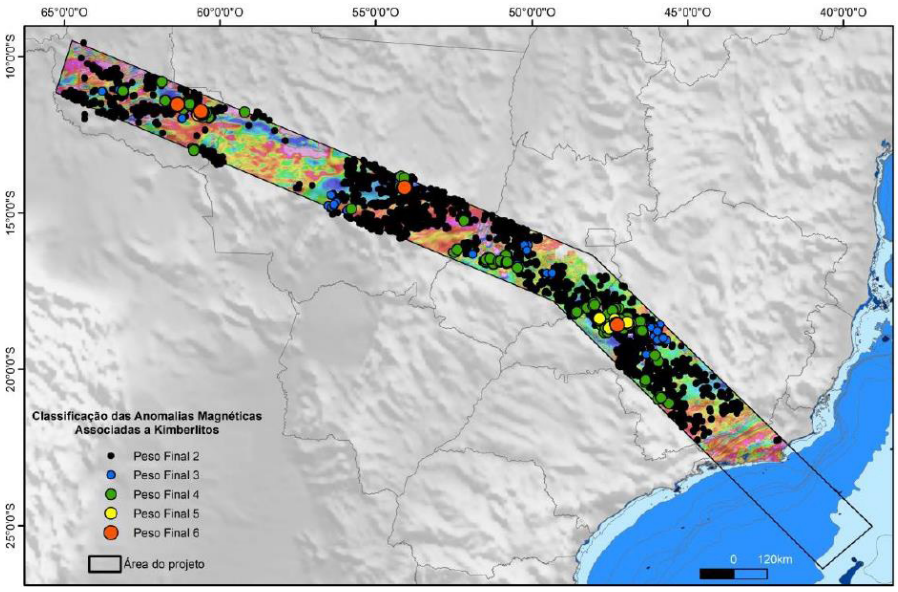


Figura 25 - Mapa da área do projeto com as anomalias magnéticas associadas a corpos kimberlíticos classificadas de acordo com o peso: pesos menores atribuídos às anomalias mais afastadas dos corpos kimberlíticos e ocorrências de diamantes mapeadas; pesos maiores relativos àquelas mais próximas (sobre a imagem geofísica do CMA).

Az 125° não é um aspecto consensual e ainda permanece tema de dabate. O lineamento perde suas marcantes assinaturas magnetométricas tornando-se difuso e pouco evidente na sua porção oeste. O substrato das bacias encaixantes dos kimberlitos de Pimenta Bueno e Juína é de idade prioritariamente mesoproterozóica e, segundo alguns autores, decorrem de mecanismos geodinâmicos vinculados a acreção continental (TASSINARI, 1981).

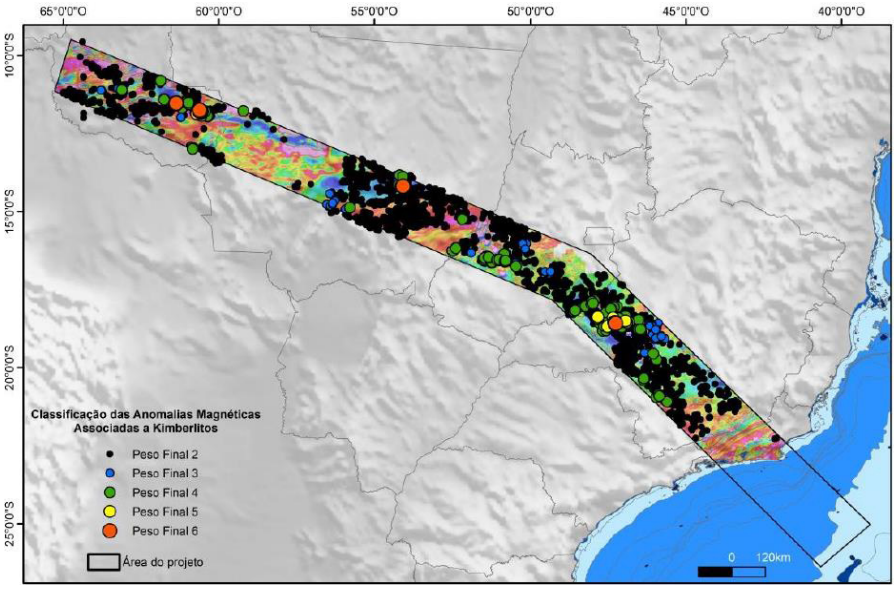


Figura 26 - Mapa da área do projeto com as anomalias magnéticas classificadas com peso 6 (círculos laranjas), demonstrando a importância da província diamantífera de Pimenta Bueno.

REFERÊNCIAS

ADAMY, A.; ROMANINI, S. J. (Orgs.). Geologia da Região Porto Velho – Abunã; Folhas Porto Velho (SC.20-V-B-V), Mutumparaná (SC.20-V-C-VI), Jaciparaná (SC.20-V-D-I) e Abunã (SC.20-V-C-V). Estados de Rondônia e Amazonas. Brasília: DNPM/CPRM, 1990. 273p.

ADÔRNO, R. R.; BAHIA, R. B. C.; GUIMARÃES, J. T.; SILVA, L. C. da; SILVA, L. G. da. **Avaliação do potencial de fosfato no Brasil, fase III:** bacia dos Parecis, área Oeste, estado de Rondônia. Porto Velho: CPRM, 2017. (Série Insumos Minerais para Agricultura, n. 19).

AIRO, M. L. Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration. **Surveys in Geophysics**, Dordrecht, v. 23, n. 4, p. 273–302, Jul. 2002.

ATSDR Agency for Toxic Substances and Diseases Registry. Disponível em: http://www.atsdr.cdc.gov. Acesso em: 05 jul. 2004.

BERGAMI, G. N.; PRADO, E. M. G. (org.). **Áreas de relevante interesse mineral**: evolução crustal e metalogenia da Faixa Brasilândia, Estado de Rondônia. Porto Velho: CPRM, 2019. Escala 1:100.000

BIZZI, L.A.; SCHOBBENHAUS, C.; BAARS, F.J.; GONÇALVES, J.H.; DELGADO, I.D.M.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G.M.M.; SANTOS, J.O.S.; SILVA, L.C.; VIDOTTI, R.M. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil:Sistema de Informações Geográficas-SIG = Geology, Tectonics and Mineral Resources of Brazil:Geographic Information System-GIS. Brasília: CPRM, 2003. 4 CDs. Escala 1:2.500.000.

BETTENCOURT, J. S.; TOSDAL, R. M.; LEITE JUNIOR, W. B.; PAYOLLA, B. L. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondonia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil-I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. **Precambrian research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 41–67, 30 Apr. 1999.

BHATTACHARYYA, B. K. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. **Geophysics**, Tulsa, v. 31, n. 1, p. 97-121, Feb. 1966.

BIONDI, J. C. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528 p.

BRITO NEVES, B. B. Glossário de geotectônica. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 256p.

BUCH, T. Caracterização mineralógica e geoquímica de ocorrências de elementos terras raras no Maciço Granítico Ouro Fino, Rondônia, Brasil. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BUCH, T.; MARBLER, H.; GOLDMANN, S.; HAUBRICH, F.; TRINKLER, M. **Investigation of tin and tantalum ores from Rondônia Tin Province, northern Brazil, to develop optimized processing technologies**. Berlin: DERA; CPRM, Oct. 2018. 164 p.

BUCH, T.; DALL'IGNA, L. G.; GRAÇA, M. C.; SILVA, D. R. V. da (org.). **Áreas de relevante interesse mineral:** reavaliação da província estanífera de Rondônia. Porto Velho: CPRM, 2019. (Série Províncias Minerais do Brasil, n. 18).

CABRAL NETO, I.; NANNINI, F.; SILVEIRA, F. V.; CUNHA, L. M.; CASTRO, C. C. E. ÁREAS KIMBERLITICAS E DIAMANTÍFERAS DO ESTADO DE RONDÔNIA. PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL. PROJETO DIAMANTE BRASIL. (INFORME DE RECURSOS MINERAIS. SÉRIE PEDRAS PRECIOSAS, 11). BRASÍLIA: CPRM, 2017. 85 P.

COSTA, E. G. Projeto Costa Marques: relatório da fase de prospecção preliminar, DNPM 880.092/84 a 880.095/84. Porto Velho: CPRM, 1990.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Branco-Machadinho:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA Prospecções, 2015.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Japuíra:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA Prospecções, 2014.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Paulo Afonso - Teotônio Vilela:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Microsurvey Aerogeofísica, 2011. 11 v.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Rio Machado:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA Prospecções, 2009. 15 v.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Rio Madeira:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 2015.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Rondônia Central:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA Prospecções, 2010.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Sudeste de Rondônia:** relatório final de levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA Prospecções; Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 2006. 27 v., v. 1.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Aerogeofísico Sudoeste de Rondônia:** relatório final de levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 2010.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, Australia, v. 17, n. 2, p. 187–200, Jan. 1997.

DNPM. **Sumário Mineral Brasileiro 2009**. Brasília: DNPM, 2009. (Sumário Mineral, v. 29). Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2009/view. Acesso em: 15 out. 2019.

FREITAS, A. F; ROMANI, S. J.; VIEIRA, A. B. Projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais: folha SD.20 - Guaporé: escala 1:1.000.000: texto e mapas. Porto Velho: CPRM, 1985. 33 p.

FREITAS, A. F.; MARMOS, J. L. **Atlas geoquímico do estado de Roraima:** projeto levantamento geoquímico de baixa densidade do estado de Roraima. Recife: CPRM, 2017. 225 p

GLOBAL 30-Arc-Second Elevation Data Set. *In*: EROS Data Center. **Global Change Master Directory**. Washington: USGS, 1996. Disponível em: https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD _ GTOPO30.html. Acesso em: 3 abr. 2020.

GNOJEK, I; PRICHYSTAL, A. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia, Czechoslovakia. **Geoexploration**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 491-502, Dec. 1985.

ISLES, D. J.; RANKIN, L. R. **Geological Interpretation of Aeromagnetic Data.** Australia: The Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013. 365 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 365 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration**. London: Blackwell Science, 2002. 281 p.

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. 780 p. il.

LITHERLAND, M.; ANNELS, R. N.; APPLETON, J. D.; BERRANGE, J. P.; BLOOMFIELD, K.; BURTON, C. C. J.; DARBYSHIRE, D. P. F.; FLETCHER, C. J. N.; HAWKINS, M. P.; KLINCK, B. A.; LLANOS, A.; MITCHELL, W. I.; O'CONNOR, E. A.; PITFIELD, P. E. J.; POWER, G.; WEEB, B. C. **The Geology and Mineral Resources of the Bolivian Precambrian Shield.** London: British Geological Survey, 1986.

LITHERLAND, M.; ANNELS, R. N.; DARBYSHIRE, S. P. F.; FLETCHER, C. J. N.; HAWKINS, M. P.; KLINCK, B. A.; MITCHEL, W. I.; O'CONNOR, E. A.; PITFIELD, P. E. J.; POWER, G.; WEBB, B. C. The proterozoic of Eastern Bolivia and its relationship to the Andean mobile belt. **Precambrian research**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 157-174, May 1989.

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**, New York, v. 24, n. 4, p. 679-688, Jan. 1993.

MINERAIS DO PARANÁ S.A. **Geoquímica de solo:** Horizonte B: relatório final de projeto. Curitiba: Mineropar, 2005. v. 2.

MINTY, B. R. S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, Australia, v. 17, n. 2, p. 39-50, Jan. 1997.

NEVES, B. B. de B. **Glossário de geotectônica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 256p.

PAYOLLA, B.L.; BETTENCOURT, J.S.; KOZUCH, M.; LEITE, W.B.; FETTER, A.H.; VAN SCHMUS, W.R. Geological evolution of the basement rocks in the east-central part of the Rondônia Tin Province, SW Amazonian craton, Brazil: U-Pb and Sm-Nd isotopic constraints. Precambrian Research, v. 119, p. 141-169, 2002.

PEIXOTO, E. M. A. Potássio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 19, maio 2004. Disponível: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a14.pdf. Acesso em: 09 nov. 2017.

PIRES, A. C. B.; HARTHILL, N. Statistical analysis of airborne gamma-ray data for geologic mapping purposes: Crixas-Itapaci area, Goiás, Brazil. **Geophysics**, Tulsa, v. 54, n. 10, p. 1326-1332, Oct. 1989.

QUADROS, M. L. do E. S.; RIZZOTTO, G. J. (org.). **Geologia e Recursos Minerais do estado de Rondônia**. Porto Velho; Rondônia: CPRM, 2007. Escala 1:1.000.000.

QUADROS, M. L. do E. S.; PALMEIRA, L. C. M.; CASTRO, C. C. e. Geologia e recursos minerais da folha Rio Machadinho (SC.20-X-C): Sistema de Informações Geográficas-SIG: texto explicativo dos mapas geológico

e de recursos minerais da folha Rio Machadinho, escala 1:250.000. Porto Velho: CPRM, 2011. 160 p. il., color.

RIZZOTTO, G. J. Petrologia e ambiente geotectônico do grupo Nova Brasilândia - RO. Porto Alegre, 1999. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, 1999.

RIZZOTTO, G. J.; BETTENCOURT, J. S.; TEIXEIRA, W.; PACCA, I. Y. G.; D'AGRELLA FILHO, M. S.; VASCONCELOS, P.; BASEI, M. A. S.; ONOE, A. T.; PASSARELLI, C. R. Geologia e geocronologia da suíte metamórfica colorado e suas encaixantes, SE de Rondônia: implicações para a evolução mesoproterozóica do SW do cráton Amazônico. **Geologia USP . Série Científica**, São Paulo, v. 2, p. 41-55, 2002.

RIZZOTTO, G. J.; OLIVEIRA, J. G.; DEHLER, N. M.; LOPES-JÚNIOR, I. **Geologia e recursos minerais da folha Vilhena:** SD.20-X-B: estado de Rondônia. Porto Velho: CPRM, 2016. 128 p. Escala 1:250.000.

RIZZOTTO, G. J.; OLIVEIRA, J. G. F. de; QUADROS, M. L. E. S.; CASTRO, J. M. R. de; CORDEIRO, A.; ADAMY, A.; DANTAS, M. E.; MELO JUNIOR, H. R. de. **Projeto Rio Madeira:** AHE Jirau e AHE Santo Antônio, relatório final. Porto Velho: CPRM, 2005.

RIZZOTTO, G. J.; SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; TOHVER, E.; PIMENTEL, M. M.; MCNAUGHTON, N. J. The Mesoproterozoic Guaporé suture in the SW Amazonian Craton: Geotectonic implications based on field geology, zircon geochronology and Nd-Sr isotope geochemistry. **Journal of South American earth sciences**, Oxford, v. 48, p. 271-295, Dec. 2013.

ROCHA, L.; PIRES, A. C. B.; CARMELO, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. O. **Projeto Potencial Diamantífero ao longo do Lineamento Azimute 125º através do Mapeamento do Manto Litosférico Subcontinental (MLSC):** relatório interno. [S. l.]: CPRM; 2019.

ROMANINI, S. J. **Aspectos geológicos, geoquímicos e metalogenéticos do magmatismo básico/ultrabásico do estado de Rondônia e área adjacente.** Porto Alegre: CPRM, 2001. (Série Metais do Grupo da Platina e Associados, n. 28).

SCHOBBENHAUS, C.; NEVES, B. B. de B. A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana. *In*: BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, E J. H. (ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.** Brasília: CPRM, 2003. cap. 1, p. 5-25.

SILVA, G. F.; Ribeiro, T. de J.; Silva, D. R. V. da; Oliveira, C. E. S. de; Corrêa L. W. C.; Neto, W. L. de O. Levantamento geológico e potencial mineral de Novas Fronteiras: estado de Rondônia. Porto Velho: CPRM, 2019. 169p.

SPECTOR, A.; GRANT, F. S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. **Geophysics**, Tulsa, v. 35, n. 2, p. 293-302, Apr. 1970.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, Ottawa, v. 22, n. 3, p. 174–182, 1999.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied Geophysics.** 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770 p.

TOHVER, E.; VAN DER PLUIJM, B.A.; VAN DER VOO, R.; RIZZOTTO, G.J.; SCANDOLARA, J.E. Paleogeography of the Amazon craton at 1.2 Ga: early grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia. Earth and Planetary Science Letters, Amsterdam, v. 199, n. 1-2, p. 185-200, May 2002.

TORRES, L. C. A. et al. Projeto Sudoeste de Rondônia: relatório final. Porto Velho: CPRM, 1979.

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.



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

ISBN
978-85-7499-576-2

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.

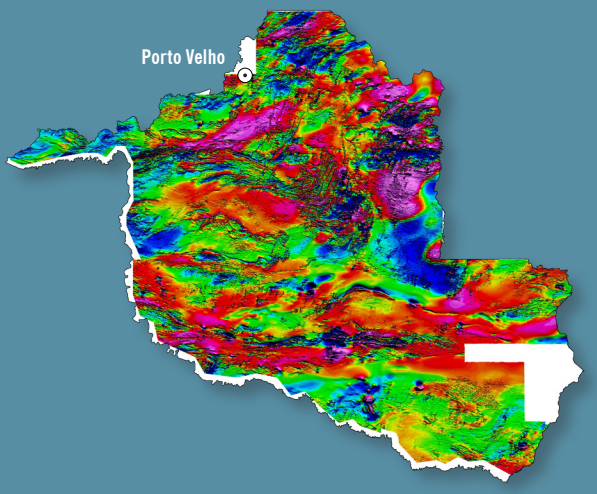
A aquisição de dados aerogeofísicos e sua ampla disponibilização representa uma das principais ações do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Ao longo das duas últimas décadas, importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do SGB-CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos, tendo sido recoberta uma área de cerca de 3,7 milhões de km^2, que corresponde a aproximadamente 43% do território nacional continental, e 92% das áreas de escudo cristalino. Em geral, nestes aerolevantamentos foram obtidos dados magnetométricos e gamaespectrométricos com espaçamento entre as linhas de voo de 500 m, e altura de voo de 100 m. Este grande esforço e investimento financeiro certamente tem contribuído para o aprimoramento do conhecimento geológico e a descoberta de depósitos minerais no Brasil.

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

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

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado de Rondônia



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Sede Brasília
Setor Bancário Norte - SBN
Quadra 02, Asa Norte
BLoco 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

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL