

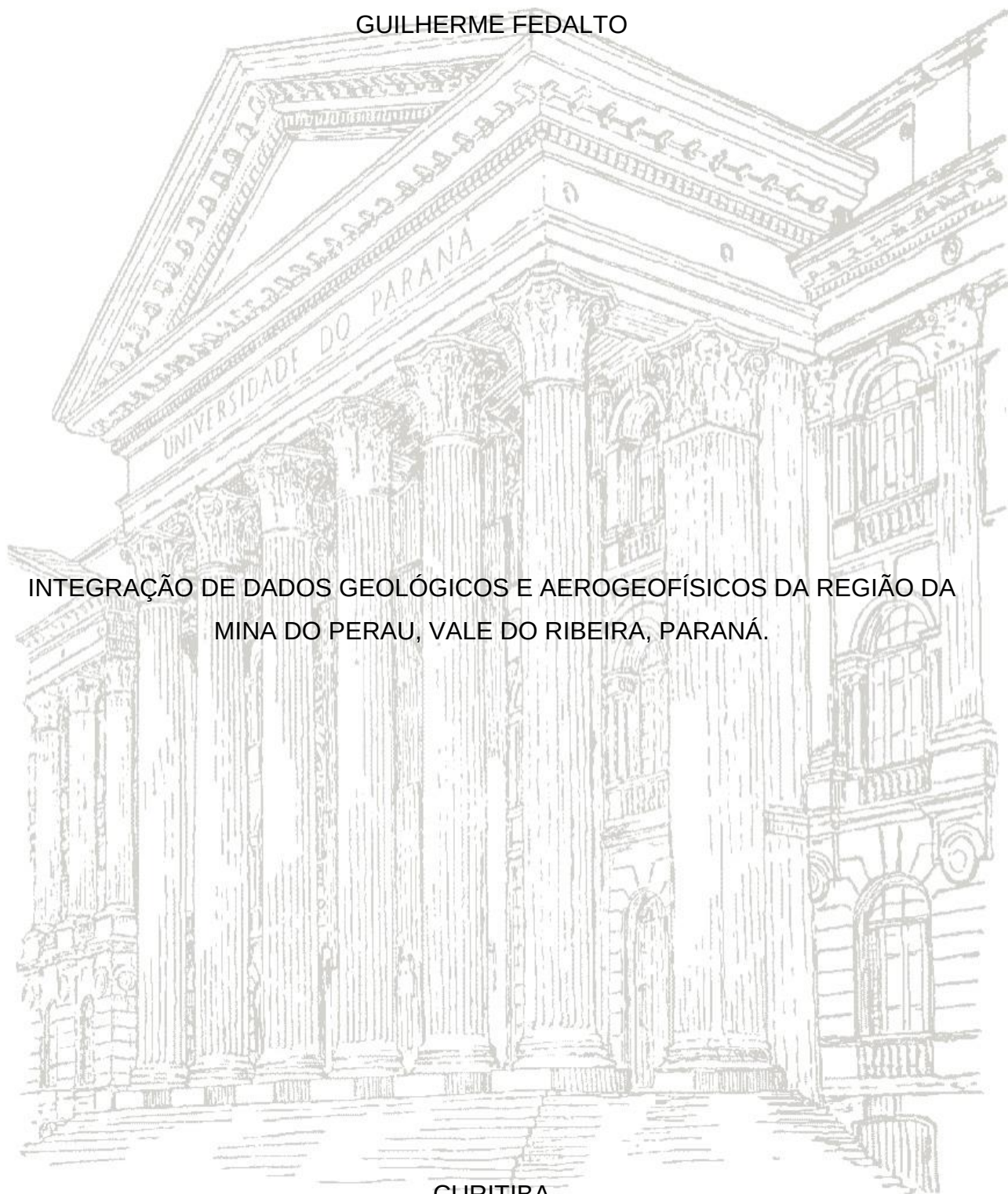
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME FEDALTO

INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS E AEROGEOFÍSICOS DA REGIÃO DA
MINA DO PERAU, VALE DO RIBEIRA, PARANÁ.

CURITIBA

2015



GUILHERME FEDALTO

INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS E AEROGEOFÍSICOS DA REGIÃO DA
MINA DO PERAU, VALE DO RIBEIRA, PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção de grau de
Geólogo no Curso de Graduação em Geologia,
Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal
do Paraná.

Orientador: Professor Doutor Leonardo Fadel Cury

Co-orientador: Professor Doutor Francisco José Fonseca Ferreira

CURITIBA

2015

À minha família,
Pelo apoio e incentivo a sempre continuar.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Leonardo Fadel Cury pela dedicação, orientação, paciência e pelas discussões essenciais para conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira, pela dedicação, orientação, paciência e pelas discussões essenciais para conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo de Mesquita Barros pelo auxílio em campo.

Ao Geólogo Bruno Macchioni Pereira pelas discussões e apoio durante este trabalho.

Ao Geólogo Renato Leandro pelos auxílios em campo

A Renata Santos Moreira da Silva pelo incentivo e apoio.

A CPRM pelo fornecimento dos dados.

E a todos que de forma direta ou indireta colaboraram com esta pesquisa.

RESUMO

A integração de dados geológicos e aerogeofísicos na região das minas do Perau, Canoas, Água Clara e Pretinhos, Vale do Ribeira-PR, utilizou como base geológica dados resgatados de projetos históricos realizados pela CPRM na década de 80. Os levantamentos aerogeofísicos referem-se a dados gamaespectrométricos e magnetométricos do Projeto Paraná-Santa Catarina, disponibilizados pela CPRM, em 2011. A área de estudo abrange gnaisses paleoproterozóicos do Núcleo Tigre, rochas metavulcanossedimentares mesoproterozóicas da Formação Votuverava e Perau e granitos neoproterozóicos. A Formação Perau é subdividida em três unidades caracterizadas pela predominância de quartzitos (basal), rochas carbonáticas e calciossilicáticas (intermediária) e xistos (superior), onde são reconhecidas paragêneses sugestivas de um evento metamórfico regional heterogeneamente desenvolvido em diferentes fases, compatível com fácies xisto verde e anfibolito. Apresenta mineralizações de Pb, Zn, Ag (Fe-Cu), tipo-Perau (SEDEX), em horizontes da sequência intermediária, com corpos de sulfetos maciços, observados nas minas do Perau, Canoas 1 e Canoas 2. Foi criado um Sistema de Informações Geográficas (SIG), denominado SIG Perau, utilizando mapas geológicos, fichas de afloramento com dados petrográficos e estruturais e dados geoquímicos obtidos em levantamentos geológicos das décadas de 80 e 90. Os mapas geofísicos apresentaram uma boa correlação com os dados geológicos, na qual foi possível interpretar zonas de cisalhamento e zonas de alteração hidrotermal que podem colaborar no mapeamento geológico e prospecção mineral na região no Perau.

Palavras-chaves: Mina do Perau; Sistema de Informações Geográficas; Magnetometria; Gamaespectrometria.

ABSTRACT

Geological database acquired from historical projects performed by CPRM in the 80's decade, provides the combined geological and geophysical analyses of Perau, Canoas, Água Clara and Pretinhos mines regions, in Ribeira valley, Paraná State. The geophysical data are related to aero- gamaspectrometric and magnetometric surveys from Paraná-Santa Catarina Project, realized by CPRM in 2011. The study area includes paleoproterozoic gneiss of Tigre nucleus, mesoproterozoic metavolcanosedimentary rocks of Votuverava and Perau formation, and neoproterozoic granites. The Perau formation is subdivided in three units: quartzites (basal), carbonatic and calcium-silicate rocks (intermediary) and schists (upper), where are recognized paragenesis from regional metamorphic event devoleped in different phases, from greenschist to amphibolite facies. The intermediary sequence shows Pb, Zn, Ag (Fe-Cu), Perau-type, mineralization horizons, represented by massive sulfide bodies in Perau, Canoas 1 and Canoas 2 mines. A Geographic Information System (Perau GIS) was developed throughout geological maps, outcrop reports with petrographic and structural records and geochemistry results obtained in geological surveys from 80 and 90's decades. The geophysical maps shows a good correlation with the geological data, providing an interpretation of shear zones and hydrothermal zones that can collaborate in geological mapping and ore prospection in Perau region.

Palavras-chaves: Perau Mine; GIS; aeromagnetic surveys; aerogamspectrometric surveys.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1.	LOCALIZAÇÃO	7
1.2.	OBJETIVOS	8
1.3.	JUSTIFICATIVA	9
2	CONTEXTO GEOLÓGICO.....	9
2.1.	NÚCLEO TIGRE	11
2.2.	FORMAÇÃO VOTUVERAVA	11
2.3.	FORMAÇÃO PERAU	12
2.4.	GRANITO VARGINHA	15
2.5.	ZONAS DE CISALHAMENTO E SISTEMAS DE FALHAS	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1.	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	16
3.2.	PROCESSAMENTO GEOFÍSICO	18
3.2.1.	Gamaespectrometria.....	20
3.2.2.	Magnetometria	25
3.3.	SUPERVISÃO DE CAMPO	29
4	Resultados	29
4.1.	SIG PERAU.....	29
4.1.1.	Mapas geológicos	29
4.1.2.	Fichas de afloramento	33
4.1.4.	Dados estruturais	36
4.2.	mapas geofísicos	38
4.2.1.	Gamaespectrometria.....	38
4.2.2.	Magnetometria	50
4.3.	VALIDAÇÃO DO SIG PERAU EM CAMPO	56
5.	DISCUSSÃO	59
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A presente monografia refere-se ao Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná, realizado em 2015. O trabalho consistiu na construção de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com dados geológicos resgatados da região das minas do Perau, Canoas 1 e 2, Água Clara e Pretinhos a fim de integrá-los com dados aerogeofísicos do levantamento Paraná Santa-Catarina (CPRM, 2011).

A integração de dados geológicos e geofísicos teve como objetivo a identificação de zonas de cisalhamento e registros hidrotermais na região, com a finalidade de avaliar condicionantes para remobilização e/ou deformação de depósitos sulfetados. Para validação do SIG foi realizada uma etapa de campo, onde foram coletadas amostras de minério, dados estruturais e petrográficos em afloramentos. As interpretações dos dados geofísicos e geológicos foram feitas em multiescala utilizando mapa regional da região da Mina do Perau, Canoas e Água Clara, escala 1:25000 e mapa de detalhe, escala 1:10.000, na região da Mina do Perau. Os mapas escala 1:25000 e escala 1:10000 possuem, aproximadamente 252 km² e 10 km² de área respectivamente.

1.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está inserida na região do Perau, ao norte do município de Tunas e ao sul do município de Adrianópolis, no Estado do Paraná (Figura 1). Com saída do município de Curitiba, o acesso à área é feito pela BR-476 até o município de Tunas, percorrendo 73 quilômetros. Para ter acesso a Mina do Perau, deve-se partir de Tunas pela Estrada da Ribeira sentido Adrianópolis e utilizar-se de estradas secundárias, a partir do quilômetro 27 e acessos secundários para as antigas instalações das minas.

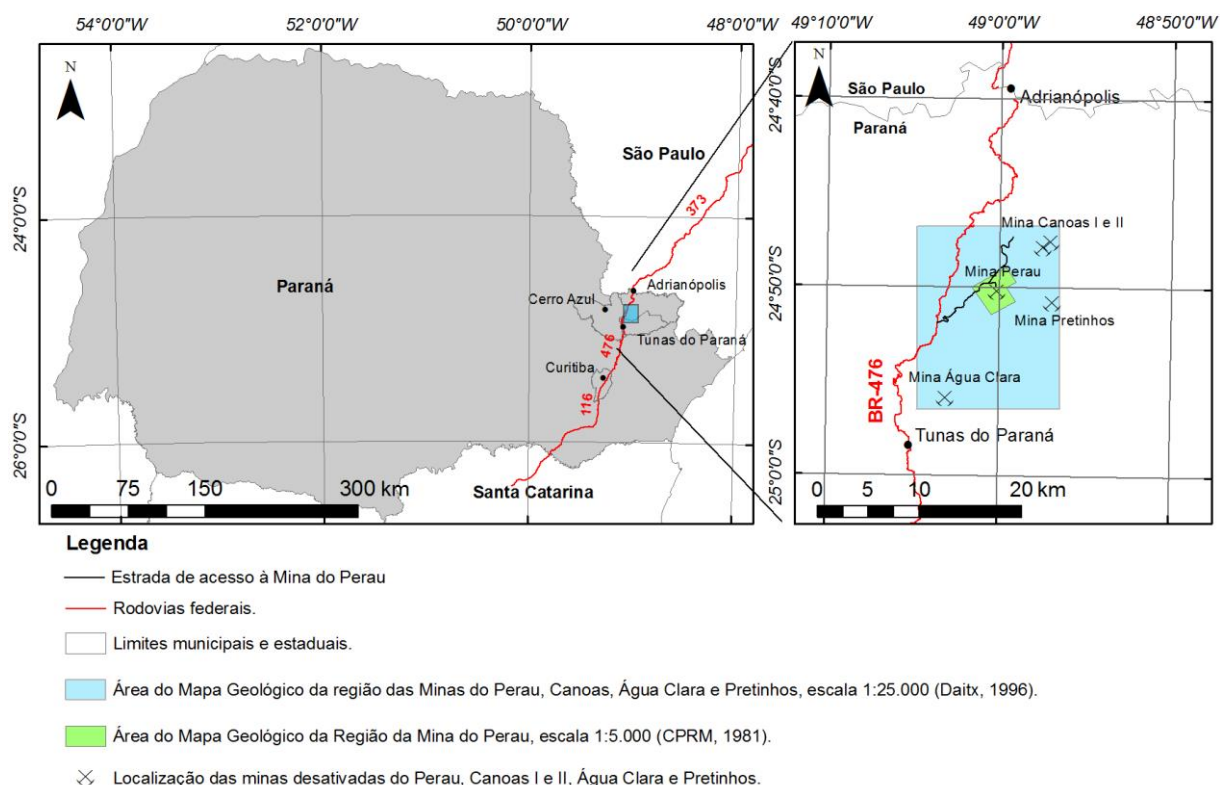


Figura 1 - Localização e acesso à área de estudo. Região da Mina do Perau, Vale do Ribeira, Paraná.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo integrar dados geológicos históricos com dados geofísicos modernos, em regiões com mineralizações de sulfetos de Pb-Zn-Cu (Ag) próximas a Mina do Perau, Vale do Ribeira. Especificamente, objetivou construir um SIG, denominado SIG Perau, com dados geológicos históricos do projeto executado pelo DNPM/CPRM “*Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira*” (Takahashi *et al* 1981), assim como, dados da tese de Daitx (1996) “*Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo-Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira – PR)*”.

A base geológica do SIG Perau foi integrada a dados magnetométricos e gamaespectrométricos do aerolevantamento Paraná-Santa Catarina (CPRM, 2011). A integração permitiu auxiliar na identificação e caracterização de zonas de cisalhamento e registros hidrotermais na região da Mina do Perau, com a finalidade de avaliar condicionantes geológicos para remobilização e/ou deformação dos depósitos sulfetados.

1.3. JUSTIFICATIVA

Historicamente, o Vale do Ribeira é uma região de interesse econômico em metais básicos como Pb, Zn, Cu, com Ag e Au associados, onde são reconhecidas importantes jazidas estratiformes como Perau, Canoas, Água Clara e Pretinhos, todas as minas atualmente desativadas. A digitalização das informações geológicas do “*Projeto Integração e Detalhe Geológico na Região do Vale do Ribeira*” (Takahashi *et al*, 1981) em ambiente SIG, irá facilitar o acesso aos dados, possibilitando a utilização de ferramentas modernas de pesquisa, edição e publicação. A digitalização de projetos geológicos com fins prospectivos é, antes de tudo, uma forma de resgatar informações que representam, ainda hoje, considerável investimento na geologia exploratória do Vale do Ribeira.

As ocorrências de metais sulfetados na região da Mina do Perau são admitidas como produto exclusivamente de processos sedimentares exalativos (SEDEX). Hoje, com a disponibilidade dos levantamentos aerogeofísicos realizados pela CPRM em 2011, com cobertura de toda região leste do Paraná, abriu-se uma nova perspectiva para estudos geológicos-geofísicos na região. A integração de dados geofísicos gamaespectrométricos e magnetométricos com dados geológicos contribuirá para um melhor entendimento dos depósitos minerais da região do Vale do Ribeira, quanto ao posicionamento tectônico e possíveis remobilizações hidrotermais e/ou supergênicas.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A região do Vale do Ribeira está inserida em um contexto tectônico de amalgamação crustal que na década de 80 era dividido em duas unidades geotectônicas denominadas, segundo Hasui *et al* (1980), Faixa de Dobramentos Apiaí e Maciço de Joinville. Interpretações atuais de Hasui (2010) denominam esta região de Cinturão Ribeira, onde Siga Jr (2009) subdivide o pré-cambriano do norte do estado de Santa Catarina, leste do Paraná e sul do estado de São Paulo em quatro terrenos tectônicos: Terreno Paranaguá, Terreno Luís Alves, Terreno Curitiba e Terreno Apiaí. A área de estudo deste trabalho está inserida no Terreno Apiaí, com unidades da Formação Perau, Formação Votuverava, Núcleo Tigre e rochas intrusivas do Granito Varginha (Figura 2).

O Terreno Apiaí está em contato a sul com o Terreno Curitiba pela Zona de Cisalhamento Lancinha, com cinemática destal de alto ângulo (Fiori, 1992). É formado pelos núcleos do embasamento Tigre, Betara e Apiaí-Mirim, por rochas metavulcanossedimentares da Formação Água Clara, Formação Votuverava (Mesoproterozóico), onde ocorrem metabasitos encaixados, pela Sequência Serra das Andorinhas, Grupo Lajeado (Meso a Neoproterozóico), Grupo Itaiacoca (Neoproterozóico), Suítes graníticas cálcio-alcálinas, metassedimentares da Formação Iporanga (Ediacarano), por granitoides sin e pós-colisionais e por rochas vulcânicas e metavulcanossedimentares do Grupo Castro (Ediacarano-Cambriano) (Siga Jr, 2009; 2011a).

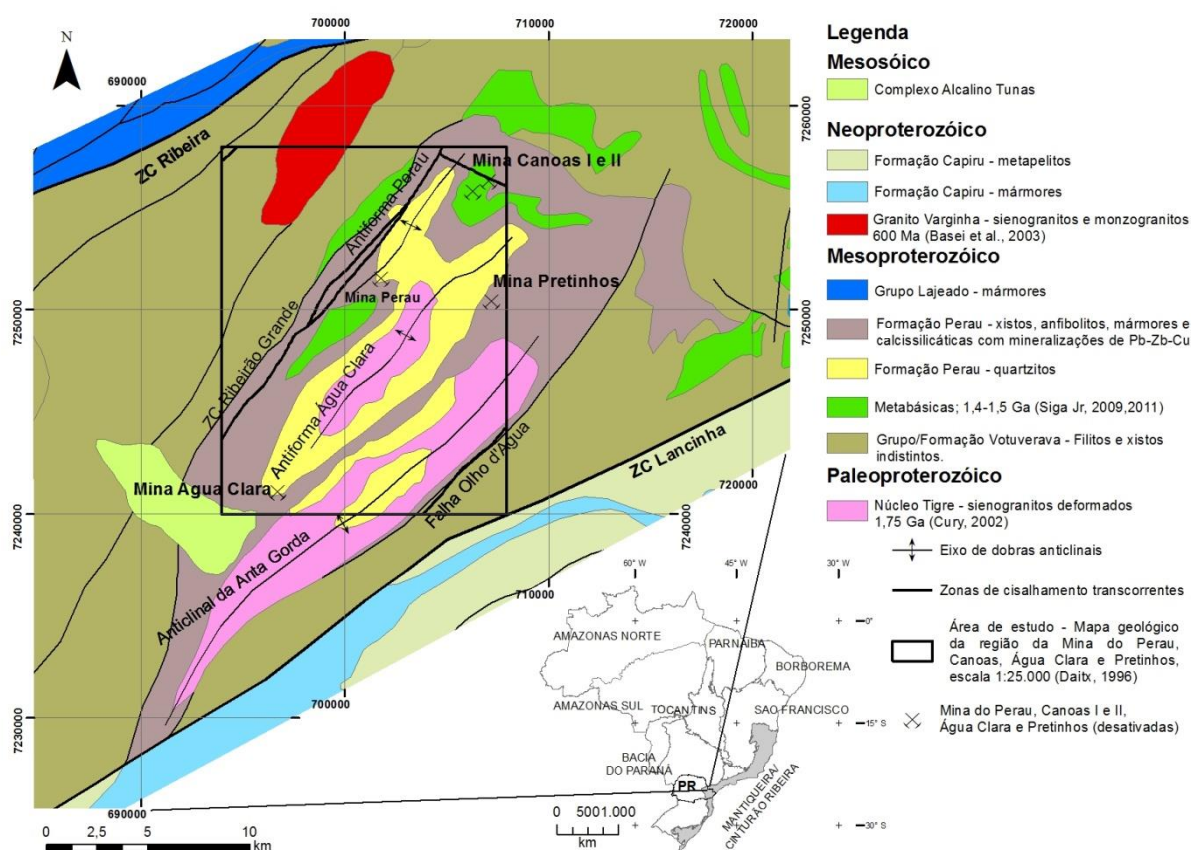


Figura 2 – Principais unidades tectônicas e geológicas da área de estudo. Base geológica utilizada: Folha Curitiba SG22 escala 1:1.000.000 (GEOBANK/CPRM)

2.1. NÚCLEO TIGRE

O embasamento do Terreno Apiaí é representado pelos Núcleos Tigre e Betara, que ocorrem balizados por rochas metavulcanossedimentares das Formações Perau e Betara, respectivamente. Os Núcleos Tigre e Betara são constituídos essencialmente de granitóides (sienogranitos, monzogranitos, granodioritos) proto, milonitizados e ultramilonitizados. Possuem cogeneticidade, idades de formação (U-Pb) de 1,75Ga (Proterozóico Superior) relacionados ao período Estateriano, ou Tafrogênese Estateriana, interpretada como quebra do continente Atlantida (Siga Junior, 1995; Cury, 2002). Adjacentes aos núcleos ocorrem sequências metavulcanossedimentares da Formação Perau (Núcleo Tigre) e Formação Betara (Núcleo Betara) que podem representar sedimentação em bacia tipo rift (idades entre 1700-1400 Ma datadas em galenas da região da Mina do Perau) (Daitx, 1996).

2.2. FORMAÇÃO VOTUVERAVA

Neste trabalho, será adotada classificação original da Formação Votuverava de Bigarella & Salamuni (1958b) atualizada com dados geocronológicos recentes. A Formação Votuverava está inserida no Grupo Açungui e é subdividida nos conjuntos Bromado, Coloninha e Saíva (Fiori, 1992; Fiori & Gaspar, 1993).

O Conjunto Bromado é composto de filitos, quartzitos e metaconglomerados, posicionado tectonicamente sobre o Conjunto Coloninha através da Falha do Bromado. O conjunto Coloninha compreende metarenitos, metassiltitos, metarritmitos e metaconglomerados. Já o Conjunto Saíva é composto essencialmente por filitos, metarritmitos, mármore e metamargas, ocorrendo no topo da Formação Votuverava.

Campanha (1991) eleva a Formação Votuverava como Grupo dentro do Terreno Apiaí, onde é limitado ao sul pela Zona de Cisalhamento Lancinha e ao norte pelas zonas de cisalhamento Figueiras e Ribeira. Segundo classificação de Faleiros (2008), retirada da Folha Apiaí 1:50.000 (CPRM, 2011), o Grupo Votuverava é constituído por uma sequência essencialmente vulcanossedimentar, com magmatismo básico expressivo, representado na forma de intercalações lenticulares, concordantes com a estrutura primária de metabasitos com idade U-Pb em zircões de 1,4-1,5 Ga (Siga Jr, 2009; 2011a). Perrota (1996) subdivide o Grupo Votuverava em

Formação Ribeirão das Pedras, Piririca, Nhunguara, Perau e duas unidades de micaxistos e granada micaxistos.

2.3. FORMAÇÃO PERAU

A Formação Perau foi definida por Takahashi *et al* (1981) como Sequência Perau. Daitx (1996) define-a como Complexo Perau, subdividindo-a em três unidades, caracterizadas pela: predominância de quartzitos (basal), rochas carbonáticas e calciossilicáticas (intermediária) e xistos (superior), onde são reconhecidas paragêneses sugestivas de um evento metamórfico regional heterogeneamente desenvolvido em diferentes fases, compatível com fácies xisto verde e anfibolito (Figura 3). A unidade intermediária destaca-se pela ocorrência de níveis mineralizados em sulfetos de Pb, Zn, Cu (Ag), hospedados em rochas calciossilicáticas.

As mineralizações mais expressivas ocorrem nas minas do Perau, Canoas 1 e Canoas 2, sendo reconhecidas em horizontes da sequência intermediária, com corpos mineralizados de sulfeto maciço localizados estratigraficamente acima de uma camada guia de filito grafitoso e abaixo de uma formação ferrífera bandada com magnetita/sulfetos e barita. Daitx (1996) descreve os níveis mineralizados na região do Perau (Pb-Zn-Ag-Ba) como leitos de sulfeto maciço, semimaciço e disseminado, encaixados predominantemente em rochas calciosilicáticas e ou micaceocarbonáticas, com intercalações de metacherts.

A área da Mina do Perau, da base para o topo predominam quartzitos, rochas carbonáticas e xistos a muscovitas, biotita, granada, sericita e grafita com intercalações de anfibolitos e calcioxistos, que exibem paragêneses mineralógicas de metamorfismo de fácies xisto verde ou anfibolito (Takahashi *et al*, 1981). A mina do Perau situa-se no flanco NW da anticlinal Perau, com vergência para SE e eixo com direção N45°E.

Segundo Takahashi *et al* (1981), a mineralização do Perau pode ser reconhecida pelos seguintes metalotectos: estratigráfico – base do Grupo Açungui; litológico – rochas carbonáticas; litoestratigráfico – a) quartzito: basal (camada guia), b) porção superior do pacote de rochas carbonáticas situadas acima do quartzito, c) lente de filito grafitoso na base da mineralização, d) nível de barita no topo da mineralização e e) nível magnético bandeado acima da barita; estrutural – terminações periclinais de dobras de segunda ordem do flanco NW do anticlinório Anta

Gorda. O horizonte mineralizado a Pb-Zn-Ag (Fe-Cu), encontra-se posicionado acima de filito grafitoso e abaixo de nível magnetítico bandado e de barita, ambos intercalados concordantemente na porção superior da sequência carbonática.

O modelo SEDEX (Rosebery), ou sedimentar exalativo/vulcanogênico exalativo, é o mais aceito para os depósitos tipo-Perau, no qual Biondi (2003) considera a mineralização da Mina do Perau depósitos distais em relação à estrutura vulcânica. Regionalmente, situam-se em sequência carbonática e pelito carbonática denominada Formação Perau, com idade modelo Pb/Pb = 1800 a 1600 Ma. A Formação Perau é composta por três sequências litológicas. A sequência inferior, ou quartzítica, sequência intermediária formada por mármore dolomíticos e calcíticos, entremeados por rochas calciossilicáticas e mica-carbonato xistos e a sequência superior pelítico-aluminosa e anfibolítica, com grafita-quartzo xistos e ortoanfíbolitos. Estudos isotópicos realizados em rochas metabásicas da Formação Perau caracterizam período de formação em torno de 1,5 Ga (Calimíniano), com idades U-Pb obtidas por SHRIMP e ID-TIMS em zircão (Siga Jr *et al*, 2011a). Nas regiões mineralizadas podem ocorrer intercalações de sericita xistos carbonosos (tufáceos) rochas vulcanogênicas félsicas, níveis mineralizados com Pb, Zn, Fe e Cu e/ou sulfatos de Ba e formações ferríferas bandadas quartzo-magnéticas, caracterizando o “horizonte Perau”.

Os depósitos tipo SEDEX formam-se sobre regiões de descarga hidrotermal focalizada em uma fratura distante do aparelho vulcânico. O corpo mineralizado é composto de sulfetos, minerais hidrotermais como carbonatos, chert, barita e apatita e por rochas não hidrotermais, clásticas, químicas e/ou biogênicas (Biondi, 2003). É comum entre os depósitos SEDEX uma zonalidade composicional, marcada pelo aumento da razão Zn/Pb a partir do complexo exalativo para o exterior.

2.4. GRANITO VARGINHA

O Granito Varginha é composto de sienogranitos, monzogranitos, quartzo monzonitos e quartzo sienitos com idade U-Pb (TIMS) em zircões de 600 Ma (Basei *et al*, 2003). Os sienogranitos ocorrem do centro ao nordeste do corpo granítico, composto por quartzo (25-35%), feldspato alcalino (45-55%), biotita (15%) e plagioclásio (5-15%). Na porção sudeste, os sienogranitos apresentam caulinização avançada, tendo na porção sul composição quartzo sienítica. Na porção, centro-sul do corpo, a composição mineral indica quartzo monzonitos (Q=10%; FK=50%; PLAG=35%; BIOT=5-10%) (Dressel, 2013).

Dressel (2013) indica que a estrutura do Granito Varinha é, de maneira geral, isotrópica, com foliação magmática incipiente, devido à fraca orientação de biotitas. Ressalta, também, a existência de bandas de cisalhamento miloníticas (espessuras entre 5 e 30 cm) rúpteis/dúcteis direção E-W/70S e na borda oeste bandas miloníticas dúcteis (1,70 cm de espessura) com veios de quartzo paralelos, com direção ENE-WSW.

2.5. ZONAS DE CISALHAMENTO E SISTEMAS DE FALHAS

Segundo Daitx (1996) as estruturas rúpteis não apresentam grande importância no modelo estrutural da área Perau, excetuando a zona de cisalhamento Ribeirão Grande, posicionada cerca de 1 km a noroeste da jazida Perau (JICA/MMAJ, 1982; Ebert, 1987). Nas imediações dessa estrutura, com direção geral NE-SW, as rochas do Complexo Perau encontram-se fortemente inclinadas, com mergulhos entre 50° e 80°. Daitx (1996) ressalta, ainda, que brechas e/ou protomilonitos marcam, provavelmente, as últimas movimentações dessa importante estrutura tectônica local.

A mina Perau está posicionada no bloco sudeste da Zona de Cisalhamento Ribeirão Grande. JICA/MMAJ (1982) indica através de levantamentos gravimétricos um provável rejeito vertical superior a 1 km para o bloco situado a noroeste dessa estrutura, em relação à área da mina Perau. Daitx (1996) salienta uma fase de falhas subverticais apresentando deslocamentos verticais inferiores de poucos metros. Algumas dessas falhas foram reativadas em tempos mesozoicos e alojam diques de diabásio.

Na área da jazida ocorre um grande número de pequenas falhas subverticais com direção preferencial N45°-70°E e caimento para NW ou SE, com deslocamentos verticais que não ultrapassam um metro. Algumas dessas falhas foram reativadas em tempos mesozóicos e alojam diques de diabásio. Devido ao seu paralelismo ao plano axial da antiforma Perau, sua formação (ou, pelo menos, sua reativação) pode ser associada a essa estrutura tectônica principal. Na região da Mina de Canoas, falhamentos subverticais provocam deslocamentos laterais e verticais de ordem métrica a hectométrica, com reflexos diretos na pesquisa e na lavra dos corpos mineralizados. Há dois sistemas principais de falhamentos, com direções gerais N50°-70°E e N60°W, sendo este último aparentemente mais jovem (Daitx 1996).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para construção de um banco de dados em meio SIG. Utilizou-se, da mesma forma, uma série de métodos para o processamento dos dados geofísicos e geração dos mapas gamaespectrométricos e magnetométricos. Para validação do banco de dados construído, foi feita uma etapa de campo com descrição de afloramentos, coleta de amostras e descrição dos corpos mineralizados.

3.1. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um banco de dados que consiste de informações sobre características distribuídas espacialmente, atividades ou eventos definidos no espaço como pontos, linhas ou áreas (Duecker, 1979). Este banco de dados representa discretamente a realidade geográfica na forma estática de objetos geométricos, com seus atributos associados com uma funcionalidade limitada para criar novos objetos, computar suas relações e interrogações (Goodchild, 1991).

Um SIG deve ser capaz de representar graficamente informações espaciais, associar informações alfa-numéricas (letras e números), realizar operações aritméticas cumulativas e não-cumulativas, oferecer recursos de entrada e operação de dados, possibilitar a importação e exportação de dados e gerar resultados na forma de mapas, gráficos e tabelas.

Para criar um banco de dados SIG, faz-se uso do geoprocessamento, que consiste em técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (Câmara *et al*, 2005). Estas técnicas englobam um conjunto de ferramentas: sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, análise e interpretações de imagens e geoestatística.

Dentro de um sistema computacional SIG, os elementos espaciais geométricos (linhas, pontos e áreas) são armazenados em arquivos vetoriais denominados *shapefiles* (.shp). Estes armazenam suas informações em uma Tabela de Atributos, que consistem em um banco de dados com múltiplas informações em diferentes colunas para o mesmo objeto geométrico.

Os dados armazenados em um SIG podem ter origem analógica, como mapas e imagens, os quais podem ser digitalizados para arquivos gráficos (*tif*, *.jpeg*) para então serem vetorizadas e georreferenciadas (posicionadas geograficamente a partir de *datum* horizontal pré-estabelecido) em elementos geométricos como (pontos, linhas e áreas).

Para utilizar as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao resgate dos dados geológicos, fez-se uso do *software* ArcGis® e MS Excel. Foram resgatados, do volume de dados do relatório da CPRM/DNPM, 298 fichas com descrição de afloramentos (com dados estruturais e petrográficos georreferenciados), tabelas geoquímicas semi-quantitativas, diagramas esfereográficos de dados estruturais, imagens de localização, fotos e o mapa geológico escala 1:10000. Assim como, o mapa geológico da tese de Daitx (1996), escala 1:25000, foi digitalizado e adicionado ao banco de dados.

Os mapas geológicos foram georreferenciados utilizando *datum* Córrego Alegre e seus elementos gráficos foram digitalizados em elementos vetoriais (.shp). As informações geológicas, após o primeiro georreferenciamento, foram projetadas no sistema de coordenadas UTM WGS 84, o mesmo sistema dos levantamentos geofísicos.

Os elementos vetoriais são representados por unidades geológicas (polígonos/áreas), contatos geológicos, falhas, dobras (linhas) e atitudes de camada, localização das galerias da Mina do Perau (pontos). Posteriormente, as tabelas geoquímicas e as fichas de afloramento foram digitalizados em tabelas (.xls) e inseridas no SIG Perau como um *shapefile* (.shp) de pontos.

O resgate dos dados estruturais (xistosidades, falhas, acamamento) das fichas de afloramento e dos mapas geológicos permitiu uma reavaliação destes dados, através da construção de diagramas estereográficos, utilizando o *software Stereo32*.

3.2. PROCESSAMENTO GEOFÍSICO

Para este trabalho foram utilizados dados aerogeofísicos do levantamento do Projeto Paraná-Santa Catarina fornecidos pela CPRM, executado entre 2009 e 2011 (Figura 4). Este levantamento abrange parte da região sul do Brasil, compreendendo a parte sul do Estado de São Paulo e a parte leste dos estados do Paraná e Santa Catarina. A área de estudo recobre a porção leste da carta SG-22-X-B-IV e a porção oeste da carta SG-22-X-B-V (Figura 4)

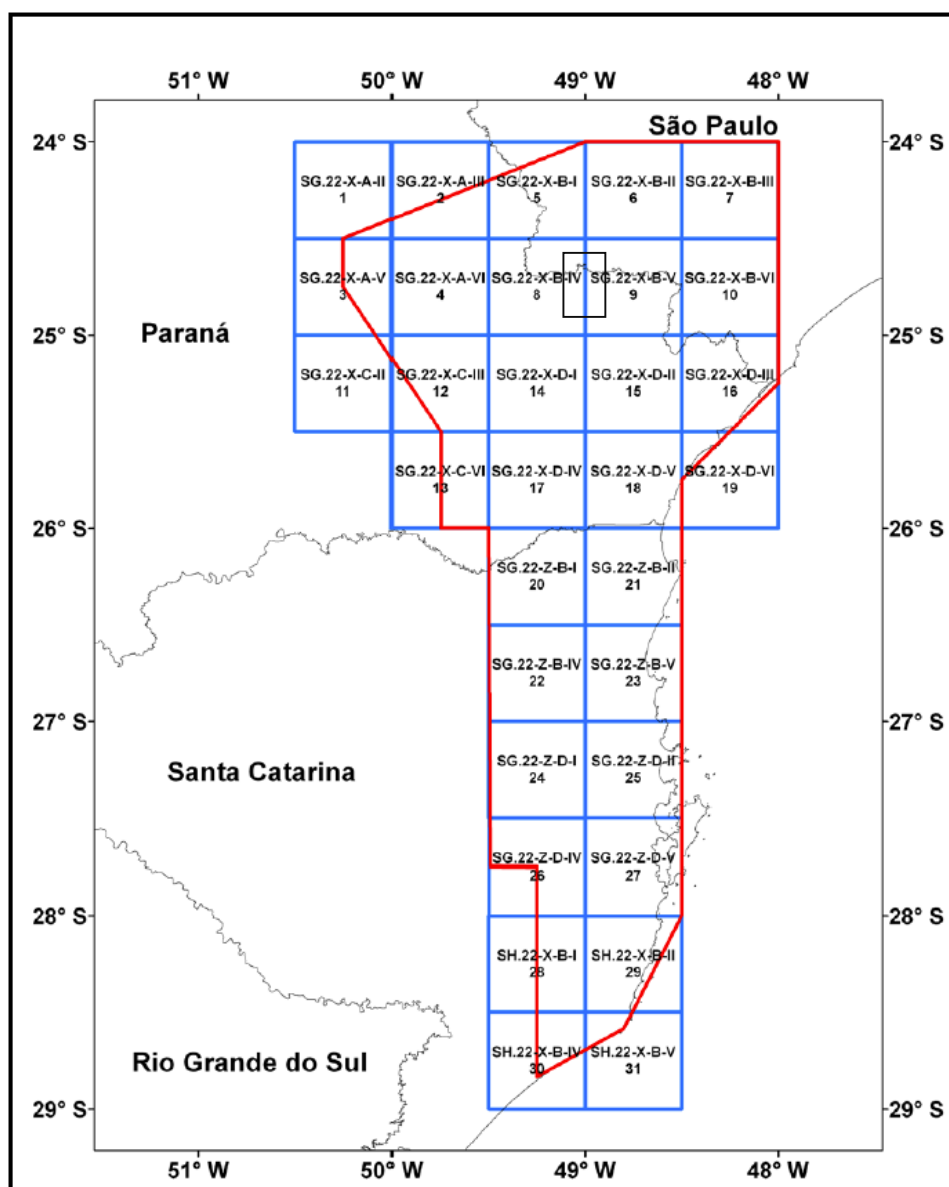


Figura 4 – Articulação das cartas 1:100.000 que recobrem a área do levantamento aerogeofísico Paraná-Santa Catarina (CPRM, 2011). A área de estudo recobre a porção leste da carta SG-22-X-B-IV e a porção oeste da carta SG-22-X-B-V.

O levantamento aerogeofísico consta com perfis aeromagnéticos e gamaespectrométricos de alta resolução, com linhas de voo espaçadas a cada 500 m e de controle a cada 10 km, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura de vôo foi fixada em 100 m sobre o terreno. Para o processamento e interpretação dos dados geofísicos foram utilizados os softwares *Oasis Montaj* e *ArcGis*, respectivamente.

3.2.1. Gamaespectrometria

As principais fontes de radiação utilizadas nas análises gamaespectrométricas provêm da desintegração natural do potássio (^{40}K) e dos elementos das séries do urânio (^{238}U) e do tório (^{232}Th). A contagem total (CT) da radiação é obtida por intermédio de um espectrômetro, onde é medido os raios gama dentro da janela energética entre 0,41 a 2,81 MeV (Figura 5). Neste intervalo, cada elemento é associado a um canal do espectrômetro onde as suas energias estão centradas (Ribeiro *et al*, 2013).

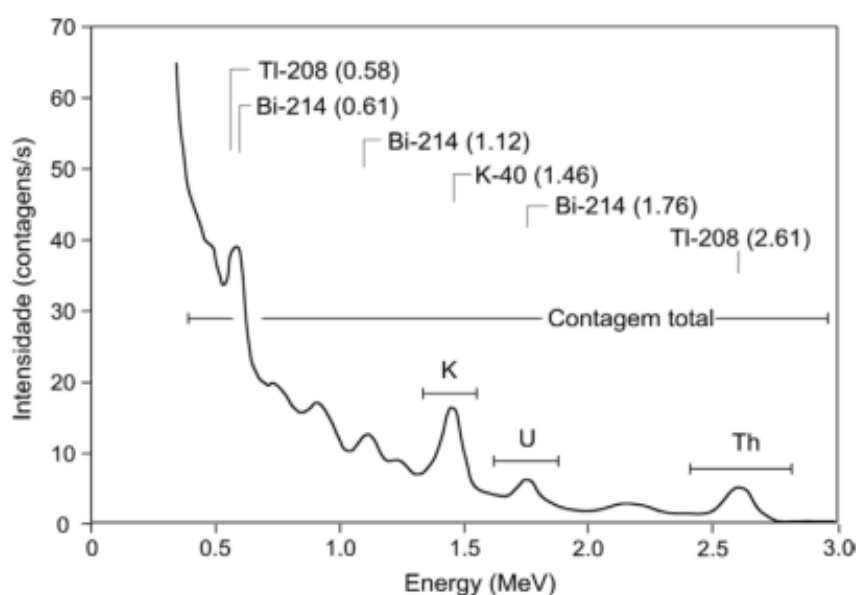


Figura 5 - Espectros da radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total. Retirado de Ribeiro *et al* (2013), que foi modificado de Foote (1968).

Os raios gamas emitidos pelo potássio (^{40}K) se concentram no pico de energia de 1,46 MeV. Os isótopos ^{238}U e ^{232}Th não emitem radiação gama, porém seus produtos decorrentes de suas séries de decaimento radioativo (^{214}Bi e ^{208}Tl , respectivamente) emitem raios gama com energias centradas em 1,76 e 2,61 MeV (Kaplan, 1964). As estimativas das concentrações de urânio e tório geralmente são referidas na literatura como urânio equivalente (eU) e tório equivalente (eTh) (Ribeiro *et al*. 2013).

A gamaespectrometria tem pouco alcance em profundidade e as informações obtidas para interpretação limitam-se aos contatos geológicos superficiais e/ou afloramentos de uma formação. Para interpretar os mapas de concentrações de K, eTh, eU e CT devem ser consideradas as características geoquímicas, a cristalografia,

O U e o Th não são tão móveis quanto o K. O urânio é liberado de minerais solúveis em ambiente oxidantes (na forma U+6, oxidada), complexando-se com ânions como carbonatos, sulfatos e fosfatos para formar espécies solúveis. Em ambientes redutores tende a precipitar, complexando-se com óxidos e hidróxidos de ferro, minerais de argila e coloides, reduzindo seu estado para U+4. (Dickson & Scott, 1997). Concentrações de urânio podem estar associados à resistatos, como a monazita e zircão, argilas ou ^{226}Ra exsolvido da água subterrânea. O urânio pode acompanhar o potássio durante processos hidrotermais ao contrário do tório, o qual apresenta a menor mobilidade geoquímica dos três elementos. O fenômeno é conhecido como antagonismo de Ostrovsky (1975) entre o tório e potássio (Ribeiro et al. 2013)

O tório também está relacionado com minerais resistatos e tende a se concentrar no perfil do regolito, podendo ser altamente móvel, quando combinado com complexos orgânicos nas águas subterrâneas e nos solos. A solubilidade de complexos de tório é geralmente baixa, exceto em soluções ácidas. Desta maneira, compostos orgânicos, como os ácidos húmicos, podem aumentar a solubilidade do Th em condições de pH neutro (Dickson & Scott, 1997)

Rochas félsicas possuem um teor mais elevado de radioelementos do que rochas máficas ou ultrabásicas, devido à tendência de aumento de Th e U em relação ao teor de sílica. Tório apresenta crescimento maior do número de contagens em função do teor de sílica comparativamente ao urânio, tornando possível utilizar a razão Th/U para investigar o grau de diferenciação dentro de uma suíte ígnea (Figura 7). Rochas formadas no último estágio de colocação ígnea (pegmatitos), durante a redução de temperaturas, apresentam altos teores de potássio e quantidades menores de tório e urânio, entretanto, rochas tardias ocupam áreas pequenas e muitas vezes não apresentam influência em aerolevantamentos. (Ribeiro et al, 2013)

Tipo de Rocha	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
INTRUSIVAS						
granitóides	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45	0,4-3,9	0,5-7,8	2,0/37
rochas gnaissicas	2,4-3,8	2,1-3,6	18-55	0,7-1,9	1,6-3,8	6,0-19,0
pegmatito	2,6-5,5	0,3-1	0,3-9,6	-	-	-
aplitos	0,6-4	1,0-8,0	3,0-20	-	-	-
quartzo-feldspatos porfíricos	1,0-5,0	1,3-2,9	6,0-14,0	-	-	-
íntusvas intermediárias	0,7-5,6	0,1-1,2	0,8-6,1	0,7-3,4	1,5-2,6	2,9-8,4
íntusvas máficas	0,1-0,8	0,0-1,1	0,0-3,1	-	-	-
EXTRUSIVAS						
vulcânicas félsicas	2,0-4,4	1,4-13	13-28	1,8-3,2	1,3-2,4	10-18,0
vulcânicas intermediarias	1,8-4,1	0,9-5,6	1,5-15	1,0-2,7	1,2-3,6	4,0-17
andesitos com baixo-K	0,7-0,9	1,0-2,5	3,0-8,0	0,8-1,5	1,2-1,5	4,0-6,0
vulcânicas máficas	0,3-1,3	0,3-1,3	2,0-5,0	0,2-1,4	0,6-2,5	3,3-13
vulcânicas ultramáficas	0,2-0,9	0,3-0,9	0,0-4,0	-	-	-
SEDIMENTARES						
folhelhos arqueanos	0,4-1,6	0,3-1,3	1,0-5,0	-	-	-
outros tipos de folhelhos	0,1-4,0	1,6-3,8	10-55,0	0,7-3,0	1,2-5,0	6,0-19,0
arenitos	0,0-5,5	0,7-5,1	4,0-22,0	0,1-2,4	1,2-4,4	7,0-18,0
carbonatos	0,0-0,5	0,4-2,9	0,0-2,9	-	-	-

Figura 7 - Variação da concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália. Retirado de Ribeiro et al (2013), modificado de Dickson & Scott (1997).

Para gerar os mapas de contagem individual de cada elemento foi realizado um nivelamento, com intuito de eliminar contagens negativas, pois não existem teores negativos. Para tanto, foram somados os valores absolutos dos mínimos para todos os elementos. Dessa forma, os menores para todos os elementos não serão inferiores a zero (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados estatísticos utilizados para realizar o micronivelamentos do K, eU e eTh.

	K	eU	eTh
Mínimo	-0,10008	-1,0086	-0,42
Máximo	3,84381	7,253137	39,8391
Média	1,07532	1,093016	8,35682

A partir dos mapas básicos de K, Th e U nivelados, foram gerados mapas ternários RGB, mapas de razões, fator F e mapas de K e U anômalos. O mapa ternário é gerado a partir da associação do sistema de cores RGB (ou CMY), sendo R=potássio (%), G=urânio (ppm) e B=tório (ppm) (Figura 8). As cores estão associadas com o máximo e o mínimo da concentração dos três elementos, estando

cada elemento em um vértice de um triângulo equilátero. Resultados com a cor branca representam altas contagens dos três elementos e cores pretas estão associadas às baixas contagens, da mesma forma que o mapa apresentará cores intermediárias entre cada vértice.

Os mapas das razões U/Th, U/K e Th/K destacam a diferença entre as concentrações dos elementos radiométricos em corpos graníticos em uma mesma região, possibilitando a identificação de áreas com forte alteração hidrotermal do tipo potássica e/ou sódica (dois tipos de alteração com maior concentração do elemento K). Variações na concentração dos radioelementos são resultado principalmente da geologia local, processos de enriquecimento (diferenciação magmática e/ou ação hidrotermal) e pelo grau de intemperismo. Nas razões U/K e Th/K, fica mais evidente a diferença dos teores entre os elementos, do que na U/Th, que apresenta contrastes menores (Ribeiro *et al*, 2013):

O fator F (Gnojek & Prichystal, 1985) (Equação 1) realça o enriquecimento de potássio e urânio em relação ao tório, principalmente quando associado a áreas com alteração hidrotermal. Áreas com forte intemperismo e alta lixiviação do potássio tendem a apresentar altos valores do parâmetro F. Os mapas de potássio anômalo (Kd) e urânio anômalo (Ud) são utilizados para ressaltar áreas com altas contagens de urânio e potássio em detrimento dos outros elementos. A partir do parâmetro F, Kd e Ud gera-se um mapa ternário RGB, onde ressaltam-se áreas indicativas de remobilização do potássio e alteração hidrotermal.

Equação 1 – Fator F

$$F = K \times \frac{eU}{eTh}$$

Mapas litogeofísicos podem ser confeccionados por meio da análise supervisionada, onde são separados domínios gamaespectrométricos levando em consideração a proporção entre o K, eU e eTh. Para corroborar com a interpretação, histogramas com os valores mínimos, máximos e médios dos três radionuclídeos devem ser confeccionados para cada domínio. Por fim, os domínios litogeofísicos devem ser integrados a uma base geológica, para comparar a resposta geofísica com dados petrográficos.

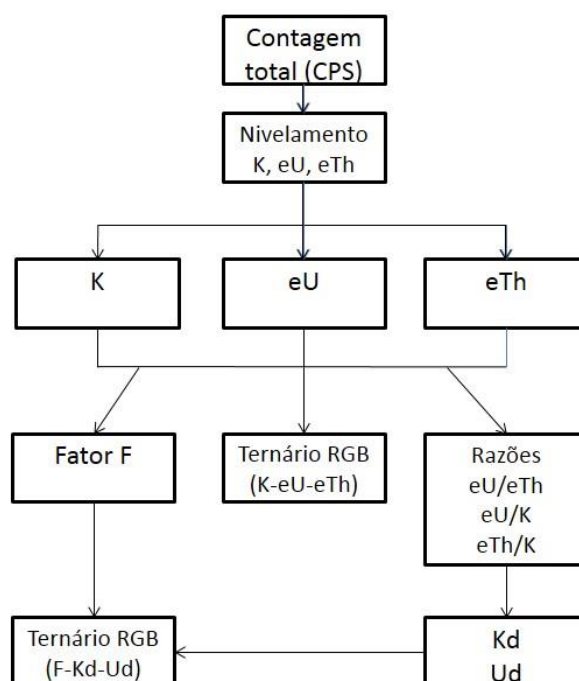


Figura 8- Fluxograma do processamento dos dados gamaespectrométricos.

3.2.2. Magnetometria

A magnetometria objetiva estudar a geologia por meio de anomalias do campo magnético da Terra resultantes das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície. Certos tipos de rochas contêm minerais magnéticos o suficiente para produzir anomalias magnéticas significativas (Kearey *et al*, 2009).

Levantamentos aeromagnéticos medem a força local do campo magnético da Terra. A medida é uma combinação do campo magnético da Terra, denominado IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) e do campo induzido por rochas crustais. Esta combinação é denominada de TMI (Total Magnetic Field), ou então Campo Magnético Anômalo (CMA) (Isles & Rankin, 2013).

O componente vetorial do campo magnético é medido em *nanoTesla* (nT), o qual se refere à intensidade do fluxo magnético emitido por corpos magnéticos. A força do campo magnético terrestre varia de 70000 nT próximo aos pólos a 25000 nT em regiões equatoriais.

Para o processamento, foram extraídos do levantamento Paraná-Santa Catarina os dados contidos nos limites do mapa geológico da região da Mina do Perau,

Canoas e Água Clara, escala 1:25.000, publicado por Daitx (1996). O mapa do Campo Magnético Anômalo (CMA) foi gerado utilizando o método de mínima curvatura.

Sobre o CMA foi utilizado um filtro passa-baixa (*low pass filter*) de 500 m e feito um micronivelamento de 30 nT, com o intuito de eliminar ruídos e equalizar os valores positivos e negativos. Após executado o *low pass filter* e o micronivelamento, o CMA foi reduzido ao polo (RTP), a fim de reduzir a bipolaridade das fontes magnéticas. Sob o CMA-RTP optou-se realizar uma continuação de voo (*upward continuation*) de 100 metros, para realçar estruturas mais profundas e eliminar ruídos de fontes rasas.

Segundo Castro et al (2014), a redução ao polo tem como principal atributo recalcular os valores do campo magnético, simulando a localização da sua fonte no polo magnético. Este recurso proporciona a relocação das amplitudes máximas das anomalias sobre o centro de suas fontes, facilitando a interpretação geológica dos dados magnéticos. Os parâmetros utilizados para a redução ao polo estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados no processamento para reduzir o Campo Magnético Anômalo ao polo. Método de Redução ao Polo (RTP).

Projeto	Data média de aquisição	Coordenada central da área	Declinação	Inclinação	Média da altitude	Inclinação para correção de amplitude
PR-SC	15/07/2010	49° W; 24°50' S	-18,87o	-34,75°	770 m	-54.25°

Sobre o CMA-RTP foram aplicados métodos de realce com técnicas de processamento qualitativos (Figura 9 e 10) e semiquantitativos. Os principais métodos de realce qualitativos e semiquantitativos e suas aplicabilidades estão descritos na Tabela 3

A Deconvolução de Euler é um método semiquantitativo aplicado para a determinação de profundidade de fontes de anomalias gravimétricas e magnéticas, com o qual é realizada uma varredura dos dados residuais e, por meio de janelas móveis, são selecionadas anomalias para as quais são estimadas as profundidades de suas fontes causativas (Castro et al, 2014).

Tabela 3 – Métodos de realces sobre o Campo Magnético Anômalo com suas características e aplicabilidades.

Métodos de realce qualitativos	Características
Gradiente Horizontal total (GHT) - <i>Cordell & Grauch (1985)</i>	Vetor resultante das combinações das derivadas de primeira ordem nas direções x e y. Utilizado para realçar os limites (bordas) dos corpos e estruturas causadoras das anomalias.
Amplitude do Sinal Analítico (ASA) - <i>Nabighian (1972), Roest et al. (1992)</i>	Função relacionada às derivadas nas direções x, y, z do campo magnético. Os picos da ASA são simétricos e ocorrem diretamente sobre as bordas dos corpos e diretamente sobre o centro dos corpos estreitos.
Inclinação do Sinal Analítico (ISA) - <i>Miller & Singh (1994)</i>	Representa o ângulo formado entre os vetores real e imaginário do sinal analítico representando o quociente entre Gz e o GHT. Método detector centros de corpos ou estruturas magnéticas.
Gradiente Horizontal total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA) - <i>Verduzco et al. (2004)</i>	Combinação da ISA e suas derivadas horizontais Gx e Gy. Evidencia o centro e as bordas dos corpos, recomendado para mapear estruturas rasas do embasamento e alvos de exploração mineral.
Theta map - <i>Winjs et al. (2005)</i>	Normalização do GHT pela ASA. Posiciona as anomalias diretamente sobre suas fontes.
Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT) - <i>Ferreira et al. (2010, 2013)</i>	Aplicação do ISA nos dados derivados do GHT. Melhor resolução das bordas dos corpos, devido à equalização do GHT pelo ISA.
Inclinação do Gradiente Horizontal Total (IGHT) - <i>Cooper & Cowan (2006)</i>	Normalização do GHT pelo Gz. Posiciona as anomalias diretamente sobre suas fontes. Utilizado para delimitar as bordas dos corpos, equalizando o pico de corpos rasos e profundos.
Signum de segunda ordem (<i>Signum transform</i>) – <i>Souza & Ferreira (2012)</i>	Normalização da derivada de segundo grau na vertical (Gz ²). As anomalias magnéticas apresentam dois valores (-1 e +1) e as fontes causativas são representada pelos valores positivos. Utilizada para definir os limites de estruturas.
Método semiquantitativo	Característica
Deconvolução de Euler (Thompson, 1982; Reid et al., 1990)	Utilizada para estimar a profundidade das fontes magnéticas. Obtida através da relação das derivadas horizontais e verticais do campo magnético com a localização das fontes causativas.

Os parâmetros utilizados para realizar o processamento foram: Índice Estrutural zero (contatos geológicos), tolerância máxima de profundidade 8%, abertura da janela de 10 metros e altura de voo de 200 metros. Foram separadas 4 classes de profundidades: fontes menores que 100 metros, 100-200 metros, 200-300 metros e acima de 500 metros.

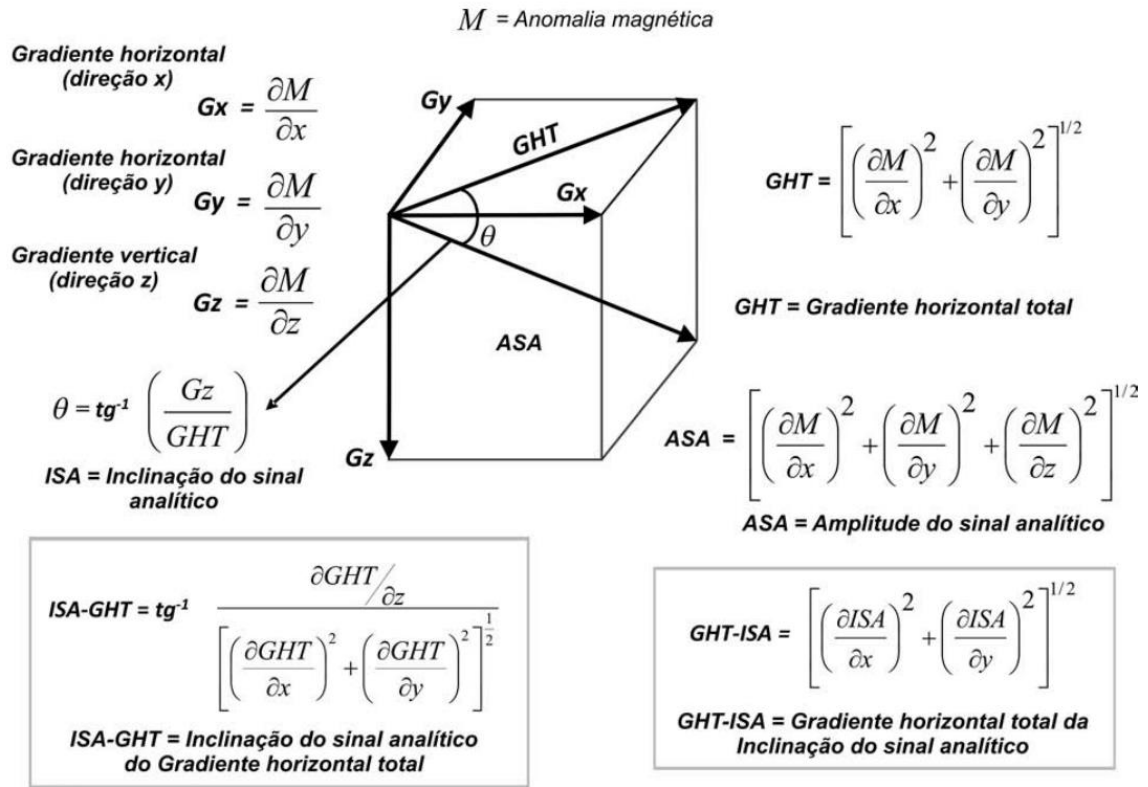


Figura 9 - Métodos de realce utilizados para análise semiquantitativa. Retirado de Castro et al. (2014) e Ferreira et al. (2013).

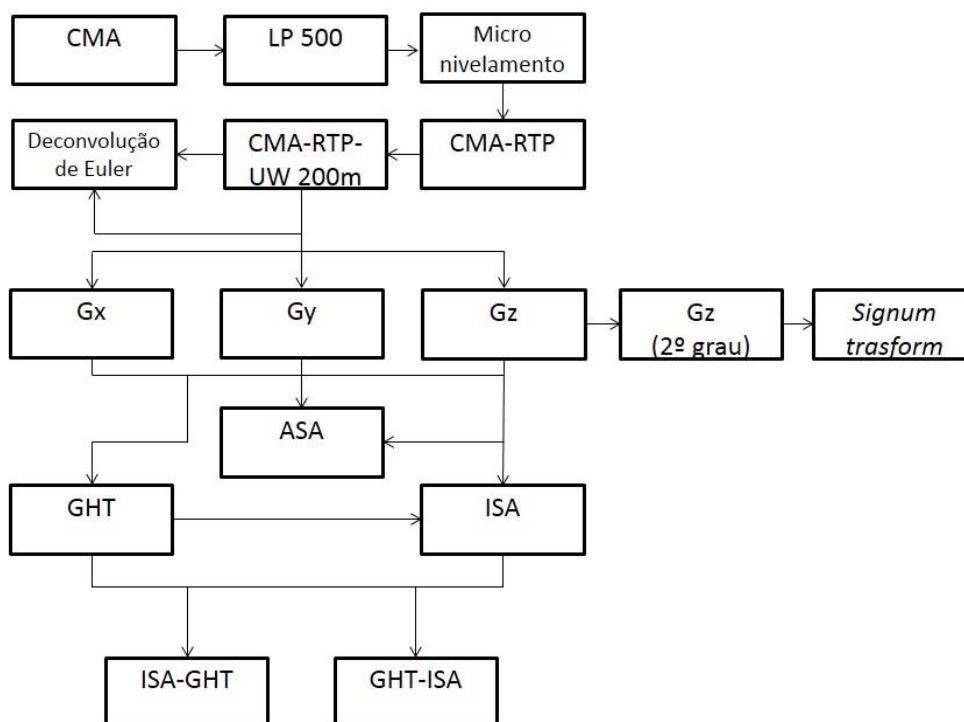


Figura 10 - Fluxograma de processamento dos dados magnetométricos

3.3. SUPERVISÃO DE CAMPO

A supervisão dos dados do SIG Perau foi realizada em uma etapa de campo, onde foram estudados afloramentos localizados em alvos pré-selecionados para validação dos dados geológicos e interpretações geofísicas. Também foram utilizadas descrições de afloramentos realizadas por alunos da disciplina de Mapeamento Geológico em 2014, do Curso de Geologia da UFPR. Esses dados foram utilizados para apoiar as interpretações geofísicas, comparando os lineamentos magnéticos com as estruturas observadas em campo, os domínios gamaespectrométricos com as informações petrográficas e, finalmente, validando as interpretações decorrentes da análise geofísica.

4 RESULTADOS

4.1. SIG PERAU

4.1.1. Mapas geológicos

A primeira etapa da construção do SIG Perau consistiu na digitalização do mapa geológico da região da Mina do Perau (escala 1:5.000), contido no relatório do *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira* (Takahashi et al, 1981)

(Figura 11; Figura 12) e do mapa geológico da região das Minas do Perau, Canoas, Água Clara e Pretinhos (Daitx, 1996) (Figura 13). Nos mapas geológicos constam dados geológicos como as unidades litológicas, falhas, dobras, atitudes de acamamento e xistosidade, localização das minas, ocorrência mineral, assim como dados planimétricos, como edificações, estradas, rios, acessos. Estas informações foram vetorizadas em *shapefiles* de pontos, linhas e áreas/polígonos e classificadas em suas Tabelas de Atributos.

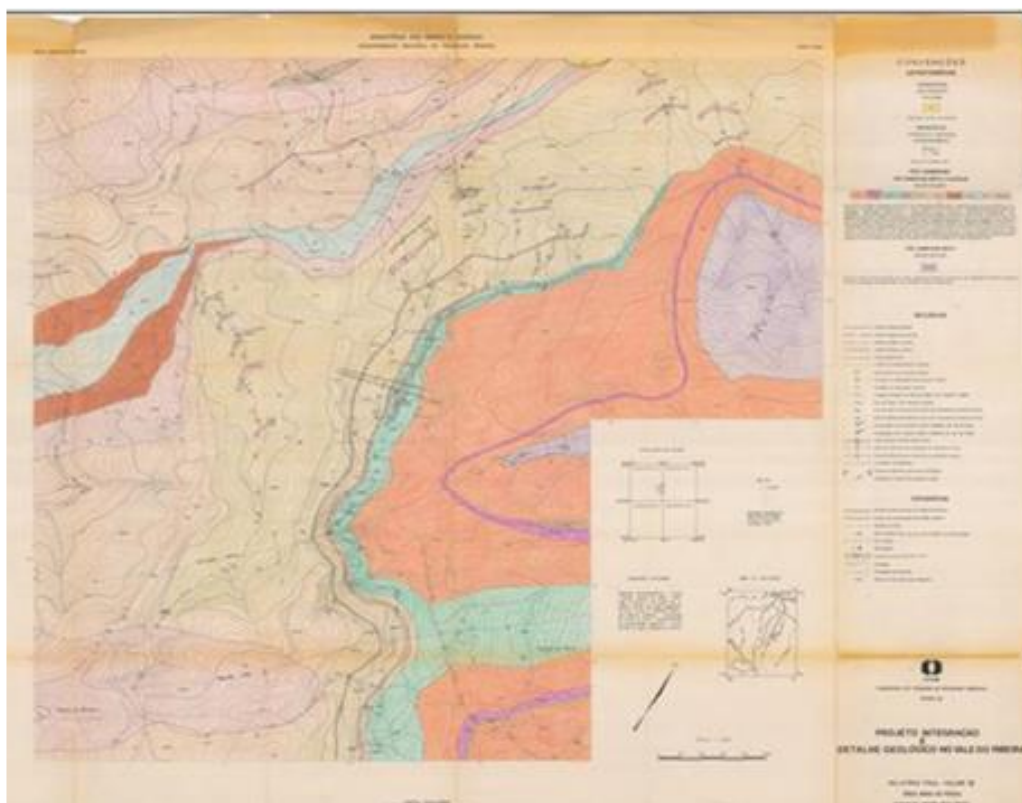


Figura 11 Mapa geológico da Região da Mina do Perau, digitalizado do relatório *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira* (Takahashi et al.1981).

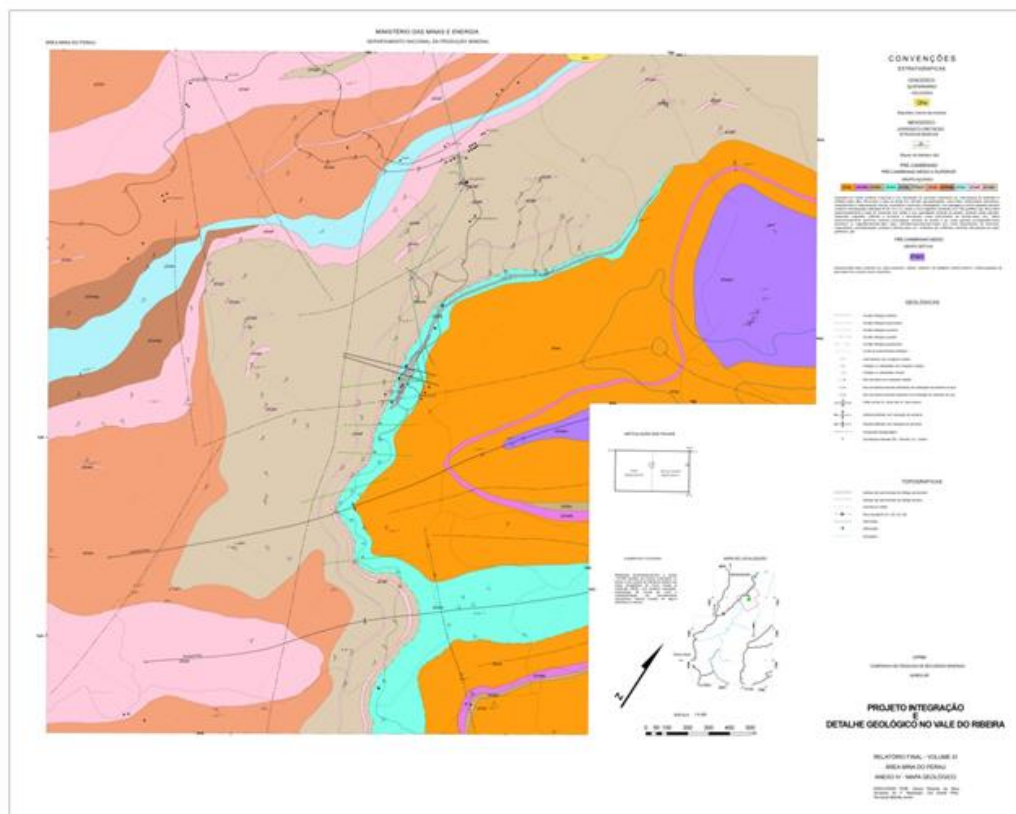


Figura 12 - Produto da digitalização do Mapa Geológico da Mina do Perau presente no relatório *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira* (Takahashi et al 1981).

Os elementos topográficos, como estradas, drenagens, linhas de alta tensão e elementos geológicos como eixos de dobras, contatos litológicos, diques, falhas/fraturas e lineamentos fotointerpretados foram vetorizados como linhas. Os elementos topográficos como edificações, localização das Minas e elementos geológicos, como ocorrência mineral, atitude de camadas e pequenos eixos de dobras foram vetorizados como pontos. As unidades litológicas foram vetorizadas como área/polígonos (Tabela 4).

Os mapas geológicos não indicavam o *datum* utilizado como base cartográfica optando-se, então, em utilizar o *datum* Córrego Alegre fuso 22 sul para georreferenciá-los. Isso se deve ao contexto histórico implicado na utilização do *datum* Córrego Alegre durante a década de 80, único disponível em mapas topográficos publicados na época pelo IBGE. A base cartográfica foi posteriormente convertida para o *datum* WGS 84 fuso 22 sul, para serem compatíveis com o *datum* utilizado nos levantamentos aerogeofísicos.

Tabela 4 - Tabela referente aos elementos geológicos e topográficos contidos nos mapas geológicos digitalizados.

Arquivo <i>shapefile</i>	Elementos cartográficos	Representação cartográfica
Área/polígonos	Elementos geológicos	Unidades litológicas, áreas mineralizadas
Linhas	Elementos geológicos	Eixos de dobra, lineamentos fotolitológicos, contatos litológicos, falhas/fraturas, zonas de cisalhamento, diques de diabásio
	Elementos topográficos	Estradas e acessos, rios.
Pontos	Elementos geológicos	Ocorrência mineral, atitude de camadas/foliações, eixos de dobras menores, lineações
	Elementos topográficos	Acamamento, xistosidade, eixos de dobras, lineações, localização das Minas Perau (e suas galerias), Água Clara, Canoas e Pretinhos.

4.1.2. Fichas de afloramento

O maior volume de dados do SIG Perau (Figura 16) é representado pelas fichas de afloramento que estão contidas no relatório da CPRM (Figura 14), no qual foram digitalizadas 298 fichas. As informações das fichas estavam compiladas em caixas de texto, contendo dados cartográficos como altitude e coordenadas em UTM do ponto, dados geomorfológicos como toponímia, tipo de relevo, vegetação e solos, assim como dados geológicos como descrição da rocha, unidade estratigráfica, dados estruturais e nome da rocha.

As fichas de afloramento foram digitalizadas em forma de planilha (linhas e colunas) utilizando o *software Excel* (Figura 15). A primeira coluna representa os pontos de afloramento, de forma que os pontos serão colocados de forma ascendente na primeira coluna e nas colunas seguintes foram adicionadas as demais informações contidas nas fichas, dessa forma, cada ponto representará uma linha. Contudo, para os dados estruturais, o número do ponto foi repetido para cada atitude estrutural que estava contida nas fichas, facilitando, assim, a busca dos dados através da ferramenta “Filtro”.

Na década de 80 o termo “calco-xistos” era erroneamente empregado, o qual se referia a xistos com minerais com cálcio em sua composição. Para tanto, o termo correto a ser empregado, deve ser carbonato xisto, cálcio xisto ou rocha

calciossilicática. O prefixo “calco” refere-se ao elemento cobre, fazendo menção que deva haver cobre na composição da rocha, ou do mineral (ex. Calcopirita [CuFeS_2]). A planilha com os dados de afloramentos foi posteriormente exportada para o SIG na forma de tabela (.dbf) e convertida para *shapefile* (.shp) de pontos.

DESCRIÇÃO DE AFLORAMENTOS

CPRM

PREF. CR 1765

NE 268

CADERN. 011

PALCONT.

BEDIMENT.

MINERAL

QUÍMICA

PETROGR.

ALTIT. 498

LOCALIZAÇÃO MC. 51, 701.450-E/7.251.110-N

CADASTRO OCORR.

ILUSTR.

TOPONÍMIA: Córrego Barreiro

RELEVO: Montanhoso

VEGETAÇÃO: Porte médio

SOLO: Latossolo marrom

Afloramento de xisto de coloração cinza, granulação média, xistosidade desenvolvida acompanhando o acamamento. Próximo aflora biotita-sericita-xisto, com porfiroblastos de granada.

UNIDADE ESTRAT. Grupo Açungui

TECTÔNICA

ATIT. DA CAM.

ATIT. DA XIST. N14E, 23NW

OUTROS: Frat. N25W, subvert., N35E, subvertical

ROCHA

Biotita-sericita xisto

LITOLÓGICA

CLASSE

Metamórfica

Figura 14 - Exemplo de ficha de afloramento presente no relatório. Foram digitalizadas ao todo 298 fichas.

Ponto	UTM_X	UTM_Y	Altitude	Unidade	Rocha	Descrição	Estrutura	DIREÇÃO			MERGULHO		Mergulho	Direção de Mergulho
192	701160	7252350	340	Grupo Açungui	Anfibolito-biotita calco-xisto	Sequência litológica com níveis anfibolíticos,	Sn	N	25	E	50	NW	50	295
192							Fraturas	N	50	w	60	NE	60	40
192							Fraturas	N	40	F	35	SE	35	130

Figura 15 - Modelo de como foi construída a planilha com as informações contidas nas fichas de afloramento. Notar que os dados estruturais estavam com a notação em *Brunton* e criou-se colunas para notação em *Clar*. Isso se deve a facilidade na utilização de medidas *Clar* no SIG.

FID	Shape *	Ponto	UTM X	UTM Y	Altitude	Unidade	Rocha
0	Point	187	701355	725254	328	Grupo Açungui	Anfibólio-xisto
1	Point	188	701320	725249	355	Grupo Açungui	Anfibólio-xisto
2	Point	189	701290	725245	340	Grupo Açungui	Calco-anfibolito
3	Point	190	701250	725241	340	Grupo Açungui	Anfibolito
4	Point	191	701225	725240	340	Grupo Açungui	Tremolita-epidoto-plagioclásio-quartz-xisto
5	Point	192	701160	725235	340	Grupo Açungui	Anfibolito-biotita calco-xisto
6	Point	193	701068	725243	332	Grupo Açungui	Granada-quartz-sericita-biotita xisto
7	Point	194	701005	725245	342	Grupo Açungui	Granada-quartz-biotita-muscovita xisto
8	Point	195	700945	725244	352	Grupo Açungui	Quartz-sericita xisto
9	Point	196	700800	725245	378	Grupo Açungui	Quartz-sericita xisto
10	Point	197	700765	725257	378	Grupo Açungui	Anfibolito
11	Point	198	700660	725259	390	Grupo Açungui	Sericita-quartz xisto grafitoso
12	Point	199	700285	725225	369	Grupo Açungui	Anfibolito e sericita-xisto
13	Point	200	700200	725204	380	Grupo Açungui	Sericita-xisto
14	Point	201	700218	725199	378	Grupo Açungui	Anfibolito
15	Point	202	700210	725193	380	Grupo Açungui	Quartz-grafita-sericita-xisto
16	Point	203	700300	725181	375	Grupo Açungui	Quartz-grafita-sericita-xisto
17	Point	204	700160	725159	385	Grupo Açungui	Quartz-grafita-sericita-xisto
18	Point	205	700075	725134	400	Grupo Açungui	Quartz-grafita-sericita-xisto
19	Point	206	700120	725227	388	Grupo Açungui	Sericita-xisto
20	Point	207	700015	725223	392	Grupo Açungui	Anfibolito
21	Point	208	699780	725211	472	Grupo Açungui	Sericita-xisto
22	Point	209	699840	725204	460	Grupo Açungui	Quartz-grafita-sericita-xisto
23	Point	210	699840	725204	425	Grupo Açungui	Anfibolito
24	Point	211	700130	725189	398	Grupo Açungui	Sericita-xisto
25	Point	212	700040	725153	422	Grupo Açungui	Sericita-xisto
26	Point	213	700450	725141	258	Grupo Açungui	Granada-quartz-sericita-xisto
27	Point	214	700500	725126	405	Grupo Açungui	Calco-xisto

Figura 16 – Tabela de Atributos de pontos dentro do SIG Perau com dados resgatados das fichas de afloramento do relatório da CPRM (Takahashi *et al*, 1981).

4.1.3. Dados geoquímicos

As análises geoquímicas da região não apresentam caráter regional, pois foram feitas apenas dentro das galerias da mina. Sendo assim os dados são representativos apenas para o horizonte (camada) mineralizado.

Foram feitas análises espectrográficas semiquantitativas, análises por métodos quantitativos e ensaios por fusão (Tabela 5). Os elementos analisados nas análises espectrográfica semiquantitativa foram Fe, Mg, Ca, Ti, Mn, Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, V, W, Y, Zn, Zr, no qual os elementos de importância são o Pb, Zn, Cu, Ag e Au. Na análise por métodos quantitativos foram analisados o Cu, Pb e Zn e no ensaio por fusão apenas Au e Ag.

Tabela 5 - Média dos teores de Cu, Pb, Zn, Ag e Au dentro das galerias G1, G2, G3 e G4. Retirado do relatório Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira (Takahashi *et al* 1981)

G1	Cu	0,12%	G2	Cu	0,05%	G3	Cu	0,05%	G4	Cu	0,05%
	Pb	26%		Pb	7%		Pb	6,80%		Pb	2,70%
	Zn	0,40%		Zn	0,20%		Zn	1,50%		Zn	4,90%
	Ag	248 ppm		Ag	167 ppm		Ag	176 ppm		Ag	120 ppm
	Au	0,27 ppm		Au	0,15 ppm		Au	0,06 ppm		Au	0,04 ppm

As análises espectrográficas semiquantitativas foram classificadas pela CPRM como “BCR” e “AGV”. As amostras classificadas como (BCR) foram analisadas fora na zona mineralizada, contudo as fichas de afloramento não mencionam mineralizações, ou então, possíveis mineiras de minério. Possivelmente estas amostras foram coletadas e analisadas como amostras de controle.

As amostras classificadas como AGV foram coletadas dentro das galerias (G1, G2, G3 e G4), sendo as coordenadas obtidas apenas na boca das galerias. A tabela 3 representa a média dos teores obtidos das análises químicas dentro das galerias. É possível observar que a galeria G1, apresenta os maiores valores tanto para Pb como Cu. Já a galeria G2 e G3, apresentam valores importantes para Zn. Obter a média dos teores nem sempre é um dado representativo para os teores dos elementos, pois se faz necessário saber a distribuição dos teores ao longo do horizonte mineralizado.

4.1.4. Dados estruturais

Os dados estruturais aqui apresentados foram retirados das fichas de afloramento e dos mapas geológicos e processados utilizando o *software Stereo32*. Para obter os dados estruturais do mapa geológico criou-se um *shapefile* de polilinhas, em que a forma digitalizada era um segmento de reta que compreendia a direção de mergulho em graus da atitude estrutural. O objetivo principal foi a comparação dos dados estruturais de campo (fichas de afloramento) com os dados estruturais espalhados no mapa (gráficos), utilizando diagramas estereográficos (Figura 17).

Para obtenção dos valores das atitudes impressas em gráficos no mapa, foi estabelecida uma técnica de digitalização que permite recuperar os dados geométricos referentes à direção de mergulho e mergulho das estruturas (medidas *Clar*). Para tanto, o primeiro vértice é adicionado no centro do símbolo e o segundo vértice é adicionado na direção do mergulho indicada pela seta. Com isso, as linhas digitalizadas possuem azimuth igual à direção de mergulho (*dip direction*), o qual pode ser calculado com a utilização do aplicativo Easy Calculate 5.0 utilizando um campo específico (*double*) para o cálculo na tabela de atributos do *shapefile*. Os valores do mergulho (*dip*) foram copiados durante a leitura da carta, sendo digitalizados em um campo numérico (*short integer*).

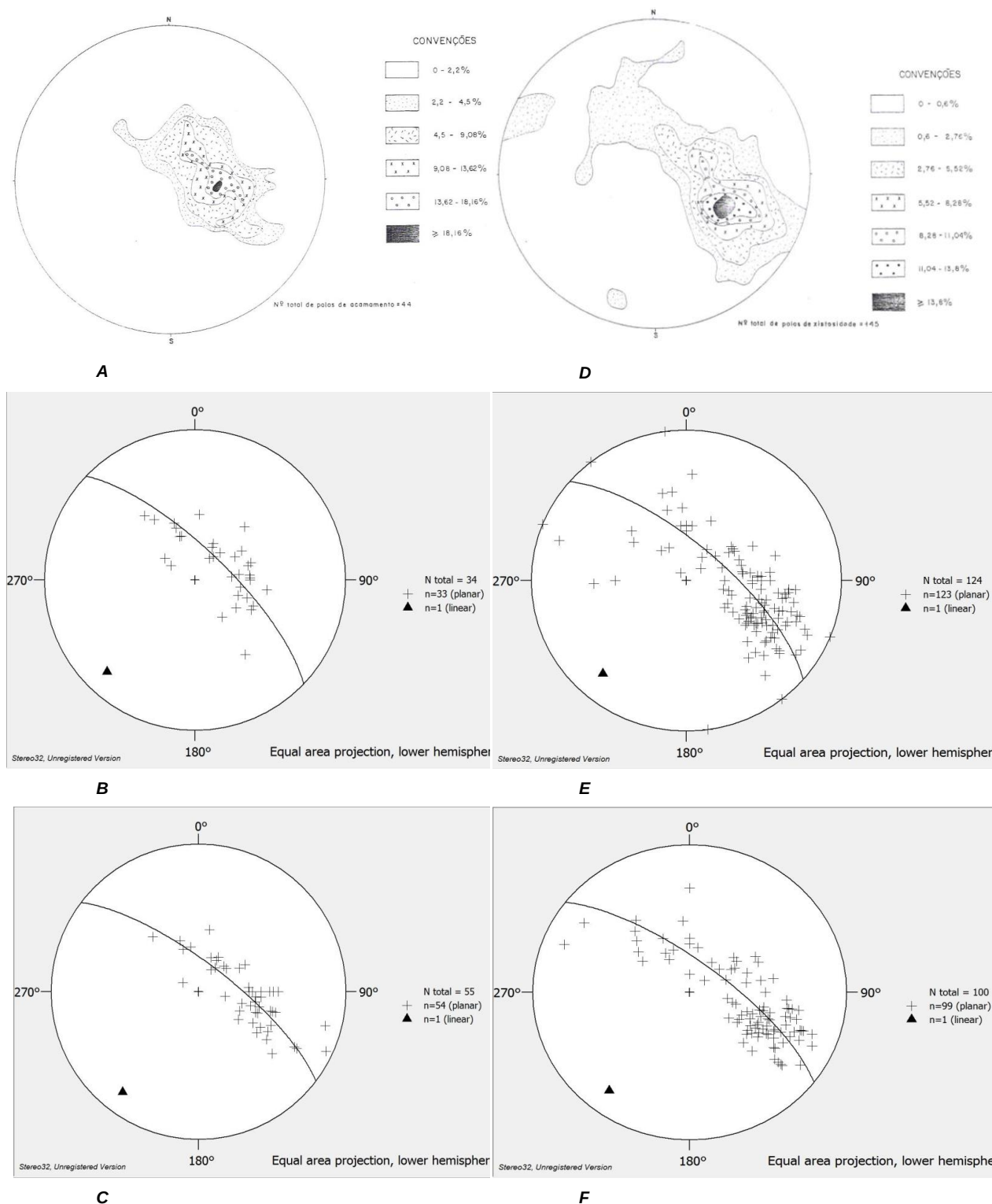


Figura 17 - À ESQUERDA: Diagramas estereográficos de medidas de acamamento. A) Diagrama estereográfico retirado do corpo do relatório. B) Diagrama estereográfico construído com dos dados presentes no mapa geológico. C) Diagrama estereográfico construído a partir dos dados presentes nas fichas de afloramento. À DIREITA: Diagrama estereográfico de medidas de xistosidade. D) Diagrama estereográfico retirado do corpo do relatório. E) Estereograma construído com dos dados presentes no mapa geológico. F) Diagrama estereográfico construído a partir dos dados presentes nas fichas de afloramento.

As atitudes de xistosidade e acamamento das fichas de afloramento apresentam-se coerentes com os dados resgatados do mapa geológico. Contudo a

quantidade de dados estruturais apresentados para acamamento e xistosidade não é a mesma, sendo 123 dados de xistosidade e 99 de acamamento retirados do mapa, e 99 de xistosidade e 54 de acamamento nas descrições de afloramento.

Tanto no mapa geológico como nas fichas de afloramento os dados estruturais são classificados como acamamento (—|—) e xistosidade (—▲—). Para simplificar os resultados, neste trabalho o acamadamento está representado por S0 e a xistosidade por Sn. Os dados de xistosidade e acamamento retirados do mapa geológico mostram-se coerentes com os dados apresentados no relatório

A xistosidade (Sn) e o acamamento (S0) são subparalelos, e mostram o mesmo padrão de dobramento. Os diagramas estereográficos de polo apresentam uma dispersão de medidas entre N45E e N45W, sendo possível formar guirlanda com eixo N221/19, observado nos polos gerados nos diagramas estereográficos (Figura 17). Este eixo gerado concorda com os valores de eixos medidos apresentados no mapa, com valor 229/18. Segundo Takahashi *et al.* (1981), foram mapeadas dobras de segunda ordem, com terminações periclinais situadas no flanco noroeste do anticlinório Anta Gorda. Essas dobras de segunda ordem representam a sinclinal Faria e anticlinal Perau, abertas e levemente simétricas com vergência para sudeste. A Mina do Perau está localizada no flanco noroeste da anticlinal Perau.

4.2. MAPAS GEOFÍSICOS

Foram confeccionados mapas gamaespectrométricos e magnetométricos em detalhe compatível com escala 1:25.000, utilizando os limites do mapa geológico de Daitx (1996).

4.2.1. Gamaespectrometria

A partir dos mapas básicos de K, eU e eTh, foram gerados mapas ternários RGB (K-eU-eTh) e interpretados 11 domínios litogeofísicos, elencados em ordem alfabética da letra A à K (Figura 18). Suas características estão resumidas na Tabela 6 e seus valores estatísticos em histograma na Figura 22. Como critério de separação foi utilizada a contagem relativa entre os elementos, tendo como auxílio à escala de cores, onde as cores rosa e vermelho representam altas contagens, verde e amarelo médias contagens e azul baixas contagens.

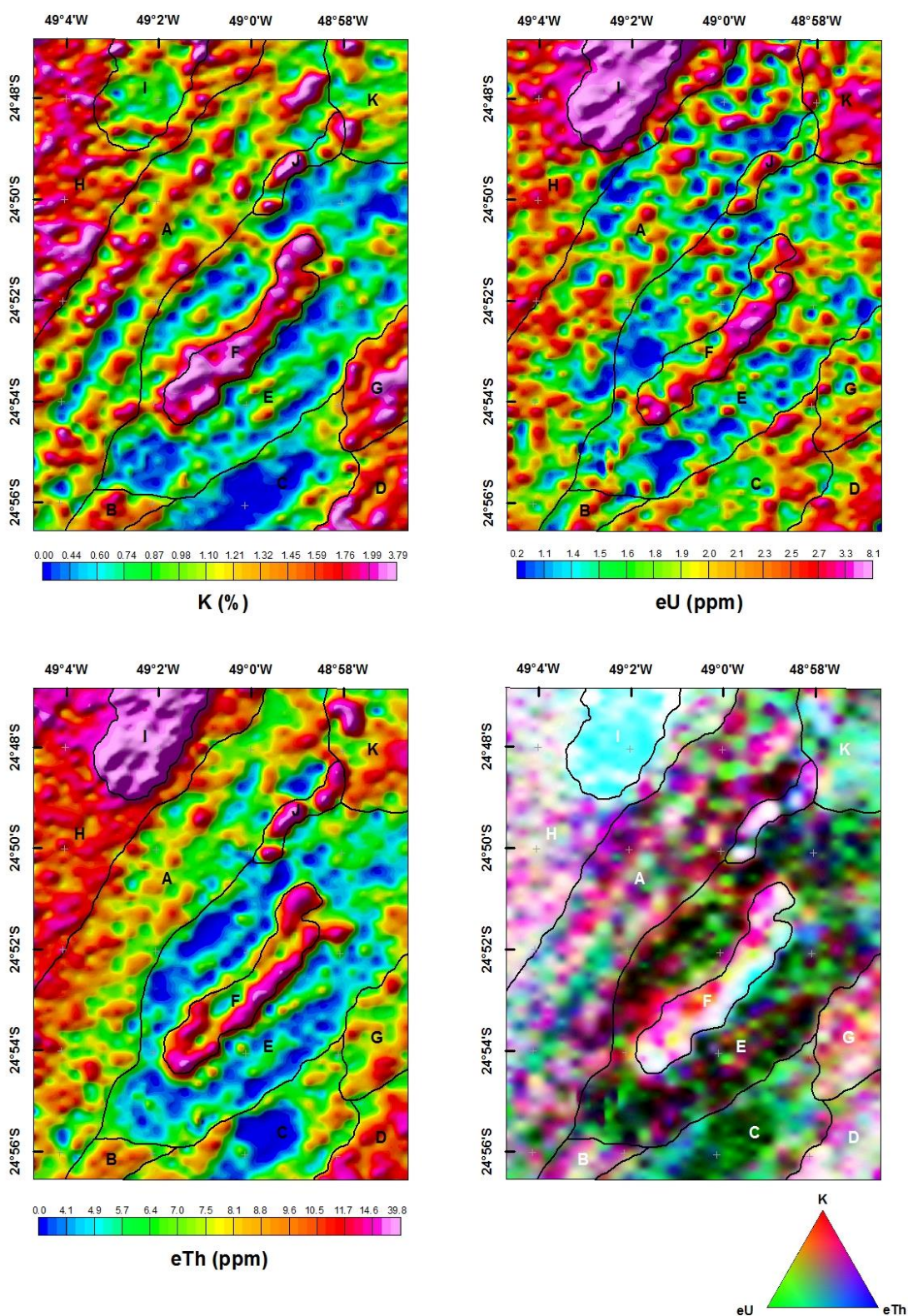


Figura 18 – Mapas de contagem do K, eU, eTh e Ternário RGB. Os polígonos pretos representam os domínios gamaespectrométricos, classificados alfabeticamente de A a K.

O domínio A é composto por rochas metassedimentares, filitos, xistos e mármores calcíticos da Formação Votuverava em contanto com filitos e

predominantemente xistos intercalados a lentes de anfibolito da Formação Perau (unidade superior). Neste domínio, a Formação Perau apresenta variações litológicas, onde na porção centro-sul há xistos intercalados a anfibolitos pouco espessos e mica-carbonato xistos, e na porção norte predominância de filitos e xistos, intercalados subordinadamente a calciossilicáticas, anfibolitos e quartzitos. A resposta gamaespectrométrica deste domínio apresentou contagens médias para K (1,22%), eU (1,84 ppm) e eTh (7,92), onde há um condicionante estrutural na distribuição dos três elementos.

O domínio B apresenta, igualmente ao domínio A, contagens médias para K (1,41 %), eU (1,87 ppm) e eTh (8,64 ppm), contudo apresenta valores máximos menores para os três elementos. Este domínio compreende rochas da Formação Perau na região da Mina Água Clara, onde, na porção norte, apresenta mármore, mica-carbonato xistos, calciossilicáticas, localmente com intercalações de filitos carbonosos, metatufos félsicos, lentes com sulfetos de Pb-Zn-Fe e/ou baritíferas, leitos de quartzo-magnéticos e, na porção sul, quartzo-biotita-muscovita xistos.

O domínio C é composto por rochas do Núcleo Tigre, onde há restritamente sienogranitos deformados nas bordas e quartzitos micáceos no centro do domínio. A variação composicional entre quartzitos e sienogranitos fica muito evidente neste domínio, onde os valores mínimos do K e eTh principalmente, concentram-se na porção central. O domínio foi classificado com valores baixos de K (0,64 %), médio de eU (1,98 ppm) e baixos de eTh (6,04 ppm).

O domínio D e H apresentam respectivamente K alto (1,68 e 1,67 %), eU médio (2,33 e 2,63 ppm) e eTh alto (10,55 e 12,06 ppm). Ambos os domínios possuem rochas da Formação Votuverava, sendo o domínio D (sudeste) formado por metassedimentares, filitos e xistos intercalados a corpos de metabasitos, e o domínio H (noroeste), formado, predominantemente, por metassedimentares, filitos e sericita xistos, mas localmente por metarenitos, muscovita-carbonato xistos, mármore calcítico e metabasitos. Os dois domínios fazem parte da mesma unidade litoestratigráfica em um contexto regional, mas estão geograficamente separados pela Formação Perau. A presença de rochas carbonáticas no domínio H explicaria valores mínimos de eU mais baixos que o domínio D.

O domínio E é o maior domínio em área e apresenta a menor contagem para os três elementos. É composto predominantemente quartzitos, calciossilicáticas, mármore, calcioxistos, anfibolitos e quartzo-biotita-muscovita xistos intercalados a

anfibolitos, da unidade basal e intermediária da Formação Perau. Este domínio apresenta valores médios baixos de K (0,94 %), baixos de eU (1,68 ppm) e baixos de eTh (6,72 ppm), tendendo a cor preta no mapa ternário. Neste domínio, a camada guia, ou “horizonte Perau” (Takahashi *et al.*, 1981) é composto de sulfetos de Pb-Zn-Cu (Fe-Ag), hospedados em rochas essencialmente calciossilicáticas.

O domínio F é composto essencialmente por sienogranitos e monzogranitos deformados do Núcleo Tigre, apresentando valores médios de K alto (1,98 %), eU alto (2,45 ppm) e eTh alto (11,17 ppm). Este domínio é claramente evidenciado nos mapas gamaespectrométricos, representando uma anomalia potássica em relação às rochas da Formação Perau, essencialmente calciossilicáticas, quartzitos e anfibolitos com filitos intercalados.

O domínio G apresenta alto K (1,75%), médio eU (2,02 ppm) e médio eTh (8,12 ppm). Assim como o domínio C, o domínio D é composto por sienogranitos do Núcleo Tigre, contudo apresenta valores mais altos de K e eTh (eU similares). Isso se deve ao corpo de quartzitos micáceos no domínio C, que por serem pobres em eTh e K na composição, contrastam fortemente com os sienogranitos, sotopostos.

O domínio I representa o Granito Varginha, formado por sienogranitos, monzogranitos e quartzito sienitos, apresentando valores médios de K médio (1,15 %), eU alto (5,11 ppm) e eTh alto (26,76 ppm). Os altos teores anômalos de eTh neste domínio, permite fazer sugestões quanto ao contato Granito Varginha com as encaixantes do Grupo Votuverava (domínio H), essencialmente metassedimentares. De maneira semelhante, os teores altos de K do domínio H reforçam o contraste gamaespectrométrico com o domínio I, onde este apresenta valores médios de K. Localmente os valores máximos do domínio I são maiores que do domínio H, contudo no domínio H os valores de K estão distribuídos de maneira homogênea, resultando em uma média maior.

O domínio J é formado por quartzitos, biotita-anfibólio xistos e localmente rochas calciossilicáticas ou carbonáticas da Formação Perau, próximos a mina de Canoas. Contudo, diferentemente do domínio E, que apresenta a mesma composição litológica, a resposta gamaespectrométrica apresentou valores de K alto (1,51 %), eU alto (2,04 ppm), eTh alto (11,96 ppm). Estes valores aproximam-se dos valores obtidos no domínio F (Núcleo Tigre), composto de sienogranitos, sendo a resposta gamaespectrométrica anômala em relação à composição litológica. Possivelmente, pode se tratar de rochas do embasamento não cartografadas.

O domínio K compreende a região da Mina de Canoas, sendo representado por rochas do embasamento do Núcleo Tigre na borda oeste, quartzitos, filitos, anfibolitos e calciossilicáticas da porção basal e intermediária e filitos e xistos intercalados a anfibolitos da porção superior da Formação Perau. A resposta gamaespectrométrica apresentou valores de K médio (1,09 %), eU alto (2,51 ppm) e eTh médio (9,39 ppm). Altos valores de eU são relativamente anômalos, comparados com a unidade E, a qual apresenta composição litológica semelhante. Nesta região, há um sistema de falhas/zonas de cisalhamento de direção NW, onde se percebe um condicionamento de K e eU ao longo destas estruturas, sendo uma hipótese para contagens médias de K e altas de eU enriquecimento hidrotermal.

Como resultado das interpretações dos mapas básicos foi confeccionado um mapa litogeofísico composto por domínios utilizando a relação entre o K, eU e eTh. (Figura 19).

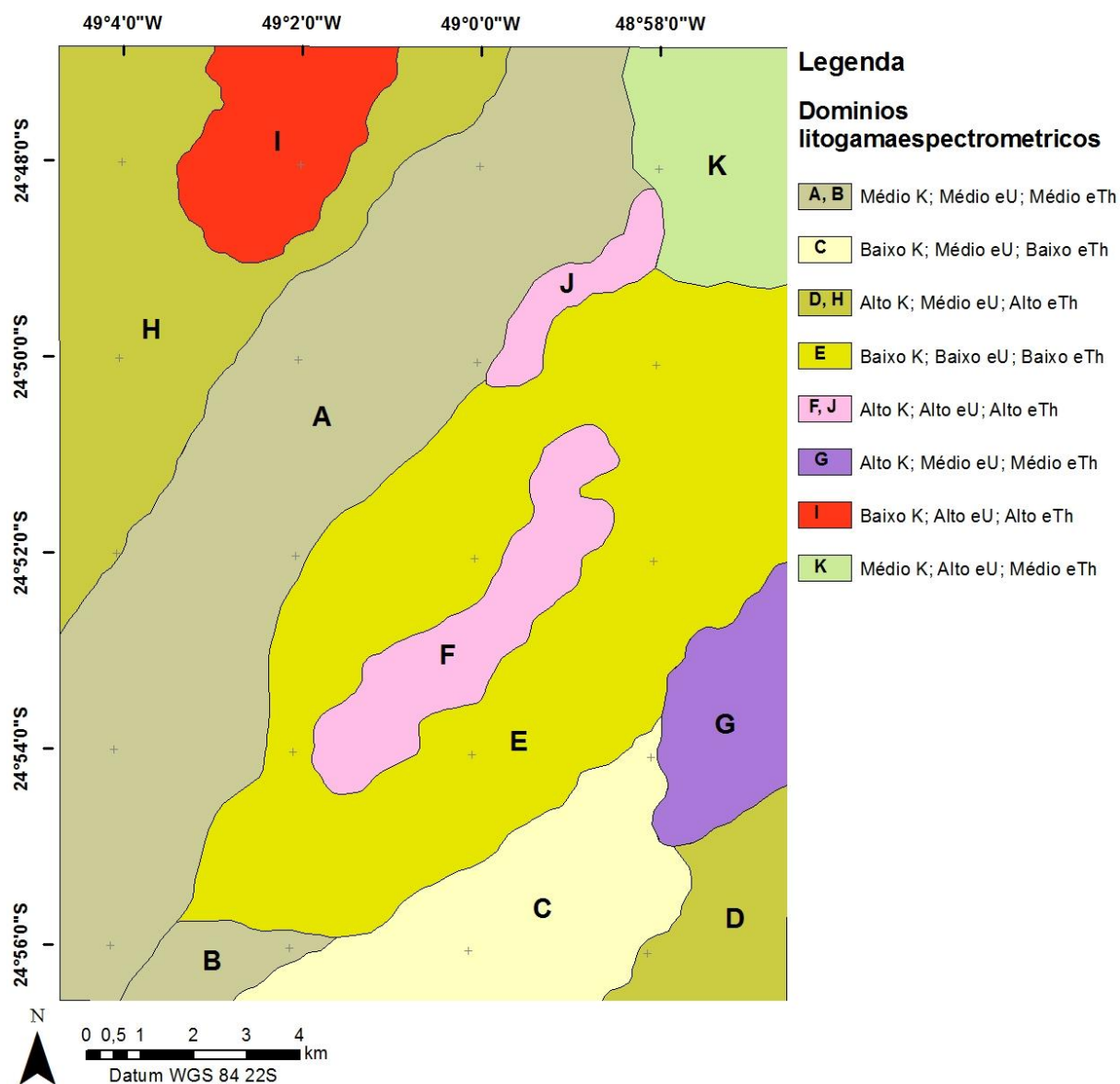


Figura 19 - Mapa litogeofísico apresentando os domínios gamaespectrométricos classificado com relação à intensidade de K, eU e eTh.

Para correlacionar a distribuição dos elementos com a topografia do terreno, foi produzida uma visualização em 3D, sobrepondo os mapas K, eU e eTh a um Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 20). Junto ao MDE, foi sobreposto o sistema de drenagens da região, com destaque ao rio Ribeirão Grande, encaixado no vale direção N30E no centro-noroeste da área.

A declividade do terreno deve ser obrigatoriamente considerada no entendimento da distribuição do K, eU e eTh nos mapas, que apresentam, de maneira geral, anomalias que podem ser interpretadas como reflexo do controle litológico, como por exemplo o domínio I, Granito Varginha, com altos teores de Th e U. As

anomalias também são controladas por estruturas, como por exemplo, a Zona de Cisalhamento Ribeira Grande, que nitidamente condiciona a distribuição dos teores, principalmente do K. A anomalia de K que caracteriza o domínio F é condicionada pelos sienogranitos miloníticos do Núcleo Tigre, nitidamente destacado do padrão observado no domínio E, composto por quartzitos e calciossilicáticas da Formação Perau. Observa-se que o contato entre esses domínios é principalmente controlado pelas diferenças composicionais das duas unidades, com pouca influência de processos intempéricos morfoescultores.

O controle litológico na distribuição das anomalias também é verificado no domínio I (Granito Varginha), formado por sienogranitos, localizado em um alto topográfico com baixo K, alto eU e alto eTh, enquanto o domínio C, formado predominantemente por quartzitos também localizados em um alto topográfico, apresentam baixo K, baixo eTh e médio eU.

Dentro de cada domínio as assinaturas gamaespectrométricas apresentam distribuição homogênea, mesmo com variações locais, mostrando que a resposta gamaespectrométrica, nesta região, tem um controle litológico e estrutural, em detrimento de um controle supergênico por processos intempéricos. Isto se deve pelo contraste litológico da região, onde temos rochas com composições muito distintas (p. ex., calciossilicáticas e quartzitos próximos a granitoides), onde se observam contatos tectônicos entre os domínios, delimitando diferentes assinaturas gamaespectrométricas.

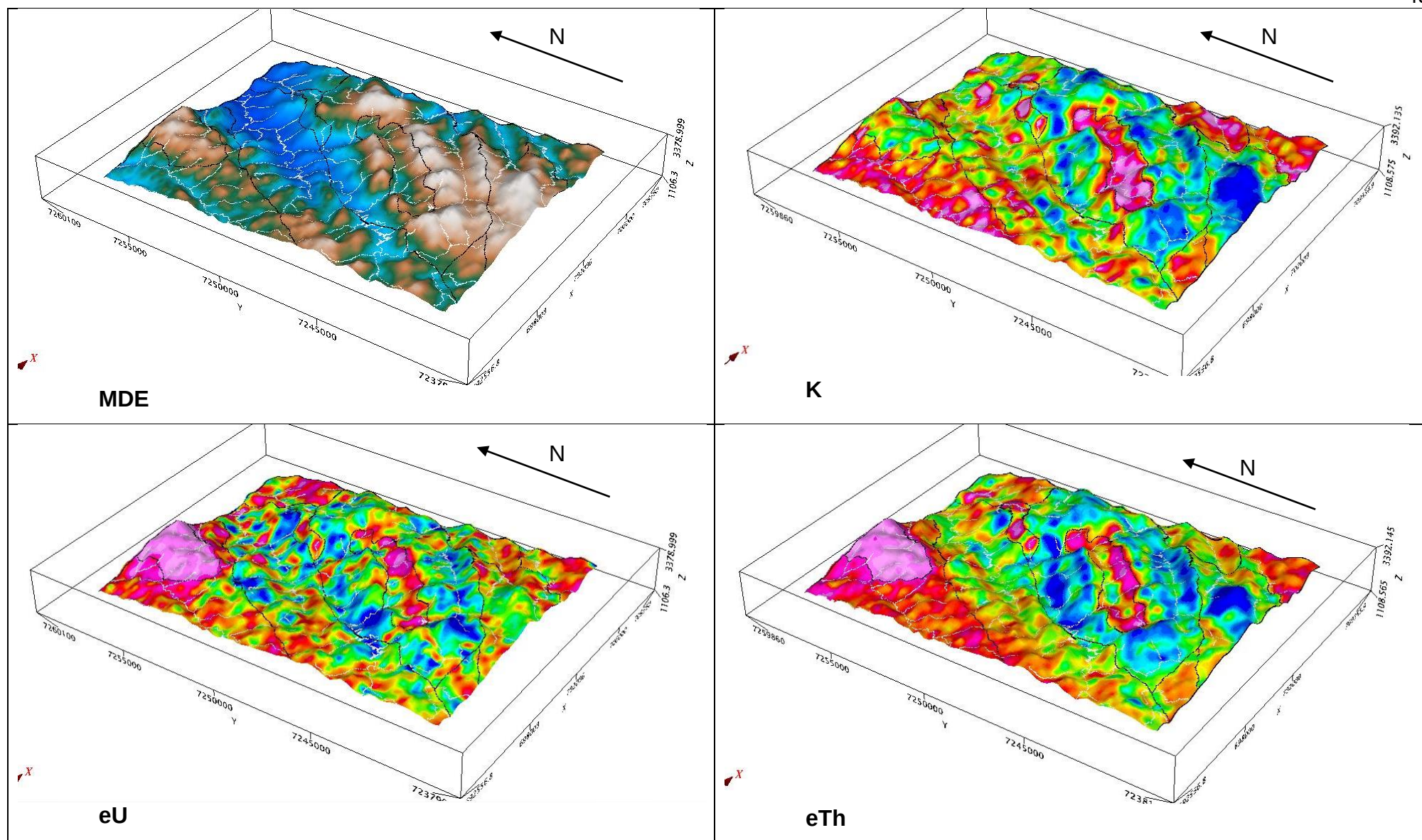


Figura 20 - Visualização 3D da sobreposição dos mapas de K, eU e eTh sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE). O polígonos pretos representam os domínios gamaespectrométricos, e as linhas brancas representam o sistema de drenagem.

Os mapas de razões eU/eTh , K/eTh e K/eU , mapas Kd e Ud (potássio e urânio anômalos) e mapa do Fator F foram gerados para observar a relação dos elementos entre si, assim como, para identificação de possíveis zonas de alteração hidrotermal.

Devido à baixa mobilidade do Th, suas contagens representam diretamente o teor do elemento contido em solos e rochas (Ulbrich *et al*, 2009). Dessa forma os mapas do Fator F, Kd e Ud representam anomalias relativas à concentração ou depleção do K e U em relação à concentração de Th (Figura 21). Ou seja, áreas com Kd (ou Ud) baixos, representam baixas concentrações de K e altas de Th, e área com Kd alto, representam altas de K e altas concentrações de Th. Dessa forma, é possível apontar áreas onde o K corresponde a uma concentração relacionada a rocha fonte e não a concentrações por transporte de massa ou lixiviação.

A junção do Fator F, Kd e Ud em um mapa ternário RGB (ou CMY) permite a identificação de áreas com enriquecimento em K ou U com maior probabilidade de estarem sobre a “área fonte”. Dessa forma, áreas com cores brancas (alto Fator F, Kd e Ud) são os alvos mais prováveis de haver concentração de K diretamente sobre a rocha ou solo residual (gossans ou lateritas). Em contrapartida, áreas com cores escuras (baixo Fator F, Kd e Ud) são áreas mais propensas à concentração/depleção pelo intemperismo/lixiviação.

Ulbrich *et al* (2009) ressalta a importância da identificação de áreas com alteração hidrotermal pela gamaespectrometria, devido à possibilidade da relação de processos hidrotermais a ocorrência de metais base (Cu, Pb, Zn) assim como Au e Ag, em diversos ambiente geológicos.

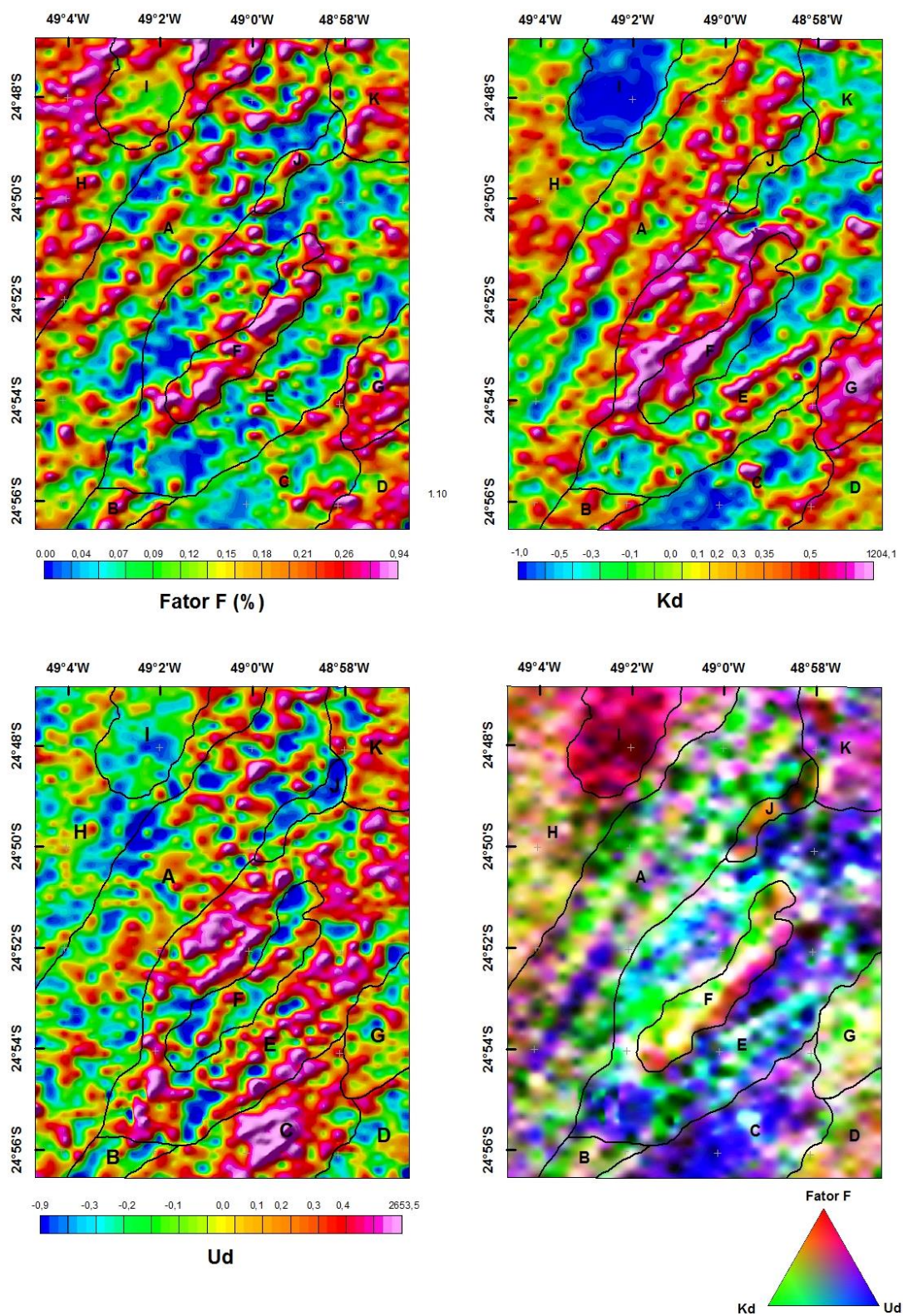


Figura 21 - Mapas do Fator F, potássio anômalo (Kd) e urânio anômalo (Ud) e ternário RGB (F-Kd, Ud).

Tabela 6 – Contagens mínimas, máximas e média de K, eU e eTh para cada domínio.

Domínios	K(%)			eU (ppm)			eTh (ppm)			Unidade geológica	Petrografia
	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média		
A	0,14	2,91	1,22	0,20	5,36	1,84	2,15	16,26	7,92	Formação Votuverava e Formação Perau	Fm. Votuverava: Metassedimentares, filitos, xistos e mármore calcíticos no contato com a Formação Perau. Formação Perau: na porção central e sul xistos, com intercalações de anfibolitos pouco espessas, mica-carbonato xistos, anfibolitos; na porção norte filitos, xistos, cálcio silicatizos, anfibolitos e quartzitos.
B	0,61	2,04	1,41	0,81	3,16	1,87	5,20	11,36	8,64	Formação Perau, região na Mina de Água Clara	Na porção norte mármore, mica-carbonato xistos, cálcio silicatizos, localmente com intercalações de filitos carbonosos, metatufos félsicos, lentes com sulfetos de Pb-Zn-Fe e/ou baritíferas, leitos de quartzo-magnéticos. Na porção sul quartzo-biotita-muscovita xistos.
C	0,04	2,30	0,64	0,99	3,71	1,98	1,12	11,37	6,04	Núcleo Tigre	Sienogranitos e monzogranitos deformados nas bordas do domínio. Quartzitos, localmente micáceos no centro.
D	0,82	3,01	1,68	0,74	4,27	2,33	5,56	17,69	10,55	Formação Votuverava	Metassedimentares, filitos e xistos intercalados a corpos de metabasitos.
E	0,00	3,26	0,94	0,09	3,59	1,68	0,00	26,72	6,72	Formação Perau	Quartzitos, calciosilicatizos, mármore, calcioxistos, anfibolitos e quartzo-biotita-muscovita xistos intercalados a anfibolitos.
F	0,37	3,19	1,98	0,62	5,72	2,45	4,22	24,80	11,17	Núcleo Tigre	Sienogranitos e monzogranitos deformados.
G	0,87	2,72	1,75	0,93	3,62	2,02	5,16	12,45	8,12	Núcleo Tigre	Sienogranitos e monzogranitos deformados.
H	0,65	2,78	1,67	0,03	6,21	2,63	5,28	22,74	12,06	Formação Votuverava	Predominantemente metassedimentares, filitos e sericitizos, localmente metarenitos, muscovita-carbonato xistos, mármore calcíticos, metabasitos.
I	0,29	3,67	1,15	2,50	8,61	5,21	15,65	40,48	26,76	Granito Varginha	Sienogranitos e monzogranitos
J	0,35	3,82	1,51	0,65	4,03	2,04	2,67	26,58	11,96	Formação Perau, região na Mina de Canoas	Quartzitos, biotita-anfibólio xistos, localmente rochas calciosilicatizos ou carbonáticas.
K	0,34	2,80	1,09	0,56	5,03	2,51	3,21	20,83	9,39	Formação Perau, região na Mina de Canoas	Filitos e xistos intercalados com anfibolitos, e parte do núcleo do embasamento (sienogranitos deformados).

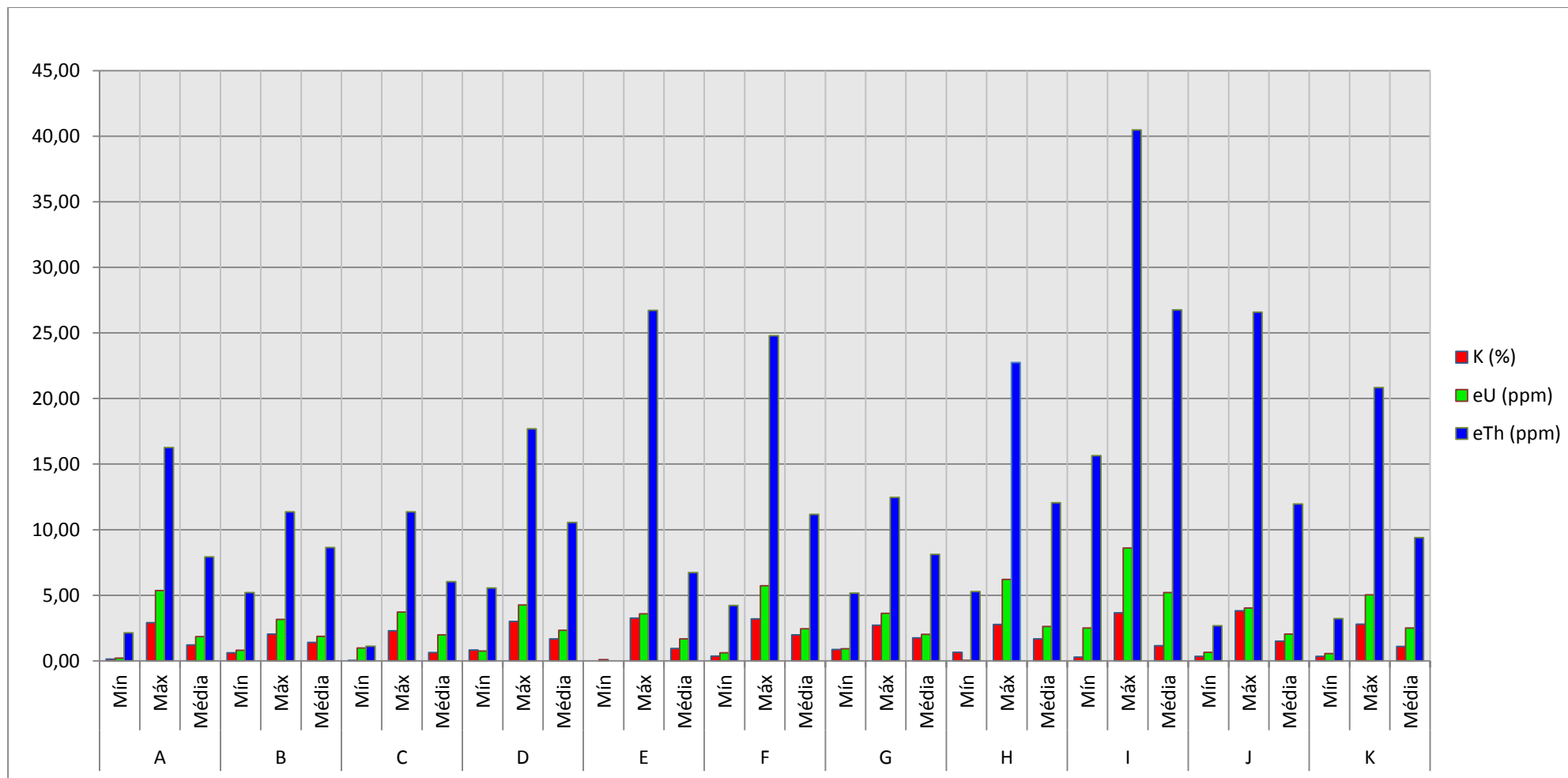


Figura 22 – Histograma com a distribuição estatísticas de K, eU e eTh para cada domínio

4.2.2. Magnetometria

O Campo Magnético Anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP) foi utilizado como base para interpretação dos dados e geração dos mapas de realce. Os principais métodos utilizados foram a ISA para identificar o centro dos corpos e a ISA-GHT e SIGNUM de segunda ordem para identificar as bordas (Figura 23). Sobre estes mapas foram integrados os dados geológicos do SIG Perau, permitindo uma interpretação mais acurada das fontes magnéticas.

A partir do CMA foram separados domínios magnéticos de acordo com a intensidade do sinal magnético. Os domínios foram separados baseando-se na escala de cores, onde o vermelho/rosa apresenta valores altos, amarelo e verde, valores médios e azul valores baixos.

Os domínios L, H, G, C e I apresentam sinais magnéticos altos e possuem uma tendência NE, excetuando o domínio I, que apresenta tendência NW. Os domínios O, F e E apresentam sinais magnéticos médios e os domínios N, K, A, B e D apresentam sinais magnéticos baixos.

Analisando o mapa do CMA-RTP, assim como nos mapas de realce, observaram-se três tendências principais: uma com direção NE, que reflete nos domínios com maiores sinais magnéticos (domínio L, H, G, C), uma NW, que na porção nordeste apresenta um domínio com forte sinal magnético (domínio I), e lineamentos claramente flexionados na porção central do mapa. Para interpretação dos domínios e lineamentos magnéticos foi integrada a base geológica do SIG Perau e dados de campo do mapeamento de 2014 (Figura 24).

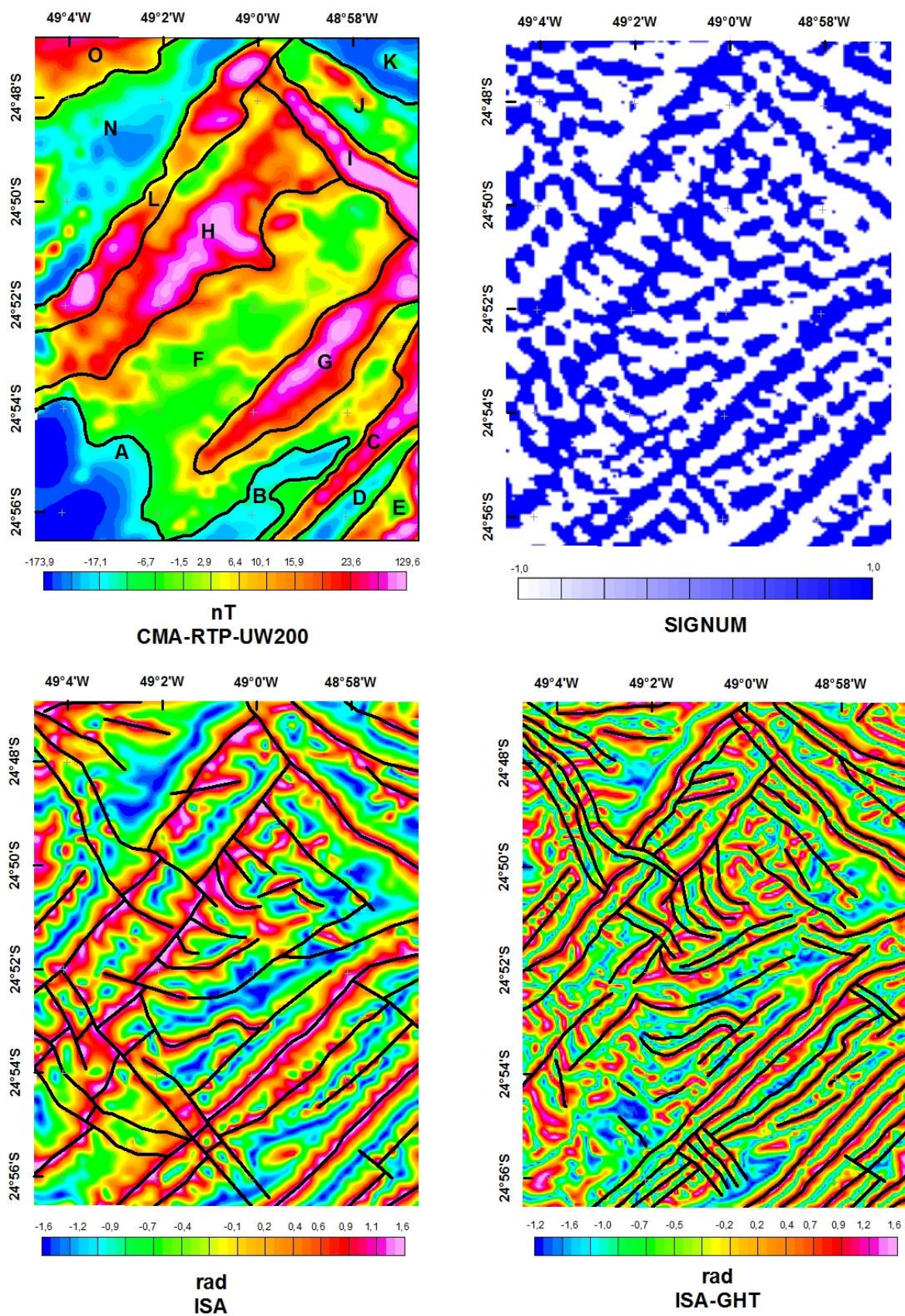


Figura 23 – Mapas do CMA-RTP-UW200, SIGNUM, ISA e ISA-GHT, com domínios magnéticos e traçado dos principais lineamentos magnéticos.

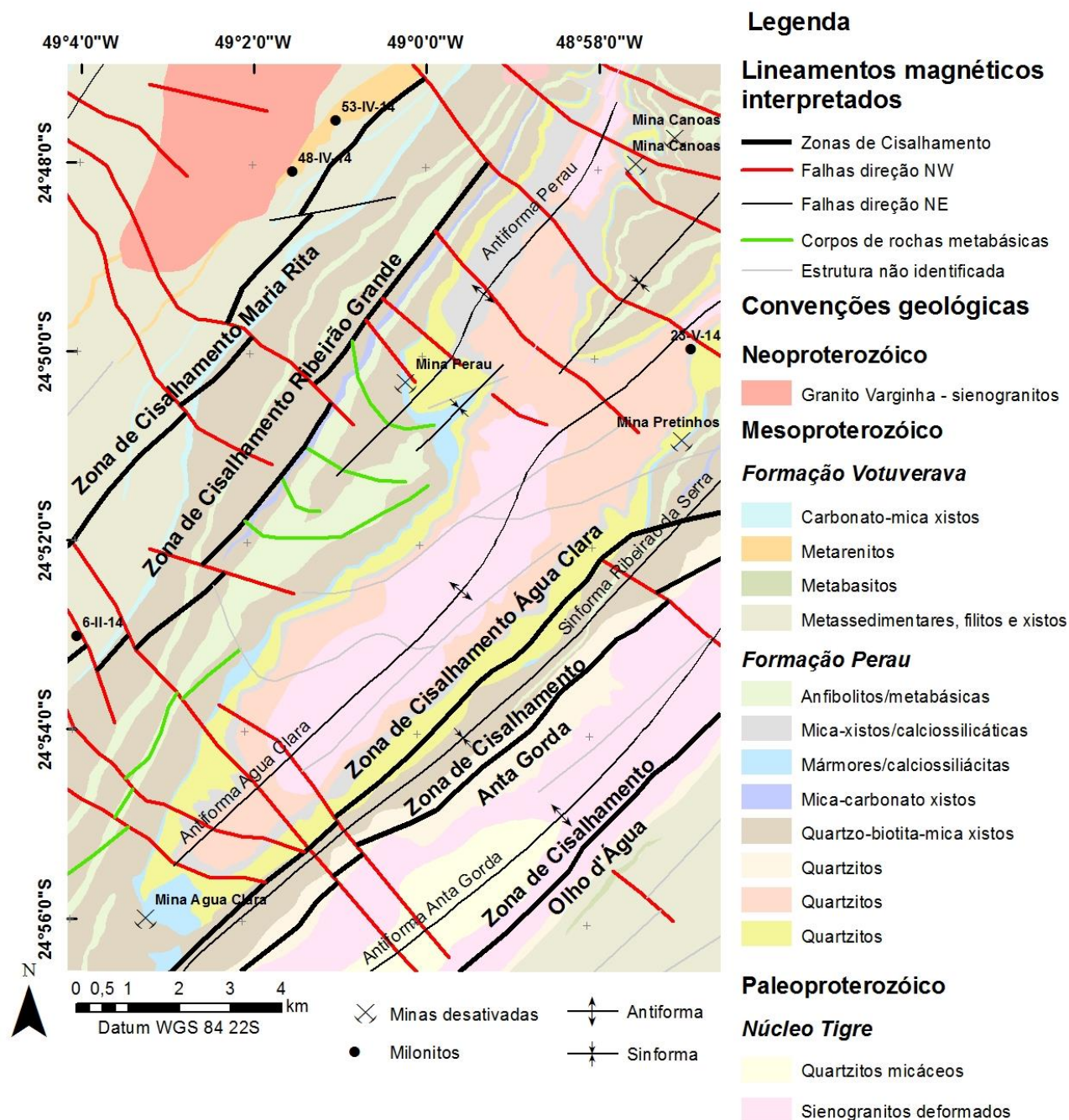


Figura 24 – Mapa com lineamentos magnéticos interpretados e integrados com dados geológicos do Mapa da região das Minas de Canoas, Perau, Água Clara e Pretinhos (Daitx, 1996);

As estruturas de direção NE possuem os maiores sinais magnéticos (domínios L, H, G e C) e foram interpretadas, principalmente, como zonas de cisalhamento. Ao todo, foram identificadas cinco zonas de cisalhamento principais: Maria Rita (Silva, 2014, inédito), Ribeirão Grande, Olho d'Água (Daitx, 1996), Anta Gorda (aqui proposta), Água Clara (aqui proposta). Estas estruturas compartimentam

estruturalmente e litoestratigraficamente o Núcleo Tigre, Formação Perau e Votuverava.

A Zona de Cisalhamento Maria Rita baliza o contato entre parte da Formação Votuverava a NW e a unidade superior da Formação Perau a SE. Estas duas unidades geológicas apresentam assinaturas gamaespectrométricas claramente distintas, limitadas pela ZC Maria Rita.

A Zona de Cisalhamento Ribeirão Grande coloca em contato na sua porção sul a Formação Votuverava e Formação Perau. Apresenta alto sinal magnético com uma dispersão para NW e SE. Esta dispersão é causada pela resposta magnética de corpos de metabásicas da unidade superior da Formação Perau.

No mapa do CMA, o domínio C aparece como um grande domínio alongado direção NE. Contudo, nos mapas de realce ISA, ISA-GHT é possível separar este domínio em dois lineamentos. O lineamento mais ao norte foi interpretado como uma zona de cisalhamento, denominada de ZC Água Clara, a qual representa o contato entre o topo da unidade intermediária com a unidade superior da Formação Perau. O lineamento mais ao sul foi interpretado como a uma zona de cisalhamento, denominado ZC Anta Gorda, a qual posiciona o Núcleo Tigre em contato com a unidade superior da Formação Perau.

Na porção sudeste do mapa, a Zona de Cisalhamento Olho d'Água (Daitx, 1996) responde como uma anomalia de alto sinal magnético (domínio C). Ela posiciona a porção sul do Núcleo Tigre em contato com filitos e micaxistos da Formação Votuverava.

Os lineamentos direção NW (em vermelho na Figura 24) são posteriores às zonas de cisalhamento direção NE (em preto na Figura 24). Estes lineamentos direção NW foram interpretados como falhas que causam deslocamento/rejeito nas zonas de cisalhamento NE com cinemática predominantemente sinistral, ocorrendo de maneira penetrativa na área.

As principais estruturas com direção NW na região pré-cambriana, assim como na Bacia do Paraná, do estado do Paraná, são relacionadas à falhas/fraturas preenchidas por diques básicos do Mesozoico. Entretanto, os dados magnéticos sugerem uma inflexão (dobras) dessas estruturas, com eixos direção NE-SW coincidentes aos eixos de grandes dobras na região (Antiforma do Perau, Anta Gorda e Água Clara). Caso esta inflexão dos lineamentos NW esteja relacionada ao mesmo evento tectônico que gerou estas grandes dobras da região (Ciclo Brasileiro), não é

possível afirmar que todos os lineamentos NW estejam relacionados aos diques mesozoicos.

Na porção central do mapa, unidade superior da Formação Perau, composta de anfibolitos intercalados a micaxistos e filitos, os lineamentos magnéticos estão nitidamente flexionados, sugerindo dobras truncadas (dobras de arrastos?) pela Zonas de Cisalhamento Ribeirão Grande. Os eixos destas inflexões coincidem com o eixo das grandes dobras da região, como Perau, Anta Gorda e Água Clara. Estes lineamentos foram interpretados como a resposta magnética de rochas metabásicas, abundantes nesta porção do mapa. Assim como, na porção sudoeste, lineamentos menores coincidem com rochas metabásicas, direção aproximada N30E, subparalela a ZC Ribeirão Grande.

O truncamento destes lineamentos dobrados pela ZC Ribeirão Grande sugere que estas dobras possam ter sido formadas pela ação destas zonas de cisalhamento. Devido ao paralelismo dos eixos destes lineamentos dobrados com o eixo das macrodobras da região (Água Clara, Anta Gorda), seria possível associar uma cogeneticidade entre as estruturas, assim como associar ao mesmo processo deformador.

Corpos de rochas metabásicas localizados nas proximidades da ZC Ribeirão Grande, podem gerar situações ambíguas, dificultando a distinção e desenho das estruturas relacionadas a falha, quando analisadas apenas em mapas CMA. Os métodos de realce ISA-GHT (Ferreira et al, 2013) e ISA permitiram uma melhor separação destas estruturas, onde foi possível chegar a uma interpretação mais detalhada.

As zonas de cisalhamento possuem uma grande importância, pois controlam a distribuição das diferentes unidades litoestratigráficas (Daitx 1996), bem como a ocorrência de zonas hidrotermais associadas a faixas miloníticas, que podem exercer controle nas mineralizações do Perau. Estas zonas de cisalhamento sugerem um controle tectônico no posicionamento das unidades geológicas da região.

Daitx (1996) define o Núcleo Tigre como embasamento da Formação Perau e expõe sua sequência estratigráfica de maneira clara. Aliado as interpretações geofísicas, é possível sugerir que o contato entre estas unidades seja por falhas/zonas de cisalhamentos, sendo esta interpretação suportada pelos seguintes casos: observa-se que o Núcleo Tigre ora esta em contato com a Formação Votuverava a sudeste e ora com unidade basal da Formação Perau, porção central. De forma

semelhante, as unidades basal, intermediária e superior da Formação Perau não se repetem na continuação da Sinforma Ribeirão da Serra.

A técnica de Deconvolução de Euler (Thompson, 1982; Reid et al., 1990) permitiu obter fontes (soluções de Euler) com profundidades estimadas para as anomalias magnéticas. As principais concentrações das soluções de Euler coincidem com o traçado das zonas de cisalhamento NE (ZC Ribeira Grande, Maria Rita, Água Clara e Anta Gorda) e das falhas/lineamentos direção NW (Figura 25).

De maneira geral, as soluções obtidas apresentam profundidades menores que 100 metros, mostrando que a maioria destas estruturas possa estar aflorando em superfície. A ZC Mara Rita apresenta uma dispersão de fontes rasas gradando para fontes mais profunda de noroeste para sudeste, sugerindo um mergulho para SE. A porção sudoeste, região da Mina Água Clara, apresenta as soluções com fontes mais profundas, chegando a profundidades maiores que 500 metros.

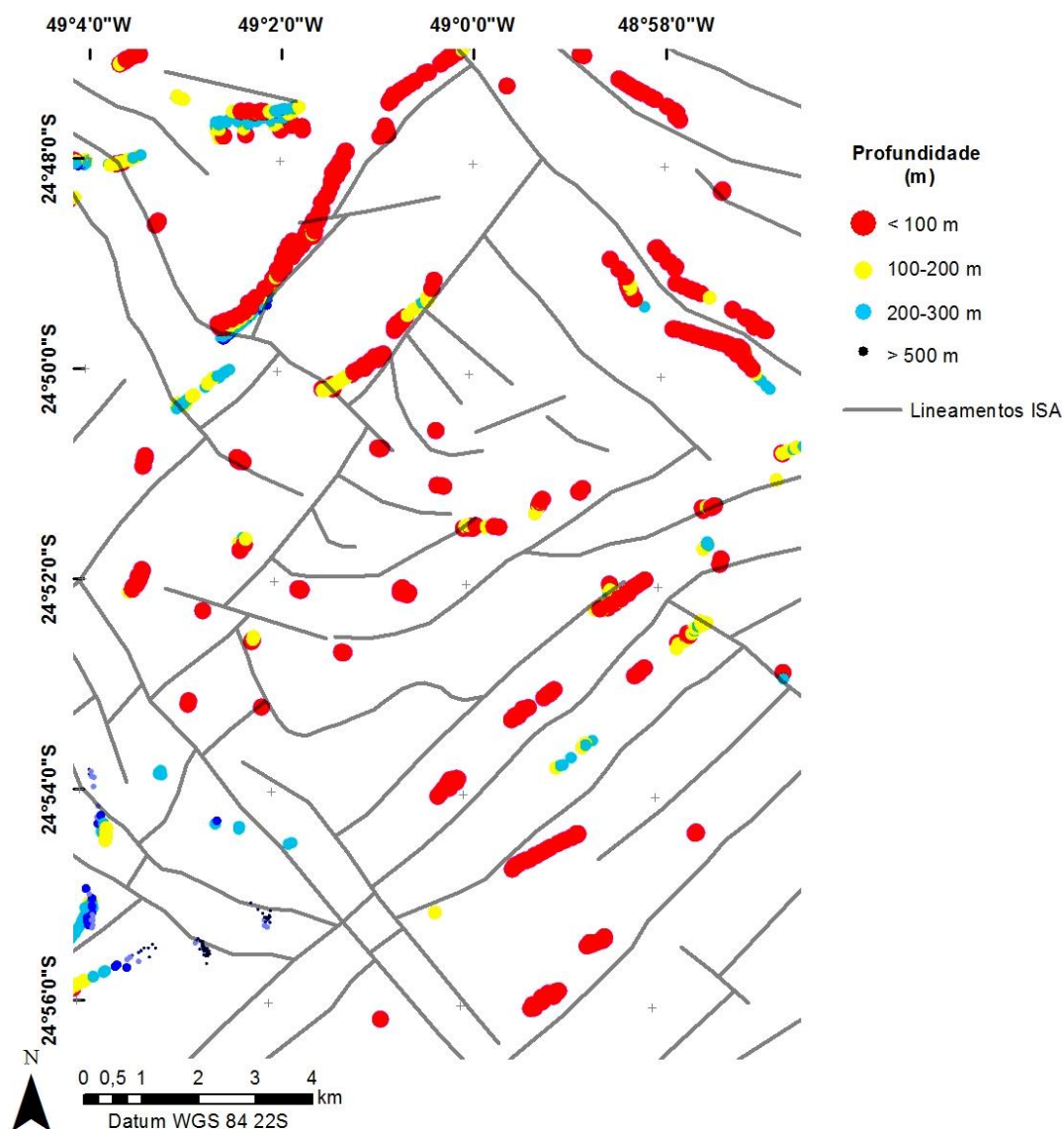


Figura 25 - Mapa de soluções de Euler sobrepostas aos lineamentos magnéticos ISA.

4.3. VALIDAÇÃO DO SIG PERAU EM CAMPO

A etapa de campo foi realizada para a validação do SIG Perau, utilizando os mapas digitalizados como base. Durante esta etapa foram feitas descrições petrográficas e estruturais em afloramentos, identificado a localização das galerias da Mina do Perau e descrito o minério e rochas encaixantes (Figura 26). Para acesso à Mina do Perau, foi utilizado o Mapa geológico da Mina do Perau (Takahashi et al 1981), escala 1:5.000. Estas rochas foram definidas por Daitx (1996) como o nível

intermediário, onde ocorrem calcioxistos e rochas calciossilicáticas com lentes de sulfetos de Pb-Zn-Cu (Ag-Fe).

Mapa geológico com pontos de campo

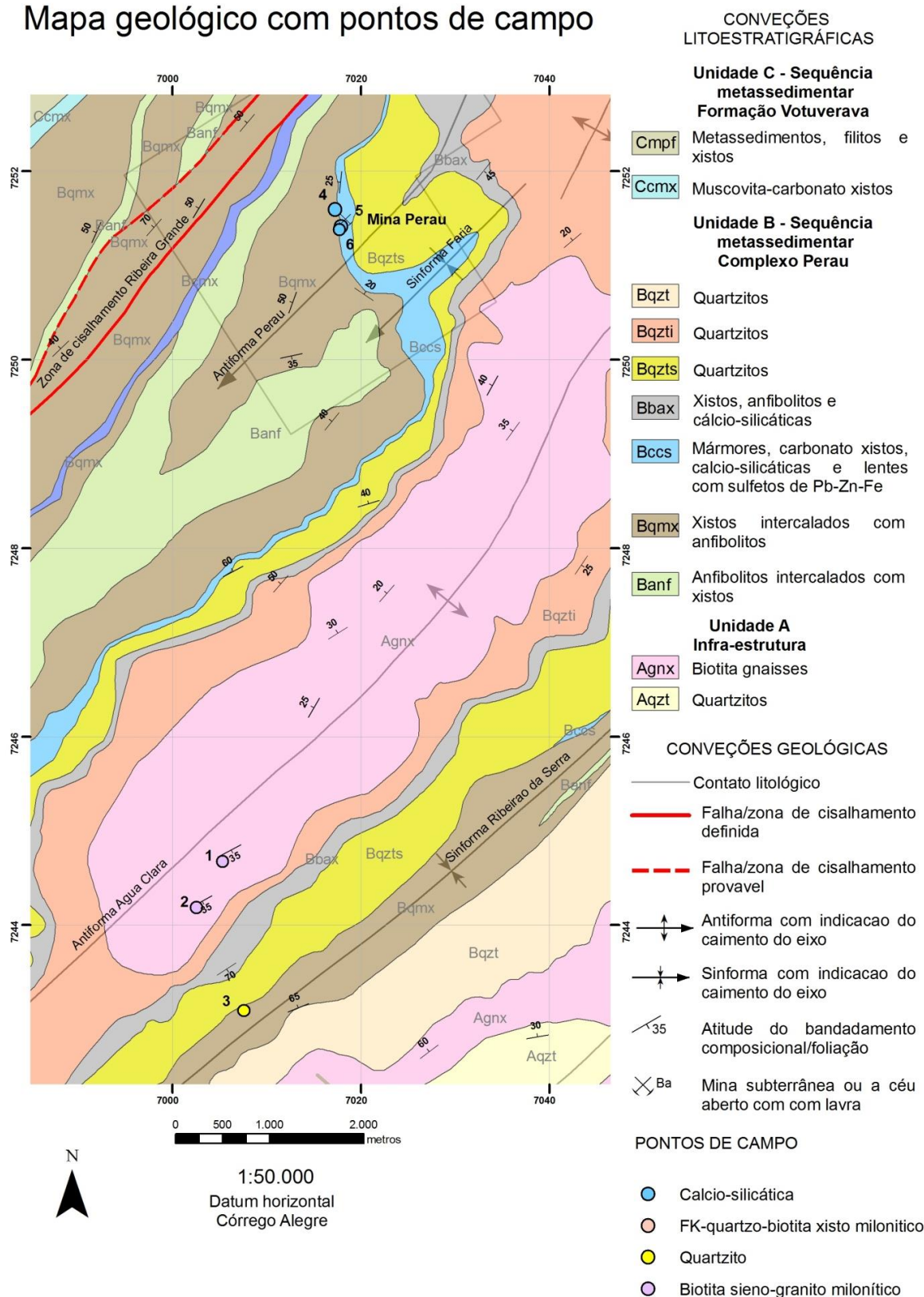


Figura 26 - Mapa geológico da região da Mina do Perau, com a localização dos pontos descritos durante a etapa de campo. Adaptado de Daitx (1996).

Nos pontos 1 e 2, foram descritos biotita sienogranitos deformados, definido por Daitx (1996) como paragnaisses do embasamento, Unidade A (Figura 27). Os biotita sienogranitos são faneríticos inequigranulares muito finos, com bandamento composicional de poucos milimétricos, estiramento mineral do tipo L-tectonito, configurando uma textura milonítica. São compostos por feldspato alcalino (40%), muscovita (5%), quartzo (20%), biotita (30%) e porfiroblastos milimétricos de granada (5% ?).

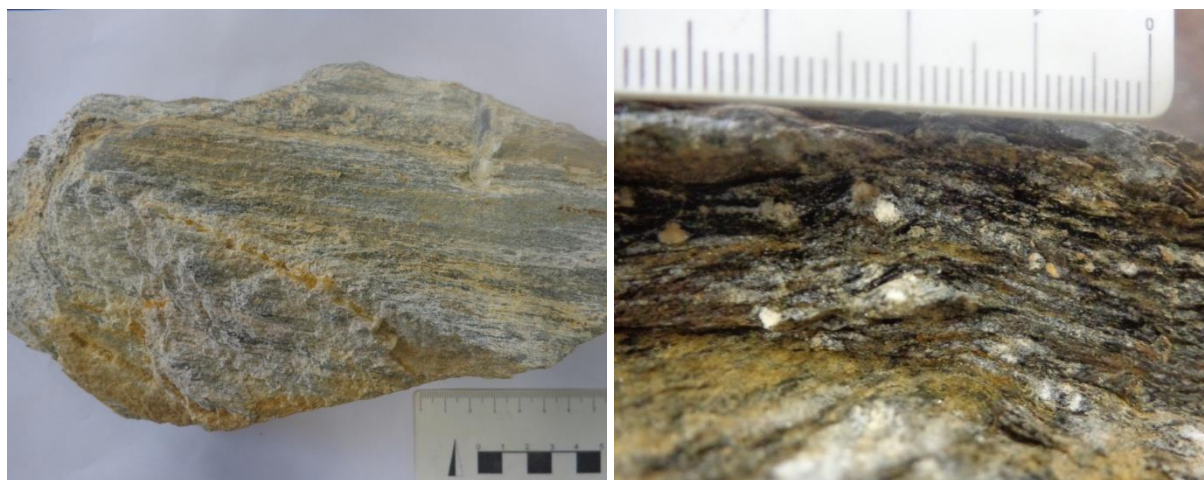


Figura 27 – Fotografias das amostras coletadas em afloramentos-alvo das rochas de embasamento na região do Núcleo do Tigre; ESQUERDA: Biotita sienogranito milonitizado, com estiramento mineral tipo L-tectonito; DIREITA: FK-quartzo-biotita xistos miloníticos com sombras de pressão e caudas de dissolução em porfiroblastos de FK.

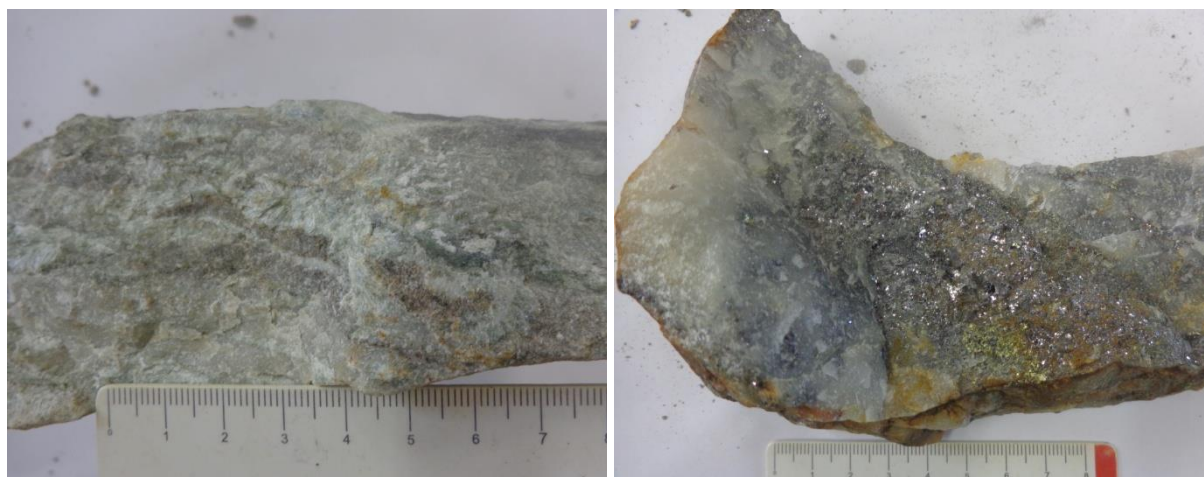


Figura 28 - Fotografias das amostras coletadas em afloramentos-alvo da Mina do Perau; ESQUERDA: rochas calciossilicáticas, compostas por tremolita, plagioclásio, quartzo e biotita, com sulfetos disseminados paralelos ao bandamento/xistosidade; DIREITA: veio de quartzo com galena, pirita, esfalerita, malaquita (tr), e bornita (tr)

A orientação da biotita forma uma xistosidade com direção N30E/60SE, sendo a lineação de estiramento sub-horizontal. Intercalados aos biotita sienogranitos, ocorrem enclaves máficos de FK-quartzo-biotita xistos. Estes apresentam textura

milonítica, com sombras de pressão e caudas de dissolução em feldspatos alcalinos, circundados por uma xistosidade espaçada e crenulada. No ponto 3 afloram quartzitos maciços da base da Unidade B da Formação Perau, com textura microgranular, exclusivamente compostos por quartzo.

Os pontos 4, 5 e 6 mostram a localização da pilha de rejeitos da Galeria 2, a entrada da Galeria 1 e a pilha de rejeitos da pilha de rejeitos da Galeria 1 da Mina do Perau, respectivamente. O minério da Mina do Perau (Figura 28) são rochas calciossilicáticas bandadas e localmente com xistosidade, compostas por tremolita, plagioclásio (?), quartzo e biotita como ganga, e pirita, galena, malaquita, esfalerita (?) e bornita como mineral de minério. O mineral de minério ocorre disseminado, maciço e intercalado ao bandamento/xistosidade.

5. DISCUSSÃO

A gamaespectrometria é uma ferramenta importante em grande variedade de situações geológicas, fornecendo mapas de enriquecimento e/ou depleção de potássio, urânio e tório. Na área de estudo, a alteração intempérica provocada pelo clima subtropical úmido, resulta em importantes modificações na distribuição desses elementos, dificultando o reconhecimento de anomalias originalmente relacionadas a fatores intrínsecos aos aspectos litoestruturais. Neste contexto, a compreensão da distribuição dos teores desses elementos nos solos representa um julgamento de valor fundamental para interpretação dos mapas, sendo as variáveis relacionadas ao tipo de rocha/protólito, declividade e capacidade de retenção de umidade (*traps* de água).

Comparando os teores médios por tipo de rocha e seu solo derivado (Dickson & Scott, 1997; Ribeiro *et al*, 2013), as contagens estatísticas dos domínios gamaespectrométricos para os três elementos mostraram-se compatíveis com dados litológicos no mapa geológico de Daitx (1996). Como exemplo, o domínio C é composto de quartzitos micáceos do Núcleo Tigre e sua resposta gamaespectrométrica é compatível com solos e rochas essencialmente quartzosas, onde o K, eU e eTh apresentaram valores de 0,64%, 1,98 ppm e 6,04 ppm, respectivamente.

A solubilidade nos complexos de tório é geralmente baixa, exceto em soluções ácidas ou pela interação de compostos orgânicos, como os ácidos húmicos, que

podem aumentar a solubilidade do tório em Ph neutro (Dickinson & Scott, 1997). Devido ao clima úmido e vegetação abundante da Região do Perau, a remobilização ou concentração do Th em processos supergênicos podem influenciar a distribuição das anomalias percebidas no mapa. O tório liberado durante o intemperismo pode ser retido em óxidos e hidróxidos de Fe e Ti, e também argilas sendo em situações específicas possivelmente aprisionado em lateritas e gossan. Por ser o elemento menos móvel dentre o três, o tório mostrou-se um bom elemento para a separação dos domínios.

Solos transportados recentes (depósitos tálus, depósitos coluvionares) são muito comuns devido às altas declividades da região. Estes depósitos mascaram a resposta gamaespectrométrica do solo residual original de rocha por meio da sobreposição/soterramento destes. A Formação Perau é formada por rochas calciossilicáticas, quartzitos e anfibolitos/metabásicas, as quais são empobrecidas em tório em seu estado original. O enriquecimento supergênico do tório, por meio da formação de gossans e lateritas em regiões mineralizadas, pode ressaltar uma anomalia importante no que diz respeito a alvos exploratório, caso essas anomalias apontem sobre unidades de interesse (p. ex. rochas calciossilicáticas).

O K é um elemento alcalino que ocorre em abundância em diversos minerais, sendo a principal ocorrência nos feldspatos-K (13%) e nas micas (8%). O intemperismo pode remobilizar significativas quantidades de K em rochas alteradas e solos, podendo participar da formação de argilominerais como a illita. O mapa do K mostra uma grande relação com os aspectos composicionais das unidades geológicas.

O Núcleo Tigre e o Granito Varginha são estruturalmente diferentes, mas petrograficamente semelhantes, formados por sienogranitos e monzogranitos. Nos mapas gamaespectrométricos estas unidades são as mais distintas e de fácil separação, mas apresentam respostas gamaespectrométricas distintas.

O Granito Varginha mostrou-se como uma forte anomalia de tório e urânio, com K relativamente baixo. Sua composição varia de sienogranitos a monzogranitos com afinidade aluminosa (Al) (Prazeres Filho, 2003b; Dressel, 2013). O Th e U alto se deve a alta quantidade de minerais acessórios como zircão e titanita. Segundo (Ulbrich *et al*, 2009), em regiões tropicais (alta pluviosidade), rochas granitoides aparecem cobertas por seus solos residuais, ou aluviões deles derivados, mostrando sinais fracos ou até zerados de K. A relativa baixa contagem de K pode ser explicada

pela lixiviação supergênica, entretanto os xistos e filitos encaixantes da Formação Votuverava apresentam contagens médias de K maiores que o Granito Varginha, mascarando-o devido a um *background* potássico.

O Núcleo Tigre mostrou-se uma forte anomalia de Th e U, mas predominantemente de K, sendo formado predominantemente de sienogranitos miloníticos com afinidade alcalina (K+Na) (Cury, 2002). De forma contrária a situação tectônica do Granito Varginha, o Núcleo Tigre está envolto a rochas essencialmente quartzíticas, calciosilicáticas e anfibolíticas/metabásicas, onde neste caso, há um contraste grande de composição em relação ao K, ressaltando a geometria do núcleo do embasamento.

O U apresenta grande mobilidade sob condições de baixa temperatura, sendo poucos minerais a exemplo da monazita e zircão, resistentes a este tipo de processo. O U liberado, durante processos intempéricos pode ser retido em óxidos de Fe, minerais de argila ou precipitado em condições redutoras. Assim, tanto processos hidrotermais quanto processos intempéricos podem condicionar anomalias percebidas em mapas.

Devido à alta mobilidade do U, sob estas condições, o mapa do U torna-se o mais difícil de definir domínios litogeofísicos. Observa-se em mapa que o U está distribuído de maneira mais esparsa nos domínios. Contudo, na porção noroeste do mapa, próxima a mina de Canoas, o U se apresenta condicionada por grandes falhas direção NW, perceptíveis também, em lineamentos magnéticos. Desta forma a distribuição fica condicionada pela interação entre modificadores intempéricos e hidrotermais (fases de deformação/metamorfismo).

Os limites dos domínios gamaespectrométricos são, de maneira geral, retilíneos e contínuos, sugerindo um controle tectônico destas unidades. Os lineamentos/zonas de cisalhamento interpretadas pela magnetometria estão posicionados nos contatos entre os domínios gamaespectrométricos, suportando a interpretação de contatos por falhas entre as unidades. As grandes estruturas magnéticas compatíveis com o traçado da ZC Maria Rita, Ribeirão Grande, ZC Água Clara, ZC Anta Gorda e ZC Olho d'água, observadas em mapas ISA-GHT e ASA, assim como estruturas de direção NW destacadas na porção nordeste suportam que há, também, controle estrutural/hidrotermal dos elementos U e K.

Por mais que se percebam pela gamaespectrometria diferentes assinaturas entre a base da Formação Votuverava, composta essencialmente por filitos e xistos

micáceos, e o topo da Formação Perau, compostas por xistos e filitos intercalados a anfíbolitos e calcioxisto, o limite exato entre elas é relativamente difuso. A zona de cisalhamento Ribeiro Grande define um traçado retilíneo no contato entre estas unidades, mas devido à remobilização e dispersão principalmente do K (seja por ação intempérica ou hidrotermal), o limite é mascarado.

Para entender a distribuição das anomalias caracterizadas no mapa do fator F é preciso compreender o contexto geológico da Região do Perau, pois são reconhecidas distintas fases de deformação com fases fluidas e hidrotermalismo desenvolvidas em diferentes locais e magnitudes na área de estudo.

Associada a tectônica de baixo ângulo, com a geração de paragêneses compatíveis com a fácies anfíbolito, são reconhecidas falhas de cavalgamento com faixas miloníticas com zonas de influencia de dezenas de metros, com venulação de quartzo (com epidoto, turmalina e sulfetos associados). Isto é observado nos afloramentos, 13-VII-14, 16-VI-14, 23-V-14, 81-VI-14, 48-IV-14, mostrados na Figura 24.

Associada a tectônica de alto ângulo, principalmente à ZC transcorrente Ribeirão Grande são reconhecidas faixas miloníticas com zonas de influencia de até dois quilômetros, assim como considerado por (Silva, 2014). São observadas venulações de quartzo com turmalina e óxidos (França, 2014) em diferentes direções, associadas tanto ao cisalhamento principal (Y), quanto estruturas conjugadas (R' e T). Isto pode ser observado nos afloramentos 53-IV-14 e 6-II-IV.

Neste contexto, a interpretação das anomalias do Fator F torna-se complicada pela sobreposição de eventos hidrotermais associados a eventos tectônicos sobrepostos. Soma-se a esta complexidade fato de o intemperismo modificar significativamente rochas de falha, pela maior permeabilidade de água nessas estruturas.

Comparando com os teores médios por tipo de rocha e seu solo derivado (Dickson & Scott, 1997; Ribeiro et al, 2013), as contagens estatísticas dos domínios gamaespectrométricos para os três elementos mostraram-se compatíveis com dados litológicos comparados com o mapa geológico de Daitx (1996). Como exemplo, o domínio C é composto de quartzitos micáceos do Núcleo Tigre e sua resposta gamaespectrométrica é compatível com solos e rochas essencialmente quartzosas, onde o K, eU e eTh apresentaram valores de 0,64%, 1,98 ppm e 6,04 ppm, respectivamente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentação de projetos sob a forma de relatórios é um dos principais produtos de trabalhos de geologia exploratória, sendo de suma importância a organização e apresentação dos dados. Os relatórios do *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira* representam até hoje um dos trabalhos mais detalhados sobre a geologia da região do Perau, notadamente a área de maior interesse de minerais metálicos no Estado do Paraná. Contudo, os dados desse projeto encontram-se disponíveis apenas em meio analógico, sendo que as cópias dos relatórios são de difícil acesso, restritas a poucas bibliotecas no Paraná, a exemplo da biblioteca da UFPR, MINEROPAR e DNPM.

As ferramentas de geoprocessamento utilizadas nesse trabalho objetivaram resgatar, organizar e disponibilizar os dados desse importante projeto realizado na década de 80. A digitalização do mapa geológico permitiu recuperar e georreferenciar às descrições de campo, a proposta da espacialização de unidades e estruturas geológicas.

Os aerolevantamentos geofísicos mostram-se uma excelente ferramenta de auxílio para o mapeamento geológico e exploração mineral. A integração geológico-geofísica permite compreender melhor a distribuição das unidades geológicas, podendo auxiliar na identificação de unidades geológicas não cartografadas por meio de analogias e correlações com dados conhecidos.

A gamaespectrometria mostrou-se uma importante ferramenta para classificar as unidades geológicas radioquimicamente. Dessa forma, mostra-se essencial para entender como possíveis remobilizações de K, eU e eTh podem auxiliar na identificação de novos alvos minerais.

A magnetometria mostrou-se uma excelente ferramenta para identificação de grandes estruturas regionais (em alguns casos locais) como zonas de cisalhamento, falhas e dobras. A partir da identificação e caracterização dessas estruturas e padrões estruturais, pode-se correlacionar possíveis remobilizações hidrotermais condicionadas por estas estruturas.

O estudo de campo permitiu avaliar a confiabilidade dos dados do SIG Perau, através da descrição a partir do resgate dos dados históricos. A análise petrográfica e coleta de dados estruturais possibilitaram validar os dados, onde as descrições feitas

durante a etapa de campo desta pesquisa corroboram com os dados apresentados nos mapas geológicos. Isto confirma a importância de ser feito o resgate de relatórios e mapas geológicos antigos, onde constam muitas informações importantes para prospecção mineral, que podem ser reavaliados, em busca de melhorar o entendimento geológico da área em questão.

Na região do Perau ocorrem anomalias gamaespectrométricas e estruturas magnéticas, compatíveis com o contexto deformacional e metamórfico, que sugerem controle na distribuição das mineralizações. Contudo, para uma melhor compreensão de como a deformação e o metamorfismo atuaram nos horizontes mineralizados, mobilizando ou simplesmente deformando-os, são necessários dados geológicos e geofísicos de maior detalhe.

REFERÊNCIAS

- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; KAULFUSS, G. A.; CORDEIRO, H.; NUTMAN, A.; SATO, K.; CURY, L. F.; PRAZERES FILHO, H. J.; PASSARELLI, C. R.; HARARA, O. M.M.; REIS NETO, J. M. **Geochronology and isotope geology of Votuverava and Perau mesoproterozoic basins, Southern Ribeira Belt, Brazil**. In: IV South American Symposium on isotope geology – SSAGI, 4., 2003. Anais... Salvador: v. 2, p. 501-504, 2003.
- BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528 p.
- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. **Estudos preliminares na Série Açungui. VIII. A Formação Votuverava**. Instituto de História Natural, Boletim de Geologia, Curitiba, 2:6. 1958b.
- CAMPANHA, G.A.C. **Tectônica proterozoica no alto e médio vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná**. 296 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros.html>. 2005
- CORDELL, L., GRAUCH, V. J. S. **Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico**. In: W. J. Hinze (Ed.), The utility of regional gravity and magnetic anomalies maps (v.1, 181–197). Tulsa: Society of Exploration Geophysics. 1985.
- CURY, L.F. et al. **Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitoides alcalinos deformados dos núcleos Betara e Tigre: evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiaí**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 2, p. 95-108, 2002.
- CASTRO, L.G.; FERREIRA, F.J.F.; CURY, L.F.; FIORI, A.P.; SOARES, P.C.; LOPES, A.P.; OLIVEIRA, M.J. **Interpretação qualitativa e semiquantitativa dos dados aeromagnéticos sobre a Zona de Cisalhamento Lancinha, porção meridional do Cinturão Ribeira no Estado do Paraná, Sul do Brasil**. Geologia USP. Série Científica, v. 14, p. 3-18, 2014.
- COOPER G.R.J, COWAN D.R. **Enhancing potential Field data using filters based on the local phase**. Computer & Geosciences. 32: 1585-1591. 2006.
- CPRM – SEVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Paraná-Santa Catarina**. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Texto Técnico. Volume I. 2011.
- DAITX, E.C. **Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo Perau (Pb-Zn-Ag), se nas jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR)**. 453 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, Rio Claro, 1996.
- DRESSEL, B.C. **Relações de colocação, deformação e tipologia dos granitos Varginha, Morro Grande, Piedade e Cerne, Leste do Paraná**. 130 f. Dissertação (mestrado em Geologia Exploratória) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- DICKSON B.L., Scott K.M.. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors**. AGSO J. Australia Geology & Geophysics. 17(2):187-200. 1997

EBERT, H.D. **Petrographische und tektonische Untersuchungen in der Serra do Cadeado - Aufwölbung in Se-Paraná, Brasilien.** Tese Doutor., Univ. Techn. Clausthal, Clausthal, 257 p. 1987.

EVJEN H.M. **The place of vertical gradient in gravitational interpretations.** *Geophysics*. 1: 27-136. 1936.evjen

FALEIROS, F.M. **Evolução de terrenos tectonometamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR).** 2008. 306 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FALEIROS, Frederico Meira **Geologia e recursos minerais da Folha Apiaí – SG.22-X-B-V, Estados de São Paulo e Paraná, Escala 1:100.000** / Faleiros, Frederico Meira ... [et al.] – São Paulo: CPRM, 2012.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J., Bongiorno, A. B. S., CASTRO, L. G., ROMEIRO, M. A. T. **Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico.** Parte I: Aplicação a dados sintéticos. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, 1, 1-6. Brasília: SBGf. 2010.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J., Bongiorno, A. B. S., CASTRO, L. G. **Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle.** *Geophysics*, 78(3), J33-J41. 2013.

FIORI, A.P. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui, PR.** Bol. IG-USP, Sér. Cient., v. 23, p. 55-74, 1992.

FIORI, A.P; GASPAR, L.A. **Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, Sul do Brasil.** Geo.USP, ser.cient.; São Paulo, v. 24, p. 1-19, 1993.

FOOTE R.S. **Improvement in airborne gamma radiation data analyses for anomalous radiation changes.** In: Simp. sobre uso de Técnicas Nucleares na Prospecção e Desenvolvimento de Recursos Minerais. 1968. Anais... Buenos Aires. 1968.

GNOJEK I., PRICHYSTAL A.. **A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in Northern Moravia (Czechoslovakia).** *Geoexploration* 23(4):491-502. 1985.

GOODCHILD, M. F. **Keynote address: progress on the GIS research agenda.** *Proceedings, EGIS 91*, Brussels, pp. 342-350. 1991.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. **Estruturas e Tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná.** An. Acad. Bras. Ci. 1980. 52(1):61-76.

HASUI, Y. **A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional.** In: *Geociências*, 29: 141-169. 2010.

ISLES, D. J., RANKIN, L. R. **Geological Interpretation of Aeromagnetic Data.** Perth: Australian Society of Exploration Geophysicists. 2013

JICA/MMAJ. **Report on Geological Survey of Anta Gorda, Brazil: Phase II.** Acordo Coop. Tecn. Brasil-Japão, DNPM/MMAJ, Tokyo, 119 p.1982.

KAPLAN, I. **Nuclear Physics.** Londres: Addison- Wesley Publ. Co. 609p. 1964.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; IAN, H. **Geofísica de exploração**. Tradução de Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de textos, 438 p. Original: An introduction to geophysical exploration. 2009.

CPRM - Lasa Prospecções S. A. **Projeto Geofísico Paraná Santa Catarina– Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. 2011.

MILLER H.G. & SINGH V. **Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources**. *Journal of Applied Geophysics*. **32**: 213-217. 1994.

NABIGHIAN M. N. **The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation**. *Geophysics*. **37**: 507–517. 1972.

PERROTTA, M.M. **Potencial aurífero de uma região no vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geofísicos, geoquímicos e de sensores remotos num sistema de informações geográficas**. 149 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

PRAZERES FILHO, H.J. dos; HARARA, O.M.; BASEI, M.A.S.; PASSARELLI, C.R.; SIGA JR., O. **Litogeoquímica, geocronologia U-Pb e geologia isotópica (Sr-Nd-Pb) das rochas graníticas dos batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na porção sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná**. Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo, v. 3, p. 51-70, 2003b.

RIBEIRO, V.B., MANTOVANI, M.S.M., LOURO, V. H. A. . **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico**. Terrae Didatica (Impresso), v. 10, p. 29, 2013.

REID A.B., ALLSOP J.M., GRANSER H., MILLETT A.J., and SOMERTON I.W. **Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution**. *Geophysics*. **55**(1): 80-91. 1990.

ROEST W.R.J., VERHOEF J., PILKINGTON M. **Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal**. *Geophysics*. **57**: 116-125. 1992.

SIGA JÚNIOR, O. **Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal**. 212 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SIGA JÚNIOR, O. et al. **Lower and upper neoproterozoic magmatic records in Itaiacoca belt (Paraná-Brazil): zircon ages and lithostratigraphy studies**. *Gondwana Research*, v. 15, p. 197-208, 2009.

SIGA JÚNIOR, O., Basei, M.A.S., Sato, K., Passarelli, C.R., Nutman, A., McReath, I., PrazeresFilho, H.J., **Calymmian (1.50–1.45 Ga) magmatic records in Votuverava and Perau sequences south-southeastern Brazil: zircon ages and Nd–Sr isotopicgeochemistry**. *J. South Am. Earth Sci.* **32**, 301–308. 2011^a

SILVA, G. **Caracterização estrutural da Zona de Cisalhamento Ribeirão Grande, região de Adrianópolis – PR**. 40p. Relatório interno. 2014 (inédito)

TAKAHASHI, et al; CHIODI FILHO, C.; SILVA, C.R.; BATOLLA Jr., F. (1981) **Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira**. *Relatório Final. Área da Mina do Perau*. DNPM/CPRM, São Paulo, v. 11, 94 p.

THOMPSON, D.T. EULDPH: **A New Techique for Making Computer-assisted Depth Estimates from Magnetic Data.** *Geophysics*. 47: 31-37. 1982.

ULBRICH H.H.G.J., ULBRICH M.N.C., FERREIRA F.J.F., ALVES L.S., GUIMARÃES G.B., FRUCHTING A. **Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. I: Revisão da Metodologia e do Comportamento Geoquímico dos Elementos K, Th e U.** *Geologia USP: Série Científica*, 9(1):33-53. 2009.

VERDUZCO B., FAIRHEAD J.D., GREEN C.M. **New insights into magnetic derivatives for structural mawpping.** *The Leading Edge*. 23 (2): 116–119. 2004.

WILFORD J.R., BIERWIRTH P.N., CRAIG M.A. **Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/ regolith mapping and applied geomorphology.** *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): 201-216. 1997.

WINJS C.; PEREZ C.; KOWALCZYK P. **Theta map: Edge detection in magnetic data.** *Geophysics*. 70: L39-L43. 2005.