

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

**GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO E ASSUNTOS DO MERCOSUL – SEIM/PR
MINERAIS DO PARANÁ - MINEROPAR**

**GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO
ESTADO DO PARANÁ**

TEXTO EXPLICATIVO DOS MAPAS GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

ESCALA 1:200.000

Equipe Executora

Reinaldo Santana Correia de Brito – DEREM / CPRM – DF
Wilson Wildner – CPRM-PA
Otavio Augusto Boni Licht – MINEROPAR
Edir Edemir Arioli - MINEROPAR
Carlos Alberto Kirchner - CPRM-PA
Maisa Bastos Abram - CPRM-SA
Sônia da Cruz Cantarino – CPRM-SP
Vicente Sérgio Costa – CPRM-SP
Eduardo Gazzoli Longo – CPRM-SP
Sérgio José Romanini - (*in memoriam*) CPRM-PA
Andréa Sander – CPRM-PA
Mônica Mazzini Perrotta – CPRM-SP
Francisco José Fonseca Ferreira - UFPr
Carlos Roberto de Souza Filho – UNICAMP
João Carlos Carrilho - KT - Geologia e Meio Ambiente Ltda.
Luciana Viana de Melo - UnB

Revisado e Organizado por

Hardy Jost - ASSDGM / CPRM-DF

Revisão Final por

Otavio Augusto Boni Licht – MINEROPAR
Edir Edemir Arioli - MINEROPAR
Reinaldo Santana Correia de Brito – DEREM / CPRM – DF
Wilson Wildner – CPRM-PA
Francisco José Fonseca Ferreira - UFPr

CURITIBA, 2006

Convênio CPRM - MINEROPAR

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Geologia e Recursos Minerais do Estado do Paraná

Wilson Wildner, Rinaldo Santana Correia de Brito, Otavio Augusto Boni Licht e Edir Edemir Arioli (Coordenadores) - Escala 1:200.000, Brasília: CPRM, 2006. (Convênio CPRM/MINEROPAR).: 95 pgs. il. + mapas.

Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil

1. Geologia Regional. 2. Recursos Minerais 3. Prospecção Geoquímica 4. Aerogeofísica
5. Geoquímica Isotópica 6. Metalogenia

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
Programa Geologia do Brasil

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO E ASSUNTOS DO
MERCOSUL – SEIM/PR
MINERAIS DO PARANÁ - MINEROPAR

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SILAS RONDEAU CAVALCANTE SILVA
Ministro

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**
CLÁUDIO SCLIAR
Secretário

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
AGAMENON SÉRGIO LUCAS DANTAS
Diretor-Presidente

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

JOSÉ RIBEIRO MENDES
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

ÁLVARO ROGÉRIO ALENCAR SILVA
Diretor de Administração e Finanças

EDILTON JOSÉ DOS SANTOS
Chefe do Departamento de Geologia

REINALDO SANTANA CORREIA DE BRITO
Chefe do Departamento de Recursos Minerais

INÁCIO DE MEDEIROS DELGADO
Chefe da Divisão de Geologia Básica

JOÃO HENRIQUE GONÇALVES
Chefe da Divisão de Geoprocessamento

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO
ALEGRE**
JOSÉ ALCIDES FONSECA FERREIRA
Superintendente

NORBERTO LESSA DIAS
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SÃO PAULO
JOSÉ CARLOS GARCIA FERREIRA
Superintendente

LUIZ ANTÔNIO CHEREGATI
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
ROBERTO REQUIÃO DE MELLO E SILVA
Governador

ORLANDO PESSUTI
Vice-Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO
COMÉRCIO E ASSUNTOS DO MERCOSUL – SEIM**
VIRGÍLIO MOREIRA FILHO
Secretário

MINERAIS DO PARANÁ - MINEROPAR
EDUARDO SALAMUNI
Diretor Presidente

ROGÉRIO DA SILVA FELIPE
Diretor Técnico

MANOEL COLLARES CHAVES NETO
Diretor Administrativo e Financeiro

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM
Programa Geologia do Brasil

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO E ASSUNTOS DO
MERCOSUL – SEIM
MINERAIS DO PARANÁ - MINEROPAR

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

TEXTO EXPLICATIVO DOS MAPAS GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS

Escala 1:200.000

COORDENAÇÃO EXECUTIVA E TÉCNICA

Reinaldo Santana Correia de Brito - DEREM/CPRM
Wilson Wildner - CPRM/PA
Otavio Augusto Boni Licht - MINEROPAR

COORDENAÇÃO TEMÁTICA

Geologia - Wilson Wildner, Otavio Augusto Boni Licht e Edir Edemir Arioli
Geoquímica de Superfície - Otavio Augusto Boni Licht
Geofísica - Francisco José Fonseca Ferreira
Metagenia - Maisa Bastos Abram
Geoquímica Isotópica - Reinaldo Santana Correia de Brito
Base de Dados Litogeoquímicos - Wilson Wildner
Base Cartográfica - Rui Arão Rodrigues
Sensoreamento Remoto - Mônica Mazzini Perrotta
Geoprocessamento - David Brito de Cerqueira e Maisa Bastos Abram
Editoração Cartográfica - Rui Arão Rodrigues, David Brito de Cerqueira, Jocilene dos Santos Santana,
Thais Andréia dos Santos Canabrava e Márcio Oliveira de Castro
Elaboração SIG - Álvaro Perini e David Brito de Cerqueira
Embalagem e Padrão do Produto - Ernesto Von Sperling e José Márcio Henrique Soares

APOIO TÉCNICO

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

COLABORADORES

Miguel Ângelo Stipp Basei - IG-USP
Luciana da Rocha Pinheiro - CPRM-DF
Alcélio Ferreira Lima - CPRM - DF

EDITORIAÇÃO

Portal Projeto - Brasília-DF

GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL

Escala 1:200.000

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 GEOLOGIA - EQUIPE | 1 |
| 1.2 DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO | 1 |
| 1.3 IMAGENS, MOSAICOS E FOTOS AÉREAS | 3 |
| 1.4 PETROGRAFIA | 3 |
| 1.5 GEOQUÍMICA DE SUPERFÍCIE | 3 |
| 1.6 GEOFÍSICA | 3 |
| 1.7 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA | 3 |
| 1.8 RECURSOS MINERAIS | 3 |
| 2 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA | 6 |
| 2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO | 7 |
| 2.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS | 7 |
| 2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 7 |
| 2.4 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS | 8 |
| 3 GEOLOGIA E PETROGRAFIA | 9 |
| 3.1 BACIA DO PARANÁ | 9 |
| 3.2 ORIGEM, EVOLUÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MAGMATISMO SERRA GERAL | 9 |
| 3.3 ARCABUÇO TECTONO-ESTRUTURAL DA BACIA DO PARANÁ | 10 |
| 3.3.1 ANÁLISE DE LINEAMENTOS MORFOESTRUTURAIS | 10 |
| 3.4 CRITÉRIOS DE DIVISÃO ESTRATIGRÁFICA | 14 |
| 3.5 NOMENCLATURA | 17 |
| 3.6 ESTRATIGRAFIA DO VULCANISMO | 17 |
| 3.6.1 FÁCIES NOVA LARANJEIRAS | 18 |
| 3.6.2 FÁCIES CAPANEMA | 20 |
| 3.6.3 FÁCIES CAMPOS NOVOS | 24 |
| 3.6.4 FÁCIES CORDILHEIRA ALTA | 25 |
| 3.6.5 FÁCIES CAMPO ERÊ | 28 |
| 3.6.6 INTRUSIVAS BÁSICAS | 30 |
| 3.6.7 PEGMATÓIDES GABRÓICOS | 30 |
| 3.6.8 DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS | 31 |
| 3.6.9 ROCHAS SEDIMENTARES INTERDERRAMES | 32 |
| 3.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 34 |
| 4 CARACTERÍSTICAS LITOQUÍMICAS DO MAGMATISMO | 36 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 36 |
| 4.2 LITOGEOQUÍMICA DOS DERRAMES DO SUDOESTE DO PARANÁ | 37 |
| 4.3 CONCLUSÕES LITOGEOQUÍMICA | 41 |
| 5 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA E GEOCRONOLOGIA AR-AR | 43 |
| 5.1 INTRODUÇÃO | 43 |
| 5.2 RESULTADOS DOS ISÓTOPOS SR-ND-Pb | 43 |
| 5.3 IDADES ⁴⁰Ar/³⁹Ar | 43 |
| 5.3.1 DATAÇÃO ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar | 45 |
| 5.4 CONCLUSÕES | 47 |
| 6 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS ATIVOS DE DRENAGEM | 50 |
| 6.1 INTRODUÇÃO | 50 |
| 6.2 MATERIAIS E MÉTODOS | 50 |
| 6.2.1 TRABALHOS DE CAMPO | 50 |
| 6.2.2 ENSAIOS E ANÁLISES DE LABORATÓRIO | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 6.3 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS | 51 |
| 6.4 TRATAMENTO DOS DADOS | 52 |
| 6.4.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO | 52 |
| 6.4.2 CARTOGRAFIA GEOQUÍMICA | 52 |
| 6.4.3 ANÁLISE FATORIAL - MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS | 52 |
| 6.4.4 ASSINATURAS DAS FÁCIES MAPEADAS COM BASE NA GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS ATIVOS DE DRENAGEM | 53 |
| 6.5 RESULTADOS OBTIDOS | 53 |
| 6.5.1 ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS | 53 |
| 6.5.2 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS ATIVOS DE DRENAGEM | 53 |
| 6.5.3 ASSINATURAS GEOQUÍMICAS DAS FÁCIES MAPEADAS | 62 |
| 6.6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 62 |
| 7 GEOFÍSICA | 66 |
| 7.1 MÉTODOS | 66 |
| 7.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 68 |
| 7.3 CONCLUSÕES | 71 |
| 8 RECURSOS MINERAIS | 78 |
| 8.1 INTRODUÇÃO | 78 |
| 8.2 RECURSOS MINERAIS | 78 |
| 8.2.1 DESCRIÇÃO DOS JAZIMENTOS MINERAIS | 78 |
| 8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE POTENCIAL PARA DEPÓSITOS DE Ni-Cu-EGP | 80 |
| 8.3.1 INTRODUÇÃO | 80 |
| 8.3.2 CONTROLES DE MINERALIZAÇÕES DE Ni-Cu-EGP EM PROVÍNCIAS DE BASALTOS CONTINENTAIS | 80 |
| 8.3.3 A REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ | 81 |
| 8.4 MODELAGEM EM SIG COM A LÓGICA FUZZY | 85 |
| 8.5 MAPA DE RECURSOS E POTENCIAL MINERAL | 88 |
| 8.6 CONCLUSÕES | 88 |
| 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 89 |

Wilson Wildner
Otavio Augusto Boni Licht
Edir Edemir Arioli

Este relatório descreve os resultados da **Etapa I do Programa de Mapeamento Geológico Básico do Estado do Paraná**, cuja área abrange cerca de 14.400 km² e compreende as cartas na escala 1:100.000 de Catanduvas, Guaraniaçu, Capanema, Rio Cotegipe, Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão (Fig. 1.1). Dentre estas, as folhas, de Dionísio Cerqueira e Capanema contêm o recorte de fronteira com a Argentina e o extremo SE do Parque Estadual do Iguaçu, e a porção central da carta de Guaraniaçu contém a Reserva Indígena do Rio das Cobras.

Nesta região foram realizados trabalhos de reconhecimento sistemático de campo voltado para a cartografia geológica e a definição do arranjo faciológico-estratigráfico das unidades que compõem o pacote vulcano-plutônico relacionado ao magmatismo Serra Geral. Isto resultou em um mapa geológico integrado na escala 1:200.000 apresentado como cartograma final de projeto. O levantamento geológico foi precedido de campanhas de prospecção geoquímica baseada na amostragem de sedimentos ativos de drenagem e concentrados de bateia.

1.1 GEOLOGIA - EQUIPE

Para desenvolver as etapas de geologia, trabalhos de campo, organização e interpretação de resultados e geração de relatório, foi organizada uma equipe de geólogos da CPRM e da MINEROPAR, voltados para temas específicos, e composta por:

- Reinaldo Santana Correia de Brito – DEREM (CPRM – DF)
- Wilson Wildner – coordenação de projeto (CPRM-PA)
- Otavio Augusto Boni Licht – coordenação de projeto (MINEROPAR) e levantamento geoquímico
- Edir Edemir Arioli – geólogo (MINEROPAR)
- Sônia da Cruz Cantarino – geóloga (CPRM-SP)
- Vicente Sérgio Costa – geólogo (CPRM-SP)
- Eduardo Gazzoli Longo – geólogo (CPRM-SP)
- Sérgio José Romanini – geólogo, *in memoriam* (CPRM-PA)
- Carlos Alberto Kirchner - geoquímico (CPRM-PA)
- Andréa Sander – geóloga (CPRM-PA)
- Mônica Perrotta – geóloga (CPRM-SP)
- Francisco José Fonseca Ferreira - geofísico (UFPr)
- Carlos Roberto de Souza Filho – geólogo (UNICAMP)

1 INTRODUÇÃO

- Maisa Bastos Abram - geóloga (CPRM-SA)
- Luciana Viana de Melo - geóloga (UnB)

A primeira etapa de campo iniciou em 15 de julho de 2004 e se estendeu até o final do ano, com a participação dos integrantes da equipe em períodos distintos. Durante as primeiras semanas foram levantados perfis de reconhecimento em escala 1:100.000 nas seis folhas e áreas adjacentes, com a participação dos integrantes das equipes de mapeamento, para definir métodos e critérios de trabalho. Após a fase inicial, a equipe foi dividida para realizar a cartografia geológica, da seguinte forma:

- Folha Capanema – Sônia da Cruz Cantarino (CPRM-SP)
- Folha Rio Cotegipe – Vicente Sérgio Costa (CPRM-SP) e João Carlos Carrilho (KT-Geologia e Meio Ambiente Ltda.)
- Folha Catanduvas – Eduardo Gazzoli Longo (CPRM-SP)
- Folha Guaraniaçu – Wilson Wildner (CPRM-PA)
- Folhas Francisco Beltrão e Dionísio Cerqueira- Otavio Augusto B. Licht e Edir Edemir Arioli (MINEROPAR)

A cartografia geológica foi realizada em quatro etapas, as quais visaram o reconhecimento geral da área, a definição de detalhes stratigráficos e o entendimento geológico-estratigráfico da região.

1.2 DADOS FÍSICOS DE PRODUÇÃO

As etapas de levantamento geológico regional geraram os seguintes dados de produção:

- 618 estações descritas pela equipe da CPRM;
- 879 estações descritas pela equipe da MINEROPAR;
- 710 amostras de sedimentos de corrente, com 80 replicatas;
- 121 amostras de concentrados de bateia.

Isto resultou na densidade de 1 ponto por 10,15 km², compatível com a complexidade geológica da região, como estimado no projeto, o que permitiu identificar e mapear 5 (cinco) fácies de efusivas máficas (Campo Erê, Cordilheira Alta, Campos Novos, Capanema e Nova Laranjeiras), bem como intrusões básicas, pegmatóides gabróicos, depósitos piroclásticos e rochas sedimentares vulcanogênicas. Nestas unidades foram coletadas cerca de 800 amostras de rocha, as quais estão armazenadas na Superintendência Regional da CPRM de Porto Alegre. Dentre estas, foram selecionadas 93 para caracterização petrográfica das unidades cartografadas. Destas, 82 destinaram-se à análise química nos laboratórios da ACME Analytical Laboratories Ltd., Canadá, de óxidos de

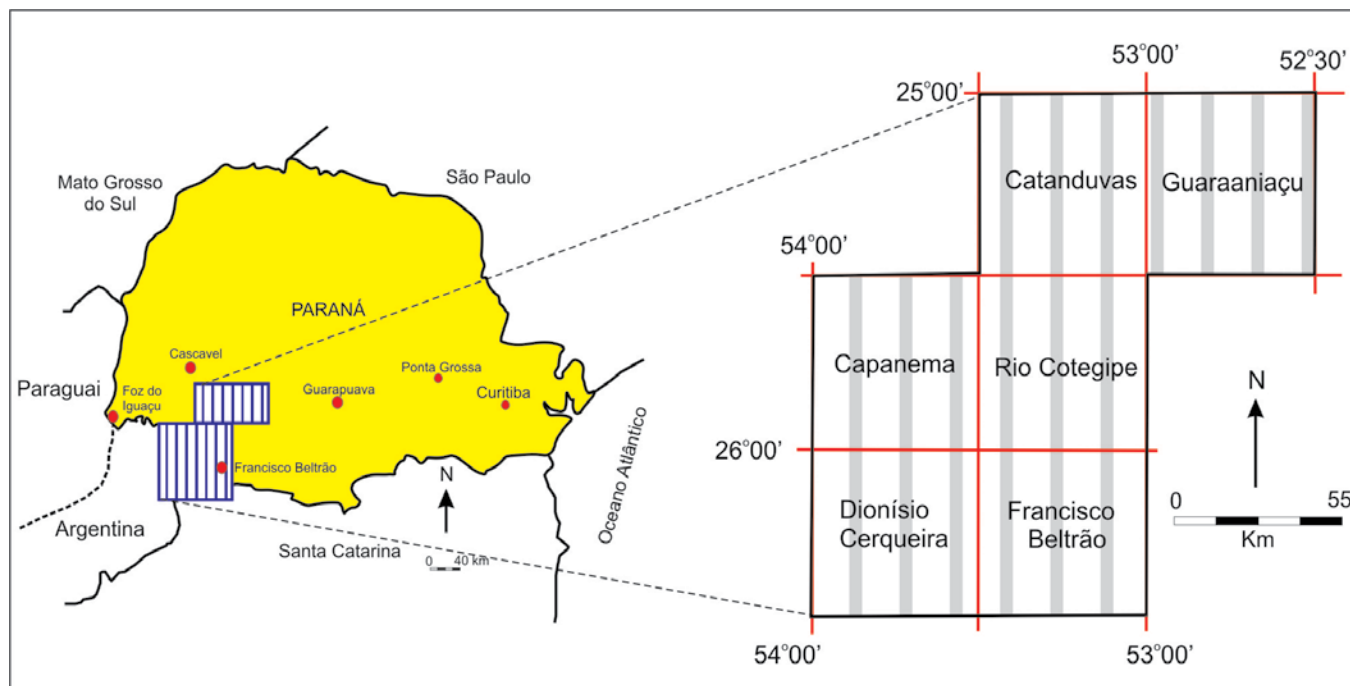


Figura 1.1 - Localização da área do projeto e articulação das folhas na escala 1:100.000.

elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO e Perda ao Fogo) e de elementos menores e traços (Cr_2O_3 , Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se, Sc, Pt e Pd). Após tratamento dos dados analíticos, 18 amostras foram selecionadas para análise isotópica de Sr-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb e Rb-Sr pelo John de Laeter Centre of Mass Spectrometry, Department of Applied Geology, Austrália, para reconhecer as possíveis fontes dos diferentes magmas, contaminação crustal e evolução.

Os mapas geológicos foram elaborados com o emprego da biblioteca de símbolos e definições padronizados pela CPRM para o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Os dados estão armazenados em meio digital sob Sistema de Informação Geográfica – SIG e organizados nos bancos de dados digitais das bases **aflores** e **petro**, gerenciados pelo sistema ArcView.

Durante a cartografia geológica utilizaram-se os critérios e conceitos adotados pela CPRM no PLGB. Estes, no entanto, não coincidem, em parte, com os da MINEROPAR, mas a sua adoção, ao invés da fusão de métodos, visou a coerência e continuidade entre mapas geológicos do Paraná e os executados pela CPRM na Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. Contudo, a parcial divergência metodológica não prejudica a qualidade e a confiabilidade dos resultados aqui apresentados e, sempre que necessário, as diferenças serão indicadas ao longo do texto, em benefício da objetividade técnica.

1.3 IMAGENS, MOSAICOS E FOTOS AÉREAS

A MINEROPAR forneceu as imagens LANDSAT-7 da área do projeto e sobre as quais foram plotados os dados de campo e montado o esboço geológico de cada carta. O projeto também contou com imagens processadas no Laboratório de Processamento de Informações Geo-Referenciadas (LAPIG), do Instituto de Geociências, da Universidade de Campinas (UNICAMP), sob contrato com a Minerais do Paraná – MINEROPAR. Os produtos gerados a partir das imagens compreenderam: (1) modelos digitais de elevação e curvas de nível; (2) cartas-imagem ASTER/Terra; (3) produtos ETM+/LANDSAT-7 e (4) espectroscopia. Estes foram georreferenciados em sistema UTM (fuso 22 expandido) com datum SAD-69.

MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO E CURVAS DE NÍVEL

Os modelos digitais de elevação (MDEs) em escala 1:100.000 de cada carta foram gerados por processamento de pares de imagens do satélite *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM, com resoluções aproximadas de 30m e 90m e arquivados em formato GeoTif. O recorte das áreas de interesse foi extraído de MDE do SRTM da América do Sul, produzido pelo LAPIG/UNICAMP, com acurácia vertical e compatível com a escala de mapeamento, e empregados em complemento aos MDEs derivados do ASTER.

A partir dos MDEs gerados com dados ASTER e SRTM, traçaram-se curvas de nível cotadas, com equidistância de 20 m, para cada carta 1:100.000. As curvas de

nível foram extraídas automaticamente com o emprego de ferramentas do ENVI-IDL, organizadas em ambiente AutoCAD e arquivadas nos formatos *.dwg (Autocad) e *.dxf (formatos 2004 e 2000). Cada curva consta de *layers* independentes nos arquivos CAD e DXF.

CARTAS-IMAGEM

A partir das imagens ASTER de cada carta produziram-se três mosaicos coloridos, um com resolução espacial de 15m e contendo as bandas 1, 2 e 3 (VNIR), outro com resolução de 30m com as bandas 4, 7 e 9 (SWIR) e o terceiro com resolução de 90m com as bandas 10, 12 e 14 (TIR). Os mosaicos foram confeccionados com a seguinte sistemática: (i) os conjuntos de bandas VNIR (3 bandas; 15 m), SWIR (6 bandas; 30 m) e TIR (5 bandas; 90 m), de cada cena foram ortoretificados individualmente, com base no modelo digital de elevação calculado para as cenas individuais; (ii) cada cena foi cortada de forma a eliminar o serrilhado das bordas das imagens e/ou excesso de registro entre bandas realizado pela NASA no dado ASTER original. Assim como nos MDEs, o recorte de cada cena resultou na perda de parte da informação de borda das imagens e aumentou a possibilidade de lacunas entre cenas laterais. Como o problema das bordas variou entre cenas e entre conjuntos de bandas VNIR, SWIR e TIR, a quantidade de cenas necessárias para cobrir toda a área de interesse foi distinta entre os mosaicos destas bandas. Outro problema observado durante a obtenção dos mosaicos e previsto na discussão do projeto, resultou da época de aquisição das imagens. Em alguns casos foi impossível balancear adequadamente as cores entre cenas utilizadas no mosaico, seja por terem sido obtidas em épocas com distinta pluviosidade e conseqüente resposta vegetal, seja por conterem efeitos atmosféricos tais como nuvens ou bruma, difíceis de compatibilizar entre cenas.

PRODUTOS LANDSAT

Os dados do sensor ETM+/LANDSAT-7 foram processados para (1) obter composições em cor real (bandas 321 em RGB) e falsa cor (457 RGB e 531 RGB) e assim realçar as fácies da Formação Serra Geral e estruturas geológicas, e (2) um produto de Análise de Componentes Principais para realçar superfícies ricas em óxidos-hidróxidos de ferro e argilo-minerais. Estas cenas foram processadas individualmente e reunidas em um único mosaico recortado segundo as cartas topográficas em escala 1:100.000. O mosaico da composição 457 RBG consta da figura 1.3.1.

1.4 PETROGRAFIA

Os trabalhos de campo e as análises litoquímicas revelaram a presença de três tipos distintos de magma, denominados de Paranapanema, Esmeralda e Pitanga, divididos em cinco fácies, as quais compõem a estratigrafia

da região. Cada unidade foi petrograficamente detalhada em cerca de 30 amostras, previamente analisadas quimicamente. De cada conjunto foram selecionadas amostras para análise sob Microscópio Eletrônico de Varredura, munido de EDS, com obtenção de imagens de *backscattering* de texturas e estruturas vulcânicas e estimativas composicionais das principais fases minerais.

1.5 GEOQUÍMICA DE SUPERFÍCIE

Dados analíticos de geoquímica de superfície foram obtidos a partir de 710 amostras de sedimentos ativos de drenagem, somados a 80 replicatas, e 121 concentrados de bateia, coletadas em quatro campanhas. A figura 1.5.1 mostra a distribuição da amostragem de sedimentos ativos de corrente e concentrados de bateia. Não foram amostrados os cursos d'água do Parque Nacional do Iguaçu, da Reserva Indígena de Rio das Cobras e, durante o período de chuvas, alguns rios de porte em regime de cheias. A amostragem foi executada por quatro equipes de oito técnicos da MINEROPAR, em estações pré-definidas pela CPRM e coordenadas por Carlos Alberto Kirchner (CPRM-PA) e Otavio Augusto Boni Licht (MINEROPAR).

1.6 GEOFÍSICA

Os dados envolvidos neste relatório são provenientes da integração dos projetos aerogeofísicos Borda Oeste da Bacia do Paraná (Bloco Leste/Sul) e Rio Iguaçu, cedidos pela CPRM ao LPGA/UFPR, cujos parâmetros básicos são descritos abaixo:

- 1) Projeto Borda Oeste da Bacia do Paraná (Bloco Leste/Sul), contratante e contratado Petrobras/Consórcio Encal/Lasa/Prospec, ano do levantamento 1989, altitude de vôo 1000 m, direção N-S e espaçamento das linhas 3.000 m.
- 2) Projeto Rio Iguaçu, contratante e contratado Petrobras/Consórcio CESP/IPT, ano do levantamento: 1980, altura de vôo 500 m, direção N-S e espaçamento das linhas 2.000 m.

1.7 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

Análises isotópicas pelos métodos Rb/Sr, Sn/Nd e Pb/Pb foram realizadas em 18 amostras de basaltos, das quais 5 pertencentes ao magma Esmeralda, 4 ao Pitanga e 9 ao Paranapanema. Análises de pelo método Ar/Ar foram realizadas em 5 amostras de fácies distintas.

1.1.8 RECURSOS MINERAIS

Na área foram cadastrados 93 locais de produção mineral distribuídos em 62 lavras de basalto como material de construção e pedra de talhe, 12 de areia, 12 de quartzo, 4 de argila, 2 de saibro e poço de água termal, e 4 ocorrências, sendo 2 de calcedônia, 1 de cobre e 1 de pirita.

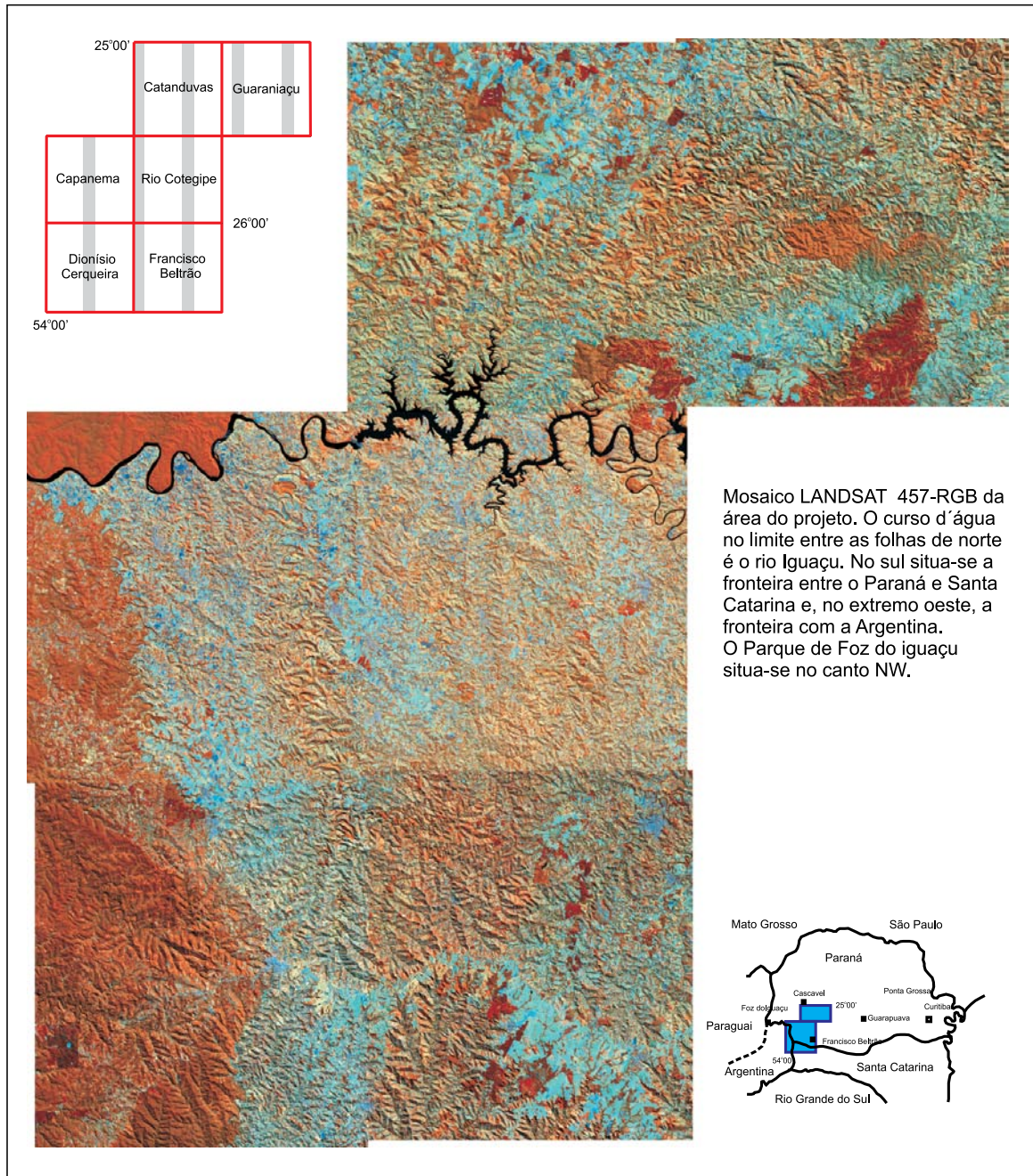
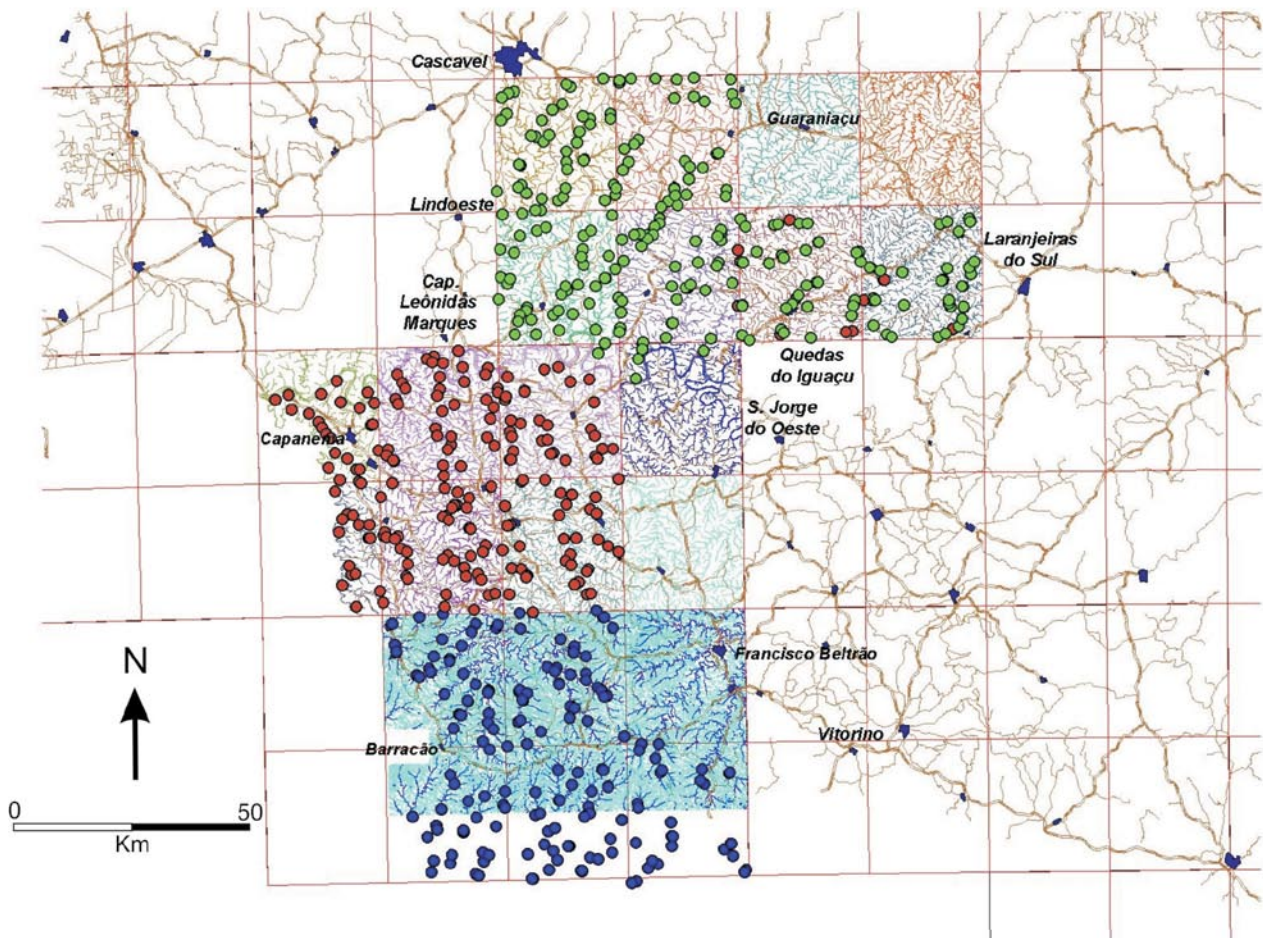
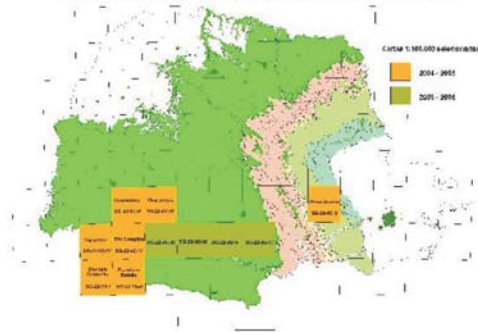


Figura 1.3.1. - Vista geral da fisiografia da área do projeto em mosaico LANDSAT-7 falsa cor 457-RGB.



Programa Mapeamento Geológico Sistemático do Estado do Paraná



Amostras de sedimentos de drenagem coletadas

- 1ª campanha:
229 sedimentos ativos de drenagem
20 concentrados de bateia
- 2ª campanha:
169 sedimentos ativos de drenagem
43 concentrados de bateia
- 3ª campanha:
153 sedimentos ativos de drenagem
17 concentrados de bateia

Figura 1.5.1. - Mapa dos pontos de coleta de sedimentos ativos de drenagem e concentrados de bateia, efetuados durante o projeto.

2 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA

Wilson Wildner
Edir Edemir Arioli

2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área do projeto localiza-se no extremo SW do estado do Paraná e NW do estado de Santa Catarina, junto à fronteira com a Argentina, e está limitada pelas

coordenadas 25°00' e 26°30' Sul e 52°30' e 54°00' Oeste. Abrange aproximadamente 14.400 km² e compreende as folhas em escala 1:100.000 de Catanduvas (SG.22-V-C-II), Guaraniagu (SG.22-V-C-III), Capanema (SG.22-V-C-IV), Rio Cotegepe (SG.22-V-C-V), Dionísio Cerqueira (SG.22-Y-A-I) e Francisco Beltrão (SG.22-Y-A-II). Inclui total ou parcialmente 46 municípios do estado do Paraná e 9 do estado de Santa Catarina (Fig. 2.1). O Parque Nacional do Iguçu se situa no canto NW da folha

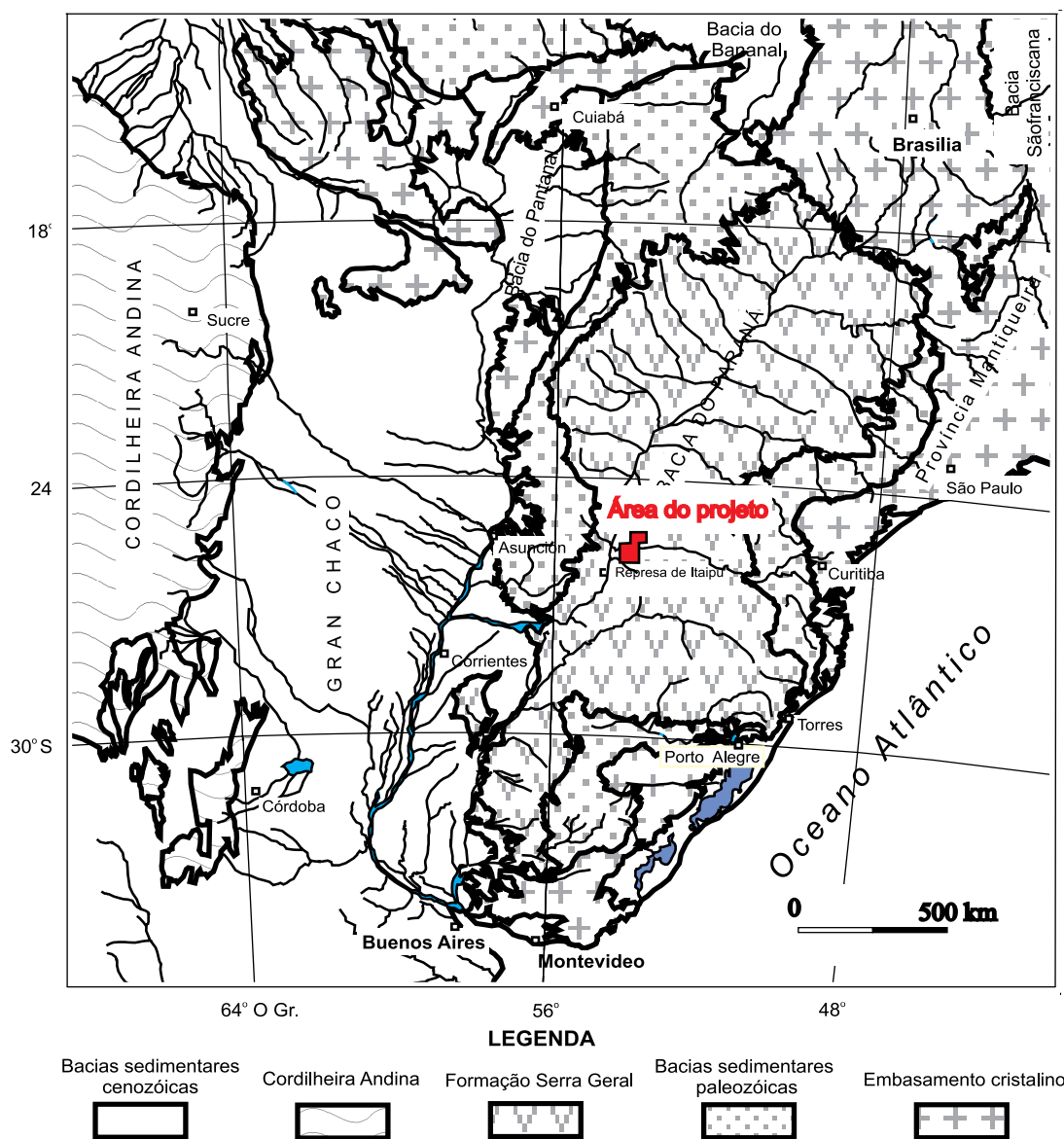


Figura 2.1 – Mapa de localização da área do projeto no contexto da Bacia do Paraná.

de Capanema e a Reserva Indígena do Rio das Cobras, na porção central da Folha de Guaraniaçu.

O principal acesso à área é a rodovia pavimentada BR-277, do porto de Paranaguá a Foz do Iguaçu, a qual atravessa a porção norte da mesma, aproximadamente segundo leste-oeste, e da qual derivam várias estradas, pavimentadas ou não, de acesso a todas as localidades da área. A área pode também ser acessada pelos aeroportos de Cascavel, Francisco Beltrão e Pato Branco, bem como pelo aeroporto internacional de Foz de Iguaçu, distante de cerca de 150 km de Cascavel, servidos por aeronaves comerciais.

2.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A ocupação da região abrangida pelo projeto iniciou a partir de 1930-1940 por imigrantes, principalmente de origens alemã e italiana, oriundos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e implantação de propriedades agrícolas familiares diversificadas. Em 2004, o IBGE estimou uma população de 478.000 habitantes a qual, nos últimos anos, decresceu devido à migração da população rural, principalmente para as regiões Centro-Oeste e Norte do país.

Sua economia e desenvolvimento social baseiam-se principalmente na agroindústria, com destaque para a agricultura, seguido da avicultura, suinocultura e, em menor escala, a pecuária de leite e a indústria extrativa vegetal. A agricultura é tanto extensiva, representada pelas culturas de milho, soja, trigo e feijão, quanto de pequenas parcelas com culturas de aveia, mandioca, fumo, erva-mate, cítricos e uva. Também merecem destaque a produção de mel, de casulos de bicho da seda e de lã. O setor secundário se destaca particularmente pela criação de aves e suínos, responsáveis por melhorias na qualidade de vida das populações locais,

geração de oportunidades de trabalho e fixação do homem na região.

2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A região se situa na unidade geomorfológica do Brasil Meridional denominada de Terceiro Planalto, sustentado por derrames basálticos do magmatismo Serra Geral. Na área do projeto as altitudes variam de 1.022 m no leste, região de Nova Laranjeiras (Folha Guaraniaçu), a 220 m no oeste, em direção ao rio Iguaçu, confluência com o rio Santo Antônio, na fronteira com a Argentina (Folha Capanema).

As principais unidades morfoestruturais foram modeladas por movimentos epirogenéticos e alternâncias climáticas durante o Neógeno, condicionadas pelo desenvolvimento do sistema hidrográfico do rio Paraná e seus afluentes (Moreira & Lima, 1977). O relevo é, em geral, ondulado a suavemente ondulado, sendo mais acidentado nas folhas Guaraniaçu e Catanduvas a norte, onde predominam as fácies vulcânicas Cordilheira Alta e Campo Erê. As encostas são em geral escalonadas, com raras escarpas, e os interflúvios planos, controlados pela sucessão de derrames basálticos. Em geral, a erosão incide sobre sucessivas superfícies horizontais controlados pela posição espacial dos derrames ou pelas fraturas típicas do topo ou da base dos mesmos.

Além do controle geomorfológico exercido pelos derrames, também há a influência de fraturas e falhas de NW-SE. Situada a sul do Arco de Ponta Grossa, a área estudada foi palco da influência daquela estrutura mediante a formação de um corredor de denso fraturamento SE-NW a E-W, o qual passou a controlar o curso inferior do Rio Iguaçu e de seus tributários. Neste contexto, a evolução fisiográfica da regional da área resultou na formação de uma ampla depressão central (Fig. 2.3). A depressão

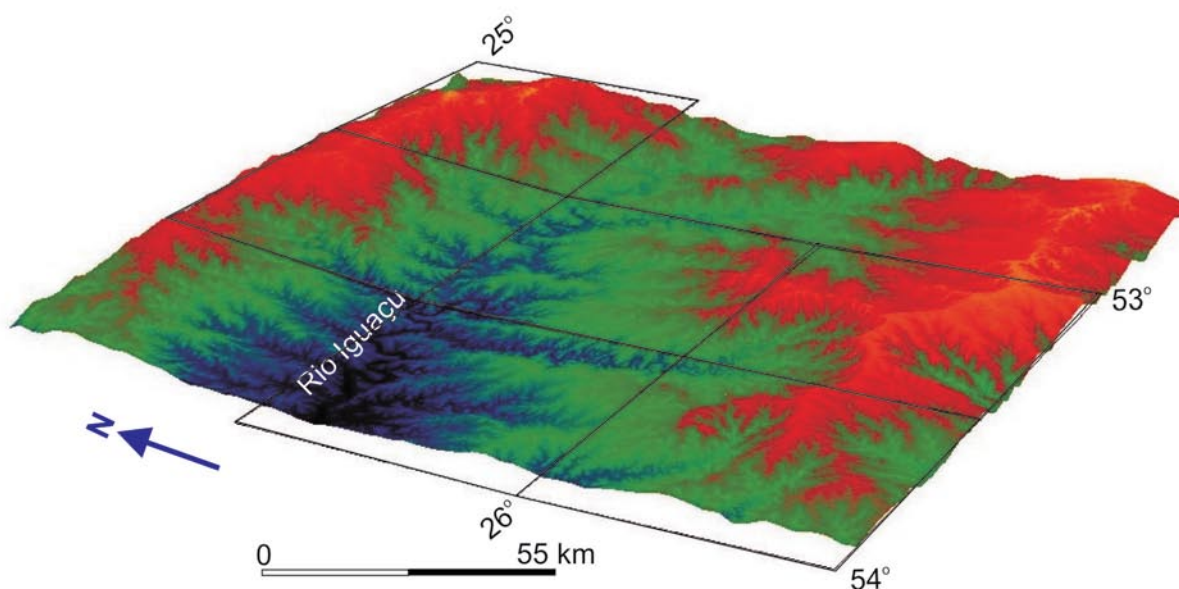


Figura 2.3 - Modelo digital de terreno (MDT) que mostra a natureza do relevo da área do projeto.

está marginada por altos topográficos que, no norte, se estendem de Cascavel a Guarapuava sob as denominações locais de serras do Passo Liso, do Cantagalo, de São João, da Boa Vista e da Esperança, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Piquiri. No sul, as feições positivas mais importantes são as serras do Capanema e de Palmas, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Uruguai. Na depressão central o curso do Rio Iguaçu provavelmente iniciou como *canyon* controlado por fraturas, o qual, no tempo, se expandiu por planação lateral e agregação de afluentes, até atingir, no panorama atual, a unidade ou fácies de basaltos localmente inferior, enquanto as ombreiras e serras de sul e norte expõem as unidades mais jovens.

2.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Hidrografia - As principais bacias hidrográficas da região compreendem as do baixo rio Iguaçu, a sul da área, e do Piquiri a norte, cujo divisor situa-se nas serras a norte da BR 277. O fluxo nos canais dos rios Iguaçu e Piquiri é controlado pelo declive do planalto para oeste, e os seus tributários pelo suave declive dos derrames de basalto locais. De modo geral, a drenagem instalada no Terceiro Planalto está organizada em sistema conseqüente, adaptado à estrutura centrípeta do substrato (Moreira & Lima, 1977).

Os rios são permanentes e seus vales estreitos e encaixados, com encostas abruptas. Em imagens LANDSAT, os canais têm aparência meandrante, mas a maioria está claramente controlado por falhas e fraturas. Estas, por seu turno, favorecem a formação de saltos e corredeiras, algumas aproveitadas para a instalação de hidroelétricas locais, como as dos Saltos Caxias e Santiago, no rio Iguaçu.

Devido à erosão de solos das encostas sustentadas por basaltos, as águas da rede de drenagem transportam volume considerável de sólidos, mas os depósitos aluvionares são restritos.

Clima - A posição da área do projeto, entre latitudes médias da zona subtropical, condiciona o clima como do tipo Temperado, domínio Mesotérmico Superúmido sem a estação seca das latitudes médias (Nimer, 1977), e se

caracteriza pela uniformidade. Segundo Galvão (1967) a região se enquadra, de acordo com a Classificação Bioclimática de Gaussen, em clima Mesaxérico (temperado), sub-região Hipomesaxérica, com temperatura dos meses mais frios entre 0° e 10°C. No Brasil, recebe a denominação de Clima Subtropical Brando, sem meses secos e índice xerotérmico zero, isto é, sem dias biologicamente secos.

Durante o inverno, em pelo menos um mês, a temperatura média é inferior a 15°C, e no verão pode atingir 38°C, típicos da posição subtropical da região. A média pluviométrica anual situa-se entre 1.500 mm e 1.750 mm, com concentração máxima durante novembro, dezembro e janeiro. Mesmo assim, nos demais meses a pluviosidade é uniformemente distribuída, não havendo períodos de seca significativa.

Vegetação e solos - Segundo Alonso (1977), a região se caracteriza por dois tipos de formações vegetais, isto é, a Floresta Subcaducifólia Subtropical, de cotas superiores a 600 m, e a Floresta Subcaducifólia Subtropical, de regiões mais baixas. Em ambas, a *Araucaria angustifolia*, ou Pinheiro do Paraná, é a espécie nativa característica e considerada relíquia florística. Ocorre associada, dentre outras espécies, particularmente à embúia (*Ocotea* sp.), canela (*Nectandra* sp.) e à erva-mate (*Ilex paraguayensis*). A Floresta Subcaducifólia das regiões mais baixas é de porte menor, com predomínio de elementos arbóreos com folhas de tamanho médio e pequeno.

Devido ao desmatamento nas últimas décadas, as florestas são cada vez mais escassas e foram substituídas por culturas de milho, soja, trigo e feijão. Em outros locais, como ao longo da BR-277, existem pastagens naturais, em geral de má qualidade, entremeadas com plantações de milho e soja. Atualmente, a maior expressão das matas nativas ocorre na Reserva Indígena de Rio das Cobras (Folha Guaraniaçu) e na área do Parque Estadual do Iguaçu (Folha Capanema).

Os solos na região são derivados dos basaltos da Formação Serra Geral e são, em geral, latossolos avermelhados com desenvolvimento diferenciado entre as unidades de basalto. São argilosos, pouco profundos sobre as fácies Cordilheira Alta e Nova Laranjeiras, e mais profundos sobre os basaltos da fácies Campos Novos.

Wilson Wildner
Edir Edemir Arioli
Otavio Augusto Boni Licht
Vicente Sérgio Costa
João Carlos Carrilho
Eduardo Gazzoli Longo
Sônia da Cruz Cantarino
Andréa Sander
Mônica Perrotta
Carlos Roberto de Souza Filho

3.1 BACIA DO PARANÁ

A Bacia Paraná é uma unidade geotectônica da porção centro-oriental da América do Sul e noroeste da Namíbia, possui cerca de $1,7 \times 10^6$ km², ocupa parte dos territórios do Brasil ($1,1 \times 10^6$ km²), Argentina, Uruguai, Paraguai e seu extremo NE (cerca de 5%) se situa no oeste da Namíbia, onde é denominada Bacia de Huab (Jerram *et al.*, 1999). Tem cerca de 1.900 km segundo N-S, entre as cidades de Durazno (Uruguai) e Morrinhos (MT), e largura aproximada de 900 km, entre as cidades de Aquidauana (MS) e Sorocaba (SP). O registro sedimentar e vulcânico tem espessura acumulada de cerca de 7.500 m, com início da deposição no Ordoviciano e término no Cretáceo, compreendendo um intervalo de 385 m.a. Fúlfaro *et al.* (1982) a classificam como intra-continental, cratônica, do tipo 2A Complexa (Klemme, 1980) e Pedreira *et al.* (2003) como Depressão Marginal que passa a Depressão Interior devido a obstrução da margem aberta (Kingston *et al.*, 1983).

Milani (1997) interpreta o registro sedimentar e ígneo da Bacia do Paraná como composto por seis superseqüências de segunda ordem (*sensu* Vail *et al.*, 1977), isto é, 1) Rio Ivaí, do Llandoveryano (Eossiluriano) ao Ordoviciano (Asghilliano-Caradociano); 2) Paraná, do Devoniano (Pragian - Frasniano); 3) Gondwana I, do Neocarbonífero (Westfaliano) ao Eotriássico (Scythiano); 4) Gondwana II, do Eoladiniano ao Eonoriano (Meso a Neotriássico); 5) Gondwana III, representada pelo conjunto vulcano-sedimentar Botucatu-Serra Geral; e 6) Bauru, depositado em discordância erosiva sobre as rochas vulcânicas da Superseqüência Gondwana III durante o intervalo do Eocretáceo (Aptiano) ao Neocretáceo (Maastrichtiano).

A espessura da Superseqüência Gondwana III, a qual ocorre na área mapeada, é da ordem de 1.750 m em seu depocentro e corresponde a intervalo de tempo de cerca de 22 m.a. Milani (1997) registra que o conjunto

3 GEOLOGIA E PETROGRAFIA

Botucatu-Serra Geral situa-se entre duas discordâncias regionais que caracterizam consideráveis lacunas no registro estratigráfico e de importante significado na história evolutiva da bacia.

A discordância basal da superseqüência Gondwana III é vasta superfície de deflação eólica que marca o limite do ciclo de sedimentação das superseqüências precedentes Gondwana II, restrita ao setor da bacia que se estende do Rio Grande do Sul ao Uruguai, e Gondwana I, no restante da bacia. Fruto de clímax da aridez no interior gondwânico, a discordância caracteriza prolongado período de interrupção da sedimentação associado ao rearranjo da morfologia da bacia (Pompeau *et al.*, 1985), o que favoreceu que camadas eólicas Botucatu se depositassem sobre as diversas unidades sedimentares precedentes, inclusive o embasamento.

O topo da superseqüência Gondwana III é a Formação Serra Geral, predominantemente vulcânica, e que marca expressivo episódio magmático eocretáceo relacionado com a ruptura do Continente de Gondwana e conseqüente abertura do Oceano Atlântico Sul. Apesar do contato entre as formações Botucatu e Serra Geral ser uma não-conformidade, a alternância entre arenitos eólicos e lavas, ao longo de certo intervalo estratigráfico, permite interpretá-lo como transicional, como referido, dentre outros, por Scherer (2002).

3.2 ORIGEM, EVOLUÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MAGMATISMO SERRA GERAL

A ruptura e separação do Gondwana durante o Cretáceo Inferior foi acompanhada por expressivo evento vulcânico que cobriu a porção centro-sul da América do Sul e o noroeste da Namíbia e formou a Província Ígnea Continental Paraná – Etendeka, uma das maiores províncias vulcânicas de basaltos de platô do planeta. Esta se relaciona, no tempo e no espaço, com a fragmentação do oeste gondwânico, ocasionada pela implantação da pluma mantélica de Tristão da Cunha, foco de geração e extração de magma (Hawkesworth *et al.*, 1992; O'Connor & Duncan, 1990; Gallagher & Hawkesworth, 1994).

As rochas do magmatismo Serra Geral, ou Formação Serra Geral, concentram-se na região centro-sul do Brasil e ao longo das fronteiras do Paraguai, Uruguai e Argentina e corresponde, assim, a $1,2 \times 10^6$ km² da Bacia do Paraná (Melfi *et al.*, 1988), com espessura máxima em torno de 1.720 m junto ao depocentro da bacia. A sucessão vulcânica é dominada por basaltos e basaltos andesíticos de filiação tholeiítica, com porções subordi-

nadas de riolitos e riodacitos, que, até o presente, perfazem área aflorante de 64.000 km², ou 2,5% do volume total de rochas vulcânicas da Bacia (Nardy *et al.*, 2001). O *gap* composicional entre basaltos e riolitos permite interpretar este vulcanismo como bimodal (Milner *et al.*, 1995), com o vulcanismo ácido restrito às regiões serranas do Rio Grande do Sul, centrada nos arredores de Caxias do Sul e Santiago, e entre as localidades de Palmas e Guarapuava, no Paraná.

A atividade vulcânica foi precedida da injeção de *sills* e diques ao longo das principais descontinuidades estruturais da bacia, relacionadas a braços abortados da junção tríplice situada sobre a pluma mantélica de Tristão da Cunha, e que atuaram como alimentadores do vulcanismo. As descontinuidades dominantes têm direção NW, transversal ao eixo maior da bacia, e estão hoje representadas por arcos (*e.g.* Ponta Grossa, Campo Grande e São Gabriel), e lineamentos tectônicos e/ou magmáticos (*e.g.* Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, e rios Uruguai, Icamaquã e Piquiri) (Ferreira, 1982a), cuja formação se iniciou provavelmente no Devoniano, com clímax no Triássico-Jurássico (Fúlfaro *et al.*, 1982).

Alguns elementos tectono-magmáticos mais significativos deste magmatismo estão conectados a um sistema de junção tríplice, com a formação de estruturas do tipo *rift-rift-rift* (Morgan, 1971; Rezende, 1972) decorrentes de extensão crustal intracratônica (Deckart *et al.*, 1998). O braço abortado projetado para o interior da bacia, formou sistemas de falhas e fraturas colaterais, em contraste com o *rift* Atlântico responsável pela abertura, fragmentação e separação dos fragmentos gondwânicos. As falhas são profundas e atuaram como condutos de enxames de diques NW-SE, transversais à costa atlântica e alimentadores do vulcanismo, e de enxames NE-SW, paralelos à costa e à direção de abertura do Atlântico, e de inúmeros *sills*. Estruturas transversais à costa mais significativas são os arcos de Ponta Grossa, que se manifesta por alto gravimétrico com cerca de 600 km de comprimento (Vidotti *et al.*, 1998), e de São Gabriel, com mais de 300 km, e que influenciaram a sedimentação na Bacia do Paraná desde o Devoniano.

3.3 ARCABOUÇO TECTONO-ESTRUTURAL DA BACIA DO PARANÁ

Linhas de fraqueza preexistentes no embasamento da Bacia do Paraná são elementos importantes durante a sua evolução, como mostram vários estudos tectono-estratigráficos recentes (Soares *et al.*, 1982; Zalan *et al.*, 1987; Mantovani *et al.*, 2001; Jerram & Widdowson, 2005). Quando reativados, estes lineamentos controlaram e determinaram a direção geral de falhas subseqüentes, como ocorreu durante a instalação da Bacia do Paraná sobre a Plataforma Sul-Americana. Sob estes controles, Fúlfaro *et al.*, (1982), interpretam o início da Bacia do Paraná como aulacógeno e Milani & Ramos (1998) como golfo aberto para o oceano Pantha-

lassae que passou, com o tempo, para uma depressão intracratônica do Gondwana.

No final do Siluriano e início do Devoniano, o soerguimento do Arco de Assunção seccionou o limite entre o cráton e a faixa andina ativa. A reativação dos aulacógenos intracratônicos acentuou a compartimentação da Bacia do Paraná a partir do Permo-Triássico. O soerguimento de faixas ativas daquela época, como os Andes meridionais, restringiu severamente as bacias gondwânicas. Algumas áreas situadas entre lineamentos manifestaram tendências positivas (Fig. 3.3.1), como a situada entre os rios Alonzo e Piquiri, na área deste projeto, e relacionada ao Arco de Porta Grossa (Teixeira, 1982). O soerguimento compartimentou a bacia em setores com diferentes taxas de subsidência no Triássico-Jurássico. Durante o Jurássico-Cretáceo, a alimentação do vulcanismo foi controlada pelas fraturas que balizavam os antigos *riffts* aulacogênicos do embasamento pré-siluriano (Fúlfaro *et al.*, 1982).

Boa parte da problemática no estudo e entendimento da origem da Bacia do Paraná advém da precária visualização do arcabouço profundo da região denominada "calha central", ao longo do eixo do Rio Paraná (Milani, 2004). Segundo o autor, a existência de um "rifte central" que acomoda as sucessões sedimentares iniciais da Bacia do Paraná ganhou mais confiabilidade com o trabalho de integração regional de Marques *et al.* (1993).

O "rifte central" (Fig. 3.3.2) se manifesta como proeminente depressão pré-devoniana, demarcada geograficamente pelo eixo da bacia de drenagem do Rio Paraná e registrada em levantamentos regionais de gravimetria, magnetometria, sísmica de reflexão e pela sucessão litoestratigráfica em sondagens profundas (Marques *et al.*, 1993).

Por outro lado, a ruptura do Gondwana ocidental deixou importantes marcas na Bacia do Paraná. Como fenômeno em escala litosférica, o Rifting Sul-Atlântico envolveu profundamente o embasamento da sinéclise, com reativação de antigas suturas, criou novos conjuntos de falhas e fraturas e propiciou a injeção e o extravasamento de consideráveis volumes de magmas máficos. Dentre as novas estruturas se destacam faixas de extensos lineamentos NW-SE, com marcada expressão em mapas magnéticos e dados sísmicos, como no domínio do Arco de Ponta Grossa (Fig. 3.3.1), a qual se projeta continente adentro a partir do Platô de São Paulo, e que refletem a atuação de campos tensionais ligados à ruptura continental eocretácica sobre a Bacia do Paraná.

3.3.1 ANÁLISE DE LINEAMENTOS MORFOESTRUTURAIS

O mapa tectono-estrutural elaborado pela Paulipetro Fúlfaro *et al.*, 1982; Ferreira, 1982b) traz uma ampla visão da Geologia da Bacia do Paraná e mostra que a sua compartimentação se estabelece preferencialmente segundo NE e NW (Fig. 3.3.2, localmente E-W, dada por lineamentos ou zonas de fraturas reconhecíveis em

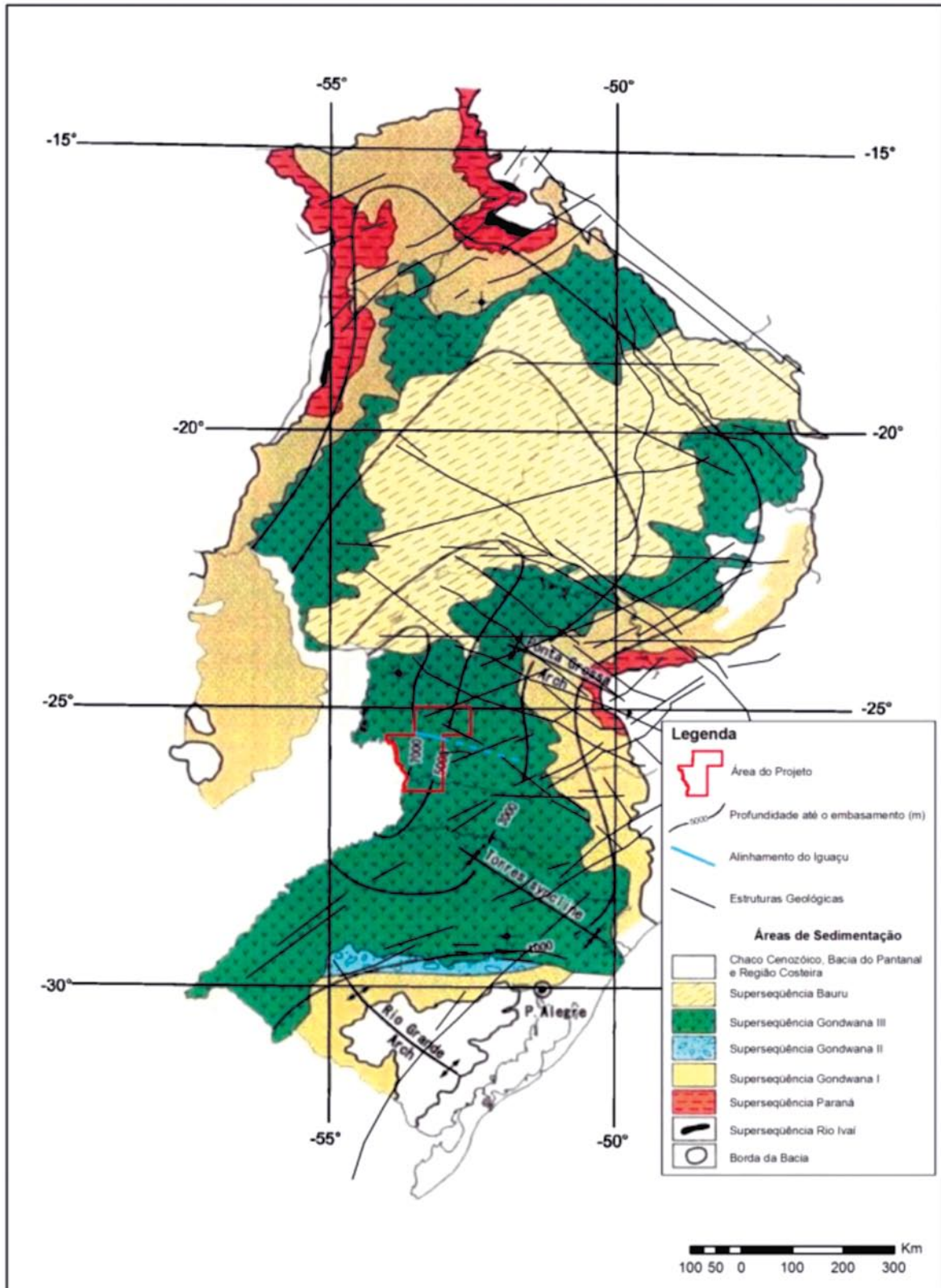


Figura 3.3.1. – Mapa geológico-estrutural simplificado da Bacia do Paraná. Adaptado de Milani et al. (1995).

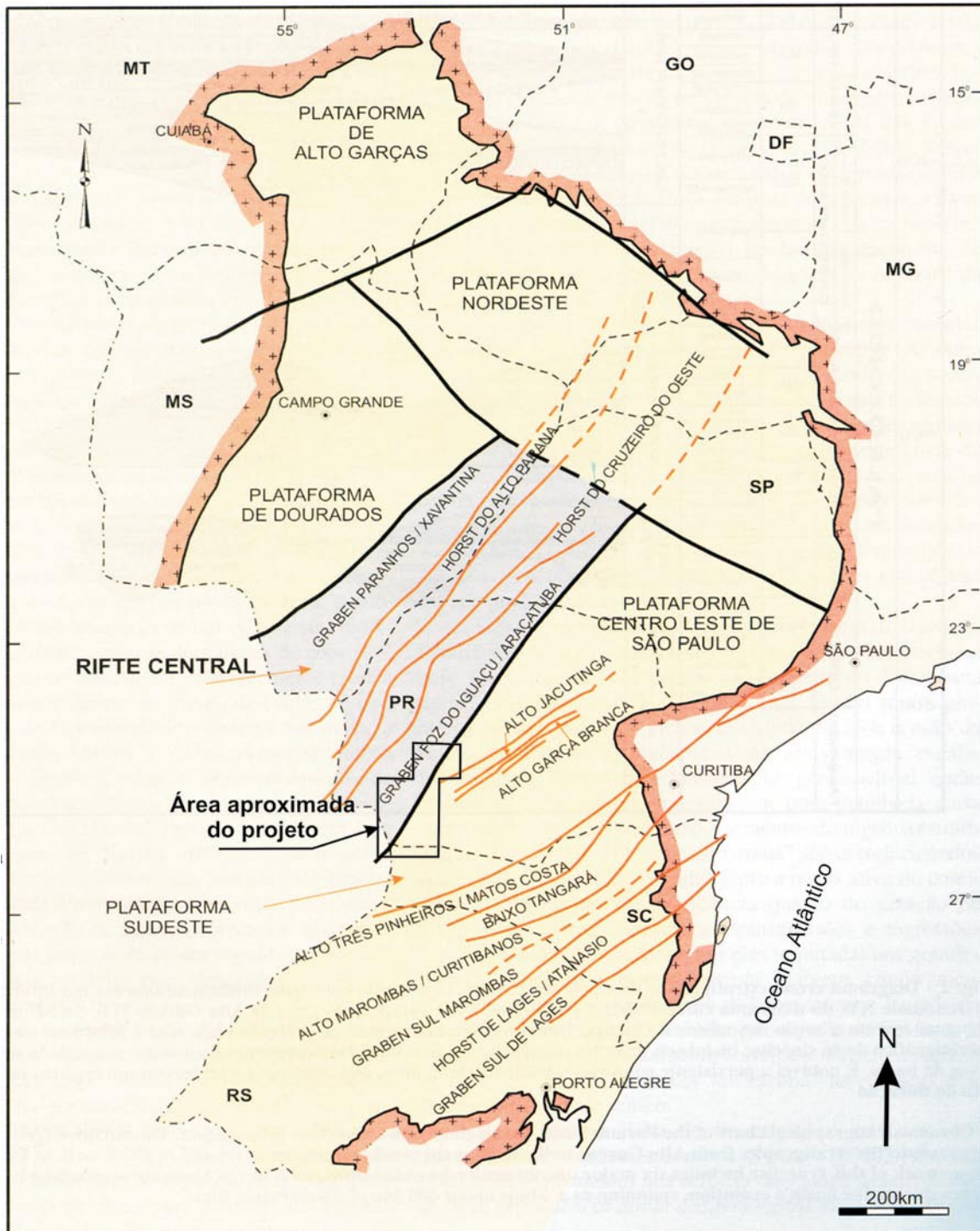


Figura 3.3.2 - Detalhe do mapa geológico-estrutural da Bacia do Paraná com os principais alinhamentos tectônicos da área do projeto e posição do "rift central". Modificado de Fúlvaro et al. (1982).

levantamentos aeromagnéticos e imagens de satélite e radar. A análise de imagens LANDSAT e radar realizadas por Soares et al. (1982 apud Zalán et al., 1990) resultou na identificação de corredores com alta densidade de lineamentos, um segundo NW (de N25° a 65°W) e dois segundo NE (N35°E e N60°E). Para os autores, as direções

NW representariam zonas de fraqueza do embasamento, densamente injetadas por diques básicos, em contraste com as de direção NE, as quais somente possuem enxames de diques fora da Bacia do Paraná, na Serra do Mar, paralelos à costa sudeste do Brasil (Valente et al., 2005; Almeida et al., 2005), na região costeira de Santa

Catarina, com direção N-S e N 30°-40°E predominantes (Morgental & Kirchner, 1983).

Ao avaliarem e interpretarem os principais elementos tectônicos da Bacia do Paraná, Zalán *et al.* (1990) também reconhecem três grupos de lineamentos, de orientação NW-SE, NE-SW e E-W. Segundo os autores, os dois primeiros são as direções mais importantes e podem ocorrer como falhas simples ou zonas de falhas com centenas de quilômetros de comprimento e algumas dezenas de quilômetros de largura. Já os lineamentos E-W estariam provavelmente relacionados com a abertura do oceano Atlântico, devido ao seu paralelismo com zonas de fraturas do assoalho oceânico. Os dois sistemas tectônicos principais (NW-SE e NE-SW) reativaram as antigas linhas de fraqueza e compartimentaram a porção norte da Bacia do Paraná, em especial o estado de São Paulo, em mosaico de *grabens* e com *horsts* mergulhantes para o interior da bacia (Fúlfaro *et al.*, 1982).

A interpretação de dados geofísicos em escala de bacia efetuadas por Marques *et al.* (1993), revelaram a presença de anomalias gravimétricas e magnetométricas NE-SW persistentes em toda a área da bacia, provavelmente relacionadas à estruturação do embasamento. Dados de sísmica de reflexão também detectaram estruturas segundo NE-SW que configuram calhas na região central

da bacia, que os autores denominam de *Rift Central*, e que alojam o pacote sedimentar pré-devoniano.

Para Almeida *et al.* (2005), grandes províncias basálticas como as do Paraná e Etendeka, sudoeste da África do Sul, foram geradas durante o desmembramento do Gondwana. Os autores interpretam os diques tholeiíticos de direção NE ou NNE (Florianópolis e Serra do Mar) como paralelos ao *rift* atlântico e os de direção NW ou NNW (Ponta Grossa, Resende e Vitória), transversais à bacia do Paraná, como partes de braços abortados do *rift* atlântico.

Ao interpretarmos imagens LANDSAT e de radar na escala de trabalho da área do projeto também identificamos as três direções principais (NW, NE e E-W) referidas na literatura. Contudo, as mais proeminentes têm direção NW e, dentre estas, se destaca o Lineamento do Rio Iguaçu (Fig. 3.3.3), o qual aloja espessos diques de diabásio. A área do projeto situa-se próximo do limite sul do Arco de Ponta Grossa o qual, durante a primeira fase da Reativação Wealdeniana, foi reativado vigorosamente soerguido, o que possibilitou a geração de extensas falhas trativas ao longo e às margens de lineamentos. Isto favoreceu a injeção de possantes enxames de diques de diabásio (Ferreira *et al.*, 1984), interpretados como alimentadores do vulcanismo da Bacia do Paraná. Neste contexto, a área mapeada limita-

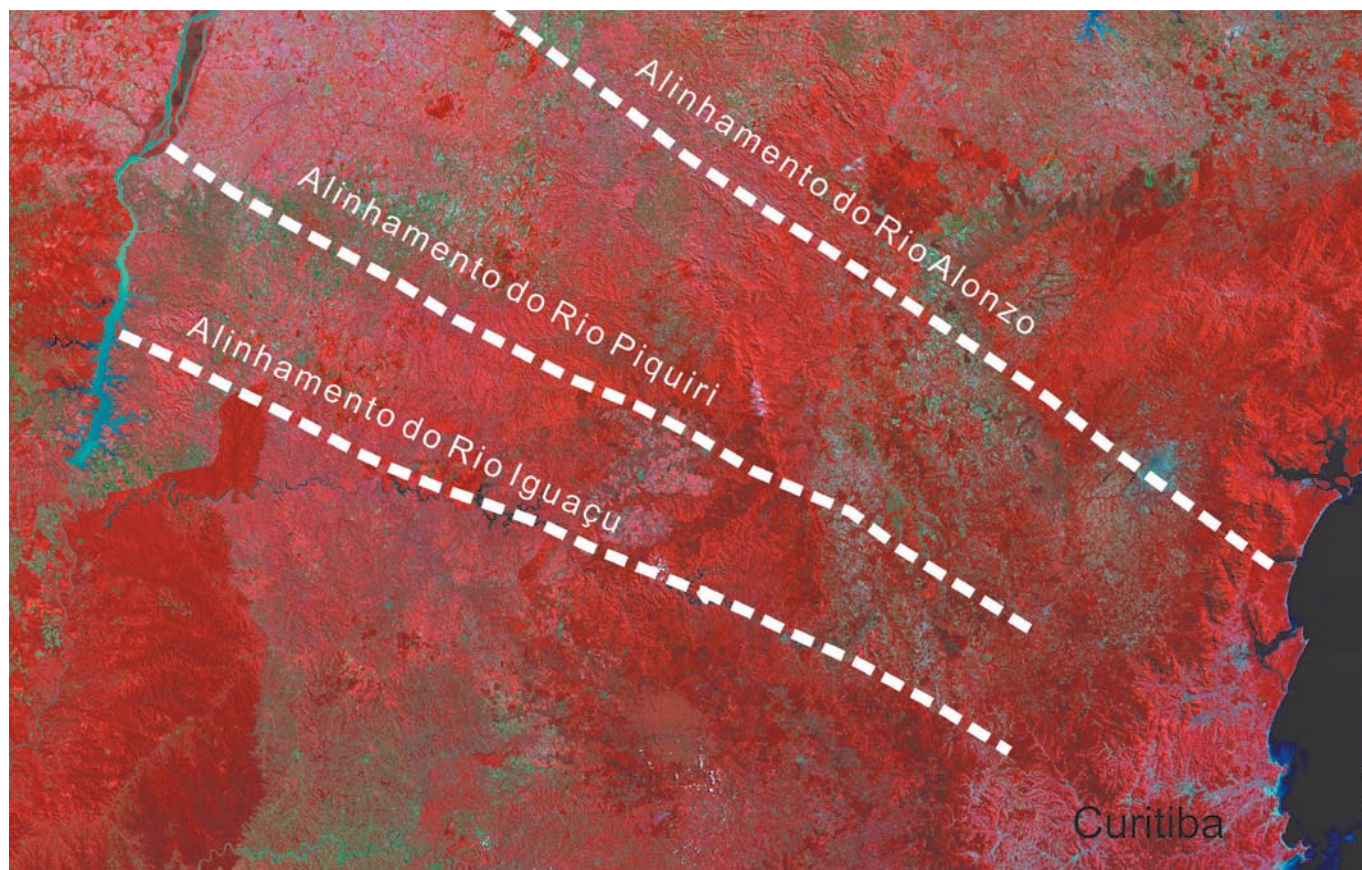


Figura 3.3.3. – Imagem LANDSAT TM-234 da região do Arco de Ponta Grossa, onde estão assinalados alguns dos principais alinhamentos tectônicos.

se pelos alinhamentos do Rio Piquiri, a norte, e do Rio Uruguai, a sul. O alinhamento do Rio Piquiri sustenta altos topográficos que se estendem de Cascavel a Guaparuva sob as denominações locais de serras do Passo Liso, do Cantagalo, de São João, da Boa Vista e da Esperança, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguazu e Piquiri. No alinhamento do Rio Uruguai, as feições positivas mais importantes são as serras do Capanema e de Palmas, divisores das bacias hidrográficas dos rios Iguazu e Uruguai. A serra de Capanema tem direção geral E-W, mas segue localmente o alinhamento do rio Iguazu, localizado na parte central da área.

3.4 CRITÉRIOS DE DIVISÃO ESTRATIGRÁFICA

As variações composicionais, as características texturais e o arranjo entre derrames e intrusivas da bacia têm estimulado a contínua concepção da estratigrafia do magmatismo Serra Geral, tanto em áreas específicas, onde esta tem sido razoavelmente solucionada, quanto em relação ao magmatismo como um todo. O conhecimento estratigráfico abrangente é crítico para o entendimento do magmatismo e de sua variação durante a evolução da província, das estruturas que controlaram sua geração, concentração, canalização e extração de magma a partir de fonte mantélica, e do arranjo espacial e temporal do preenchimento da bacia.

A seqüência estratigráfica de parte do vulcanismo Serra Geral aqui proposta se fundamenta em critérios múltiplos de identificação faciológica, estruturas e texturas dos diferentes campos e lagos de lava e dados litoquímicos e geocronológicos. Estes critérios permitiram otimizar a cartografia das rochas vulcânicas da área.

A interpretação de imagens LANDSAT, perfis magnetométricos regionais, levantamentos de campo, estudos petrográficos, dados de química mineral e de litoquímica convencional possibilitaram dividir o magmatismo Serra Geral da área mapeada em cinco fácies de rochas vulcânicas básicas. A nomenclatura proposta é informal e detalhamentos cartográficos futuros certamente resultarão na caracterização de subdivisões internas adicionais do pacote vulcânico.

O intervalo vulcânico estudado se localiza próximo ao depocentro da Bacia do Paraná. Sua espessura estimada é de 1.175 m, determinada a partir das cotas dos afloramentos (entre 240 m a 985 m) e a sondagem 2-LSst-1-PR realizada pela PETROBRAS na cidade de Laranjeira do Sul, no limite centro-leste da carta de Guaraniaçu. A sondagem iniciou na cota de 842 m e se estendeu até 1.030 m, além do contato entre a Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu. Da espessura estimada, aproximadamente 745 m foram investigados em afloramentos. O intervalo compõe-se de derrames basálticos, meso a melanocráticos cinza-escuros a pretos, finos, afíricos e com teores de SiO_2 entre 45 e 52% e Fe_2O_3 entre 13 e 17%, de afinidade tholeiítica. Apesar da semelhança mesoscópica e da pequena variação composicional entre derrames, determi-

nados conjuntos possuem características que permitem distinguí-los entre si. Mesmo assim, a maior dificuldade na subdivisão estratigráfica do pacote da área reside na ausência de níveis-guia, a exemplo das lavas ácidas de outras regiões, que permitam acompanhar a continuidade lateral de derrames individuais ou de conjuntos com características mesoscópicas distintivas. Talvez este tenha sido o motivo pelo qual a Formação Serra Geral, topônimo empregado originalmente por White (1908) e convertido em unidade litoestratigráfica formal por Almeida (1964) tenha sido, até a última década, subdividida apenas em basaltos, riólitos e riólitos pórfiros.

A par da aparente semelhança entre derrames, os critérios sugeridos, dentre outros por Self *et al.* (1997), Hooper (1997) e Tolan *et al.* (1989), auxiliaram na separação faciológica e cartografia geológica, e que compreendem:

- a** - padrão de vesiculação
- b** - estilos de juntas, disjunções e entablaturas
- c** - processos geradores de cavidades e minerais de preenchimento
- d** - formas e cores de alteração
- e** - características petrográficas e composições minerais
- f** - estruturas superficiais de derrame e formas de contato
- g** - estrutura interna dos derrames
- h** - características litoquímicas de núcleos de derrames
- i** - relações estratigráficas entre derrames.

Estes critérios foram complementados com observações geológicas convencionais tais como relações estratigráficas entre conjuntos de derrames, presença de intrusões, rochas piroclásticas e depósitos sedimentares interderrames, determinadas a partir de definições de relações de contato, posição topográfica relativa e análise de imagens de sensoriamento remoto. A estes critérios somaram-se a presença de (1) horizontes sedimentares intertrápicos com características particulares, de espessura desde centimétrica até 20 m, cujo significado geológico reside na quiescência do vulcanismo durante certo intervalo de tempo e criação de paleorelevo entre seqüências de derrames e (2) horizontes de lavas com autobrechas e lavas em bloco, cujos limites podem ser traçados ao longo de vários quilômetros. Um apanhado geral das estruturas e texturas de cada fácies consta da Tabela 3.4.1 e Figura 3.4.1.

Se, por um lado, um determinado conjunto litológico possui características próprias que favorecem a definição estratigráfica, por outro, um complicador reside nas intercalações de derrames com características distintas do pacote, o que dificulta, muitas vezes, definir contatos com precisão na escala de trabalho empregada. Amostras de detalhe em afloramentos e em furos de sondagem têm extensivamente revelado a presença de intercalações de lavas com características geoquímicas distintas daquelas do pacote hospedeiro, como também revelam os estudos de divisão litoquímica realizados por Peate

Tabela 3.4.1. – Comparação das texturas e estruturas mais importantes na definição estratigráfica entre as unidades de derrame cartografadas.

| Unidade estratigráfica | Campo Eré | Cordilheira Alta | Campos Novos | Capanema | Laranjeiras |
|-----------------------------------|--|--|---|---|--|
| Espessura | 25-40m | 5 a 40m, lóbulos decimétricos | 10 a 25m | 10 a 15m | 25 a 35m |
| Forma de derrame | Alto volátil, fluxos inflados, compostos, pahoehoe, superfícies em corda, lavas em bloco | Alto volátil, fluxos inflados, compostos, pahoehoe, superfícies em corda (*) , lavas em bloco | Baixo volátil, fluxo simples | Alto volátil, fluxo inflado, pahoehoe | Baixo volátil, fluxo simples |
| Preenchimento de cavidades | Carbonatos, celadonita , zeolitas, Cu nativo | Carbonatos, celadonita , zeolitas, Cu nativo | Carbonato, quartzo, opala (*) , Cu nativo (esporádico) | Carbonato, zeolitas, celadonita, Cu nativo | Quartzo hialino (*) , ametista , celadonita zonada, carbonatos |
| Disjunção/ entablatura | Disjunções irregulares, blocos decimétricos a métricos, fácies curvilíneas concavo-convexas | Disjunções irregulares, blocos métricos, fácies curvilíneas concavo-convexas (*) | Grandes blocos regulares (*) , faces retas, blocos métricos a decamétricos | Disjunções irregulares, blocos métricos, fácies curvilíneas concavo-convexas | Blocos irregulares finos, formas pseudohexagonais, entablatura centimétrica, vergamentos por fluxo, formas de leque (*) |
| Vesículas | Densamente vesiculados (*) , textura diktaxítica comum, pipes normais | Densamente vesiculado, pipes | Vesiculação muito baixa | Vesiculado, pipes esporádicos | Baixa vesiculação, vesículas maiores, mineralizações de quartzo hialino e ametista |
| Alterações | Cinza a cinza-avermelhado, aspecto de sedimento (*) , blocos sem arestas nítidas | Vermelho amarronado | Amarelo ocre característico (*) | Vermelho amarronado com predomínio de tons esverdeados | Vermelho escuro a bordô (*) , aparência metálica |
| Presença de pegmatitos | Esporádicos | Em vênulas irregulares tipo boxwork | Horizontes decimétricos frequentes | Horizontes ou manchas métricas | Ausentes |
| Rocha / textura | Hipocristalinos, microfanerítica cinza | Hipocristalinos, microfanerítica cinza | Microfanerítica sacaróide, preta | Hipocristalinos, microfanerítica cinza | Hipohialinos, aspecto vítreo, brilho resinoso (*) |
| Sedimentos intertrápicos | Com intercalações | Intercalações frequentes (*) | Ausentes | Com intercalações esporádicas | Ausentes |
| Brechas e peperitos | Alto volátil, fluxos inflados, pahoehoe, superfícies em corda, lavas em bloco | Muito alto | Muito baixo a ausente | Alto volátil, fluxo inflado, pahoehoe | Muito baixo |

(*) Detalhes na Figura 3.4.1

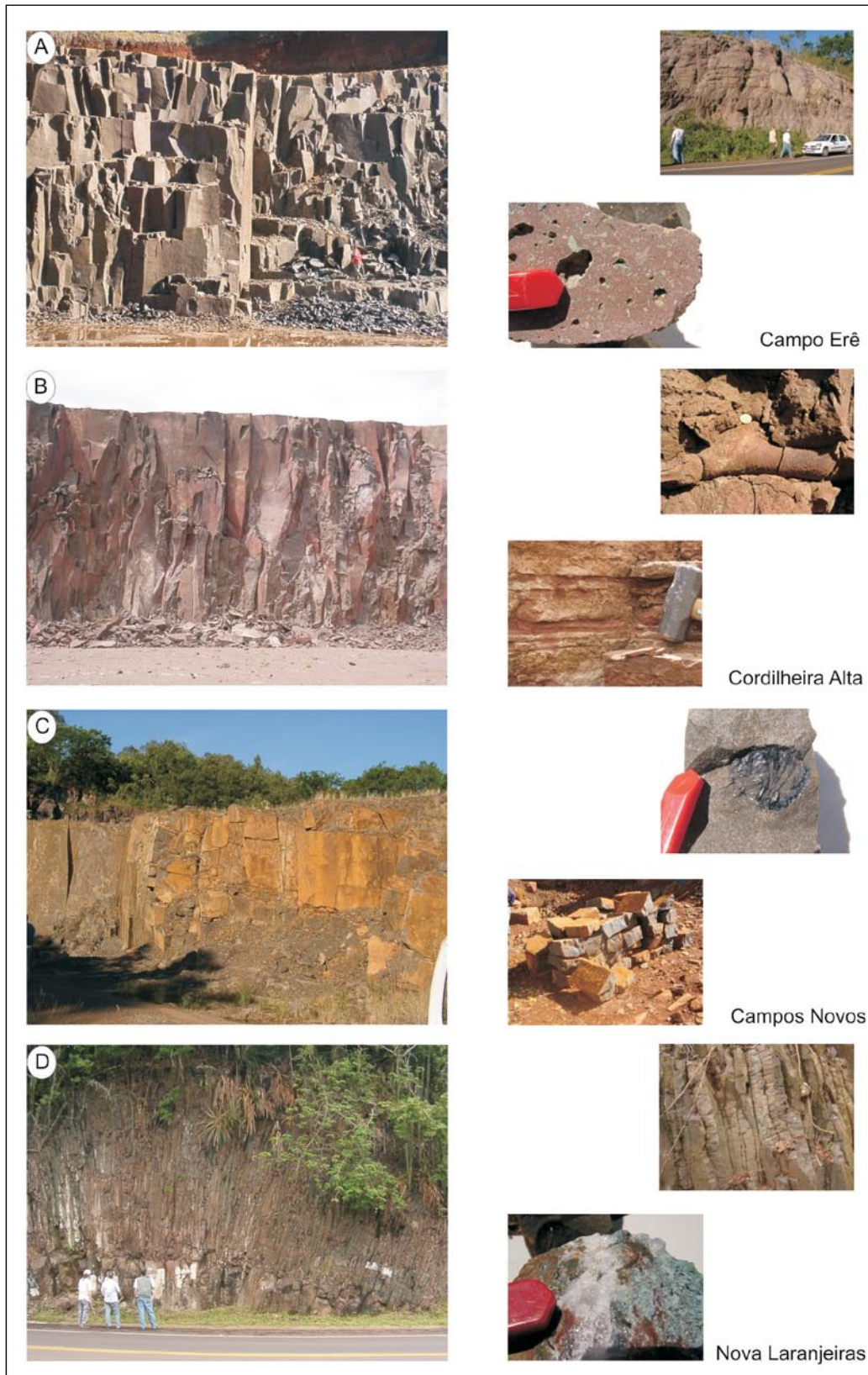


Figura 3.4.1. – **A**-Afloramento da pedra da prefeitura de Palma Sola (escala pessoa no canto inferior direito da foto); **B**-Bancada com cerca de 15 m da pedra PAVIMAR, entre Santa Tereza do Oeste e Lindoeste (PR-182); **C**-Bancada com cerca de 15 m da pedra entre Salto do Lontra e Nova Prata do Iguaçu; **D**-Corte de estrada entre Cantagalo e Virmond (BR 277).

et al. (1992), ou Peate *et al.* (1999) e Gomes (2000). Cartografia levada a este detalhe, com representação de todas as intercalações, somente será alcançada mediante extensivos trabalhos de detalhe, como os realizados por Hooper (1997), Tolan *et al.* (1989), e Reidel & Hooper (1989) na Província Vulcânica de Columbia River e que permitiram identificar e cartografar dois grupos, cinco formações e 18 membros na seqüência de lavas.

Na região estudada, o ideal para a definição detalhada da estratigráfica seria cartografar derrames individuais, como realizado na província de Columbia River (Tolan *et al.*, 1989), mas isto requer escala de mapeamento próxima ou inferior a 1:50.000 (Szubert *et al.*, 1979). Devido à extensão da área, dos objetivos do projeto e da falta de dados geocronológicos, optou-se por separar conjuntos de derrames cujas características permitissem reconhecê-los em áreas mais extensas. Contudo, os derrames, quer individuais quer conjuntos, não têm distribuição homogênea, o que impôs arbitrar que unidades de regiões distintas da área fossem sincrônicas, como sugerem Freitas *et al.* (2002), mas isto não assegura a correlação estratigráfica.

Portanto, a nomenclatura estratigráfica utilizada no projeto baseou-se em subdivisões estratigráficas prévias acrescidas de unidades específicas para a área trabalhada, com indicação dos tipos litoquímicos de magmas. Os topônimos empregados ainda não tem conotação estratigráfica formalizada e a correlação entre as novas unidades e as anteriormente propostas requer maior detalhamento.

3.5 NOMENCLATURA

No decurso da descrição das características físicas das unidades de derrames da seqüência estratigráfica da região empregou-se alguns termos, cuja definição segue as propostas de Self *et al.* (1997) e Budkewitsch & Robin (1994). Seu emprego se baseia na simplicidade e na habilidade de transmitir conceitos relevantes ao entendimento dos processos de erupção em grandes províncias de basaltos.

Campo de lavas e fluxo de lavas - um campo de lavas é composto pelos produtos de uma única erupção, a qual pode resultar em um ou mais fluxos de lavas de características químicas próprias, apesar da possibilidade de ocorrer variações composicionais durante a erupção.

Lóbulos de lava - pacote de lavas capeado por uma única crosta de resfriamento. Um fluxo composto por apenas um lóbulo é designado de *fluxo de lava simples* e com dois ou mais lóbulos é um *fluxo de lava composto*.

A estrutura mais comum de fluxos individuais compreende disjunções colunares, centimétricas a métricas, resultantes de contração durante a resfriamento da lava. Fluxos com disjunções colunares apresentam juntas com terminação em "Y" que se estendem lateralmente e que são distintivas entre um derrame e os

sotopostos e sobrepostos, pois retratam regimes distintos de resfriamento. A nomenclatura das disjunções empregada na descrição das unidades segue a proposta por Budkewitsch & Robin (1994) e compreende:

Entablatura - conjunto cerrado de fraturas de resfriamento, centimétricas a decimétricas, quase hexagonais, com colunas sub-verticais regulares, curvas, dobradas ou em leque, geradas por resfriamento rápido.

Colunado - colunas grossas, decimétricas a métricas, quase hexagonais, dispostas da base ao topo dos fluxos de lava, sub-verticais, não bifurcadas ou que não são interrompidas no encontro com outras juntas, geradas por resfriamento tabular.

Juntas de propagação - fraturas centimétricas a decimétricas transversais às faces das colunas e geradas pela propagação das fraturas de resfriamento paralelas à migração das isotermas durante o resfriamento em direção ao centro do derrame.

3.6 ESTRATIGRAFIA DO VULCANISMO

A primeira divisão estratigráfica da Formação Serra Geral, quando foram identificados os primeiros derrames ácidos na mesma deve-se a Guimarães (1933). Entretanto, somente na década de 1970, com a adoção de abordagens geoquímicas, petrogenéticas e isotópicas regionais, é que se evidenciou a heterogeneidade do vulcanismo da província, o que ensejou sugestões de compartimentá-la (Pacca & Hiodo, 1976; Ernesto *et al.* 1979). O volume de dados analíticos cresceu significativamente na década de 1980 e culminou com as obras de Fúlfaro *et al.* (1982) e de Piccirillo & Melfi (1988) a qual reúne uma coletânea das informações até então não divulgadas e dados inéditos sobre o tema. A esses se somam contribuições geocronológicas K-Ar (Erlank *et al.*, 1988), Ar-Ar (Renne *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1993; Stewart *et al.*, 1996; Renne 1997), paleomagnéticas (Ernesto & Pacca, 1988) e geoquímicas e interpretações petrogenéticas (Bellieni *et al.* 1984a; Mantovani *et al.* 1985a,b; Fodor *et al.* 1985a,b; Hawkesworth *et al.* 1988; Gallagher & Hawkesworth, 1994; Peate, 1997) sobre o magmatismo Serra Geral e interpretações sobre a fonte deste magmatismo (Marques *et al.*, 1993; Comin-Chiaromonti *et al.*, 2006).

Bellieni *et al.* (1984b) individualizaram os primeiros conjuntos litológicos com a caracterização química das unidades ácidas, sua divisão nos tipos Palma e Chapecó, e a distribuição geográfica das rochas básicas. Segundo os autores, na porção setentrional da província, a norte do Lineamento Rio Piquiri, predominam tipos básicos de alto-Ti e vulcânicas ácidas do tipo Chapecó, já a sul do Lineamento do Rio Uruguai prevalecem basaltos de baixo-Ti, vulcânicas ácidas do tipo Palmas e, em posição intermediária, ocorre uma associação mista. Roisenberg (1989) apresentou a cartografia das rochas vulcânicas da porção meridional da bacia e as separou em básicas, intermediárias e ácidas dos tipos Palmas e Chapecó. A

cartografia realizada por Roisenberg (1989) foi estendida por Nardy *et al.* (2001) para a porção centro-sul da bacia e por Marcus Freitas *et al.* (2002) para o oeste de Santa Catarina, com a caracterização e detalhamento dos diferentes litotipos definidos por Bellieni *et al.* (1986).

Na região a sul da área mapeada, situada no oeste de Santa Catarina, o magmatismo Serra Geral ocorre sobre o depocentro da Bacia do Paraná e onde Freitas *et al.* (2002) cartografaram sete unidades de lava com intercalações de horizontes sedimentares e depósitos vulcanoclásticos. A inexistência de informações sobre correlações regionais das unidades definidas e cartografadas em outras porções da bacia, nos levou a optar pela correlação, com adaptações, das unidades da área deste projeto com as cartografadas por Freitas *et al.* (2002) e com as quais há certa continuidade, como consta da Figura 3.6.1. Assim, a sucessão estratigráfica proposta para a área estudada compreende as seguintes fácies de vulcânicas básicas, dispostas da base para o topo:

- Fácies Nova Laranjeiras
- Fácies Capanema
- Fácies Campos Novos

- Fácies Cordilheira Alta
- Fácies Campo Erê

Além destas, também ocorrem intercalações de depósitos piroclásticos e rochas sedimentares interderames, diques, soleiras e pegmatóides gabróicos.

3.6.1 FÁCIES NOVA LARANJEIRAS

Esta fácies ocorre no extremo NE e no canto SE da carta de Guaraniaçu, região próxima da localidade de Rio Bonito e das cidades de Nova Laranjeiras e Rancho Queimado. Aflora nas cotas mais baixas da região e é o campo de lavas da base do pacote litoestratigráfico da região. Exposições típicas ocorrem nos extensos cortes da rodovia BR-277 entre as cidades de Cantagalo e Virmond (a leste da área do projeto), entre a localidade de Bela Vista e Diamante do Sul, e no entorno das cidades de Laranjeiras do Sul e Rio Bonito do Iguaçu.

Os campos de lava de fluxo simples desta fácies têm 25 a 35 m de espessura e podem conter lóbulos superpostos e fluxos compostos de 2 a 5 m e que contêm 4 ou mais lóbulos. A base é normalmente irregular e marcada por intervalos com densa vesiculação e

| | | Oeste de Santa Catarina | Sudoeste do Paraná | |
|-----------|-----------------------|---|---|---|
| CENOZÓICO | | Depósitos aluvionares atuais - cascalhos, areias grossas a finas, inconsolidados de canais e de planícies de inundação. | | |
| | MESOZÓICO Cretáceo | Superior | Basaltos Campo Erê - basaltos intercalados com sedimentos epiclásticos finos, arenitos, conglomerados e brechas peperíticas. Basaltos Cordilheira Alta - basaltos típicos com derrames espessos, por vezes vítreos e microvesiculares, apresentando na porção basal da unidade arenitos "intertraps". | Fácies Campo Erê - derrames do tipo composto, pahoehoe, alto volátil, formando fluxos inflados com texturas de superfícies em corda, tubos e lóbulos de lavas. Espessa porção de topo altamente vesiculada, onde são comuns lavas em bloco e brechas autoclásticas. Disjunções de faces curvilíneas côncavo-convexas e alterações dos sedimentos, cinza a vermelho-acastanhadas. Fácies Cordilheira Alta - derrames do tipo composto, pahoehoe, alto volátil, formando fluxos inflados com texturas de superfícies em corda, tubos e lóbulos de lavas. São comuns lavas em bloco, brechas autoclásticas e a presença de intercalações sedimentares. |
| | | Intermediária | Ácidas Chapecó - dacitos, riodacitos e traquitos porfíricos assentados sobre arenitos "intertraps" e autobrechas. Ácidas Palmas/Caxias - riolitos e riodacitos afíricos com disjunção horizontal e feições de fluxo bem pronunciadas. | |
| | | Inferior | Basaltos Campos Novos - basaltos e basalto andesítico constituídos por espessos derrames. Dacitos Machado - dacitos afíricos com coloração cinza-esverdeada, intercalando zonas amigdaloidais ricas em calcita. Basaltos Alto Uruguai - basaltos típicos de derrames espessos com freqüentes autobrechas no topo. | Fácies Campos Novos - Derrames tipo baixo volátil, formando fluxos normais simples, homogêneos, porção vesicular pouco desenvolvida, disjunção regular formando blocos métricos de faces retas, textura microgranular, vesículas com opaia características e alterações amarelo-ócre. Litologicamente basaltos hipocristalinos. Fácies Capanema - derrames do tipo composto, pahoehoe, alto volátil, formando fluxos inflados com texturas de superfícies em corda, lóbulos superpostos, autobrechas e lavas em bloco. Presença de intercalações sedimentares e pegmatóides gabróicos comuns. Fácies Nova Laranjeiras - Derrames tipo baixo volátil, fluxos normais simples, homogêneos, porção vesicular bem desenvolvida contendo quartzo hialino e ametista, disjunção regular fina e entablatura em blocos decimétricos de faces pseudo-hexagonais, textura hipohialina, alterações em óxidos de ferro de aspecto metálico. |

Figura 3.6.1. – Coluna geológica do projeto Sudoeste Paraná, comparada com a coluna da região Oeste de Santa Catarina (modificado de Freitas *et al.*, 2002).

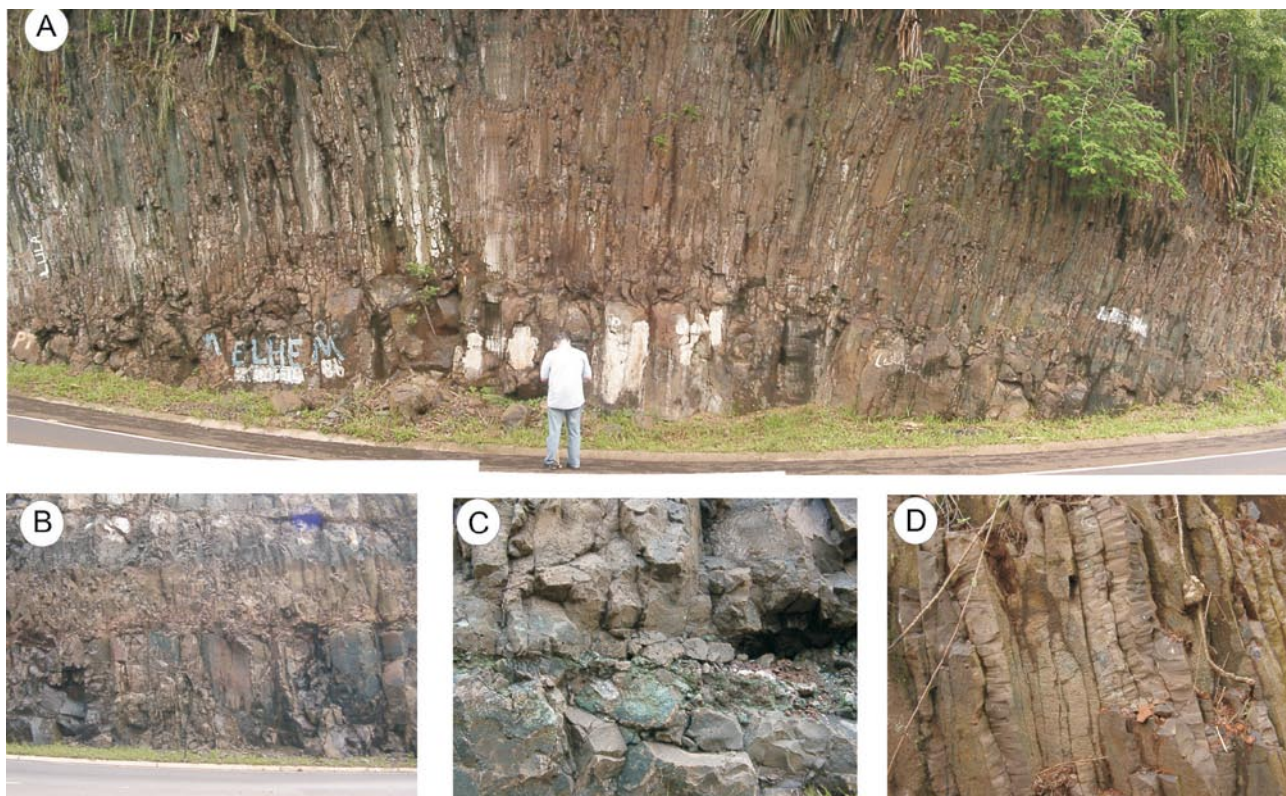


Figura 3.6.2 – Afloramentos típicos da Fácies Nova Laranjeiras. **A** - Corte da estrada entre Cantagalo e Virmond (BR-277) com disjunção colunar em forma de leque, gradualmente mais grossa para a base; **B** - Corte de estrada com cerca de 12 m de altura, entre Laranjeiras do Sul e Nova Laranjeiras (BR-277), onde ocorre a superposição de três lóbulos de lava formando um fluxo composto; **C** - detalhe da zona de contato entre lóbulos do afloramento anterior onde ocorre concentração de quartzo hialino e celadonita e **D** - detalhe das disjunções colunares do afloramento acima (A) contendo fraturas de avanço perpendiculares as colunas, (escala no canto inferior direito da foto, marreta com cabo de 25 cm).

contatos com segregação de sílica. Afloramento típico é o corte da BR-277 situado entre Laranjeiras do Sul e Nova Laranjeiras (Figs. 3.6.2b e c), onde ocorrem 4 lóbulos superpostos.

A porção central de cada fluxo ocupa cerca de $\frac{3}{4}$ do mesmo. É maciça, de baixa vesicularidade e sua particularidade, única na região, reside em disjunções colunares homogêneas, com entablatura centimétrica a decimétrica normalmente curvilínea, em forma de leques ou com dobras de fluxo, de base normalmente mais espessa que o topo. As colunas têm seção geralmente hexagonal, de 25 a 30 cm próximo à base e de 5 a 10cm próximo ao topo, e faces com juntas de propagação (Jagla & Rojo, 2002), milimétricas a centimétricas e perpendiculares (Figs. 3.6.2a e d). Considerando que a formação de juntas colunares é função da transferência térmica do derrame por condução e convecção, e que o diâmetro das colunas é inversamente proporcional à taxa de resfriamento (Budkewitsch & Robin, 1994), supomos que dentre as unidades da área, esta é a que apresentou a maior taxa de resfriamento.

A porção superior é definida por juntas prismáticas centimétricas, juntas horizontais e aumento da vesicu-

laridade. As vesículas são centimétricas a decimétricas e estão normalmente preenchidas por quartzo hialino, celadonita, calcedônia zonada e, por vezes, ametista. Geodos com ametista, que localmente se concentram em horizontes métricos, são comercialmente extraídos por garimpeiros, como na região a leste de Dois Vizinhos, no rumo de São Jorge D'Oeste e próximo à ponte sobre o Rio Chopim. Os geodos são decimétricos e possuem borda centimétrica de calcedônia zonada atapetada por quartzo hialino e ametista pálida de baixa qualidade. Afloramento com horizonte vesicular bem desenvolvido e contendo geodos decimétricos de contorno irregular, preenchidos por calcedônia e quartzo hialino com terminações de ametista pálida e de fraca coloração, como ocorre no piso do sangradouro da barragem de Salto Osório.

Os basaltos desta fácies são pretos, com topos hipohialinos (50-90% vítreos) e porções centrais hipocristalinas (10-50% vítreos). Seu aspecto geral é vítreo, de brilho resinoso e se altera para fino filme cinza acastanhado a avermelhado de aparência metálica. Em lâmina delgada apresenta textura glomeroporfirítica dada por agregados de microfenocristais de plagioclásio

e clinopiroxênio de 1 a 3 mm em matriz vítrea. Acessórios compreendem apatita, titanomagnetita, ilmenita e eventual olivina. O plagioclásio é andesina-labradorita (An_{46-56}), os cristais têm contornos definidos e íntegros, são maclados e possuem zonação direta e oscilatória. Os cristais de clinopiroxênio são comumente zonados, com núcleo de pigeonita e borda de augita, como melhor observado em imagem de MEV (Fig. 3.6.3). Feições de rápido resfriamento são comuns, tais como piroxênio *branching* e opacos dendríticos e cruciformes.

A matriz está, em geral, devitrificada e é fracamente anisotrópica, fibro-radiada, alaranjada ou verde (Figs. 3.6.4c e d) e com freqüentes cavidades, quer na forma de vesículas centimétricas a milimétricas, arredondadas a sub-arredondadas, quer como textura dictitaxítica. Quando preservada é escura e isotrópica (Figs. 3.6.4a e b) e ocasionalmente contém cristálitos, possivelmente de plagioclásio e clinopiroxênio. Quando apenas restrita aos interstícios de plagioclásio e piroxênio, contém diminutos cristais de olivina parcial a totalmente substituída por boulingita.

3.6.2 FÁCIES CAPANEMA

Esta fácies aflora nas porções mais baixas das folhas da porção oeste do projeto, principalmente nas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, estendendo-se ao longo da calha do rio Guarani, a leste de Três Barras, em Cruzeiro do Iguaçu, nos arredores de Francisco Beltrão e no acesso à barragem de Salto Caxias. Afloramentos típicos ocorrem nas pedreiras de Capanema e Francisco Beltrão e ao longo de extensos cortes de estrada entre Quedas do Iguaçu e Cruzeiro do Iguaçu. Neste percurso aflora o contato com a Fácies Campos Novos, exposta na região de Quedas do Iguaçu, sobreposto à fácies Capanema, próximo à ponte sobre o rio Iguaçu e ao longo da sua calha.

A unidade sustenta relevo de vertentes convexas, interflúvios largos e terraços suaves. A rede de drenagem é dendrítica, com boa integração e densidade média.

Campos de lava de fluxo simples têm de 20 a 30 m de espessura, com freqüentes lóbulos superpostos ou fluxos compostos nas porções distais dos derrames (Fig. 3.6.5a), onde os conjuntos de lóbulos variam de 30–40

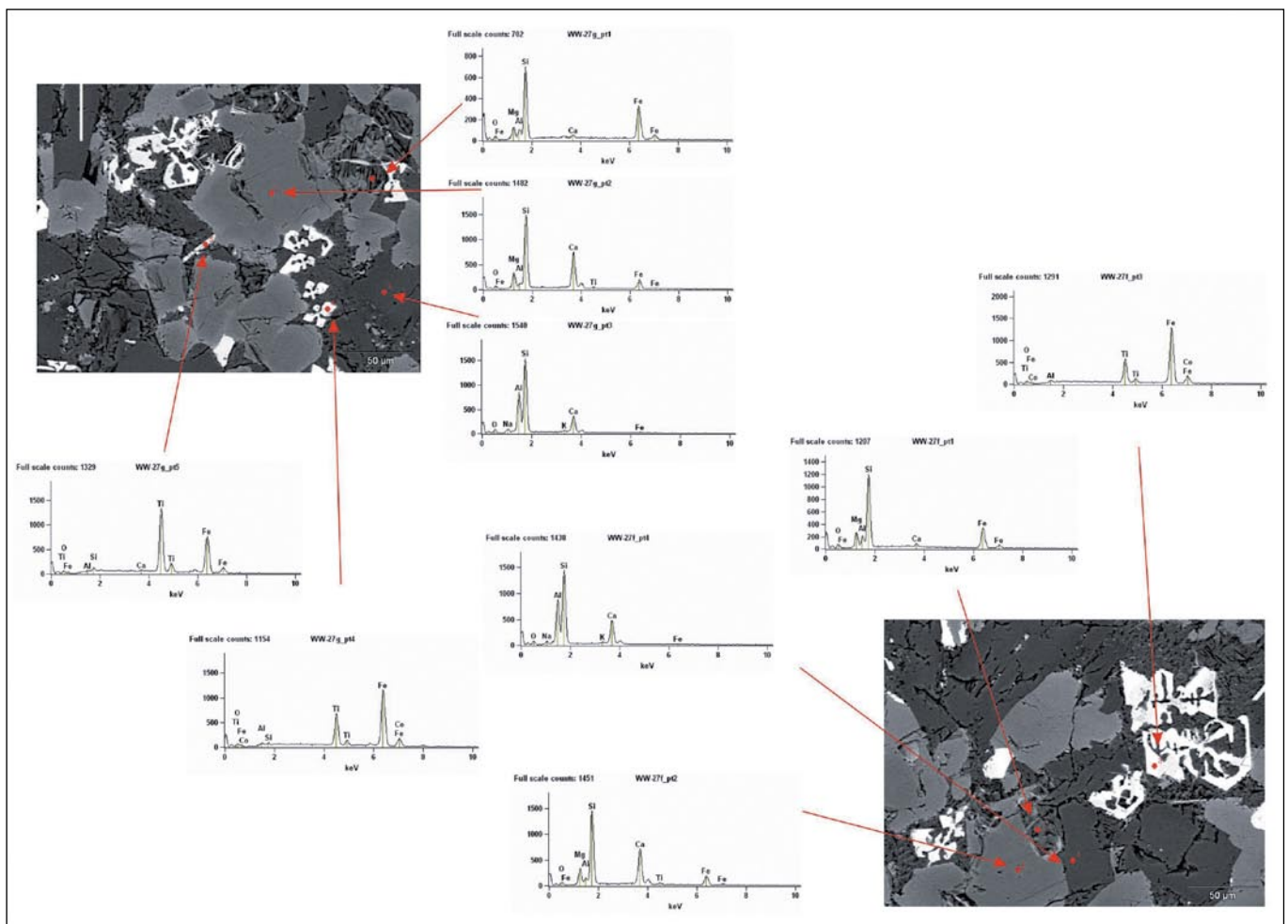


Figura 3.6.3 – Imagens de MEV e indicação de composição mineralógica de amostra da Fácies Nova Laranjeiras. Destaca-se a zonação do par augita – pigeonita e a característica cruciforme dos opacos.

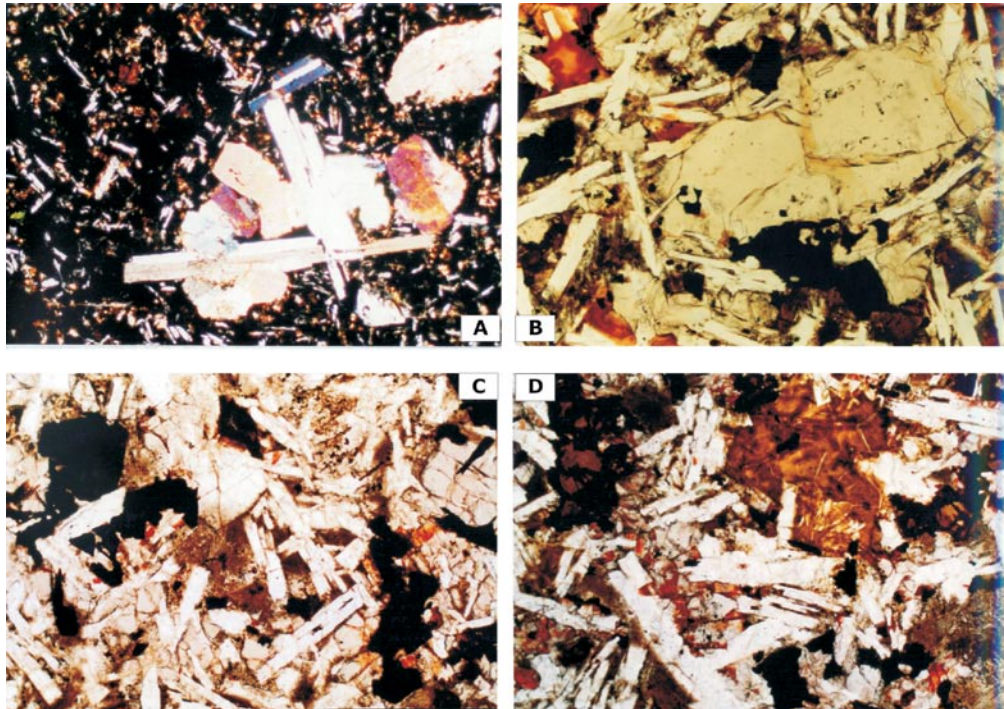


Figura 3.6.4. – Fotomicrografias da amostra SC-61 (Fácies Nova Laranjeiras), **A** - glômeros de plagioclásio e clinopiroxênio (até 2mm) em matriz vítrea; 10x LP; **B**- amostra WW-27a contendo fenocristais de clinopiroxênio (1mm) e matriz intergranular e intersertal, com domínios alaranjados isotrópicos e domínios microcristalinos ricos em cristálitos triquíticos (porção inferior direita da fotomicrografia) e olivina pseudomorfizada por opacos e boulingita verde (porção superior esquerda da fotomicrografia), 10x LN.

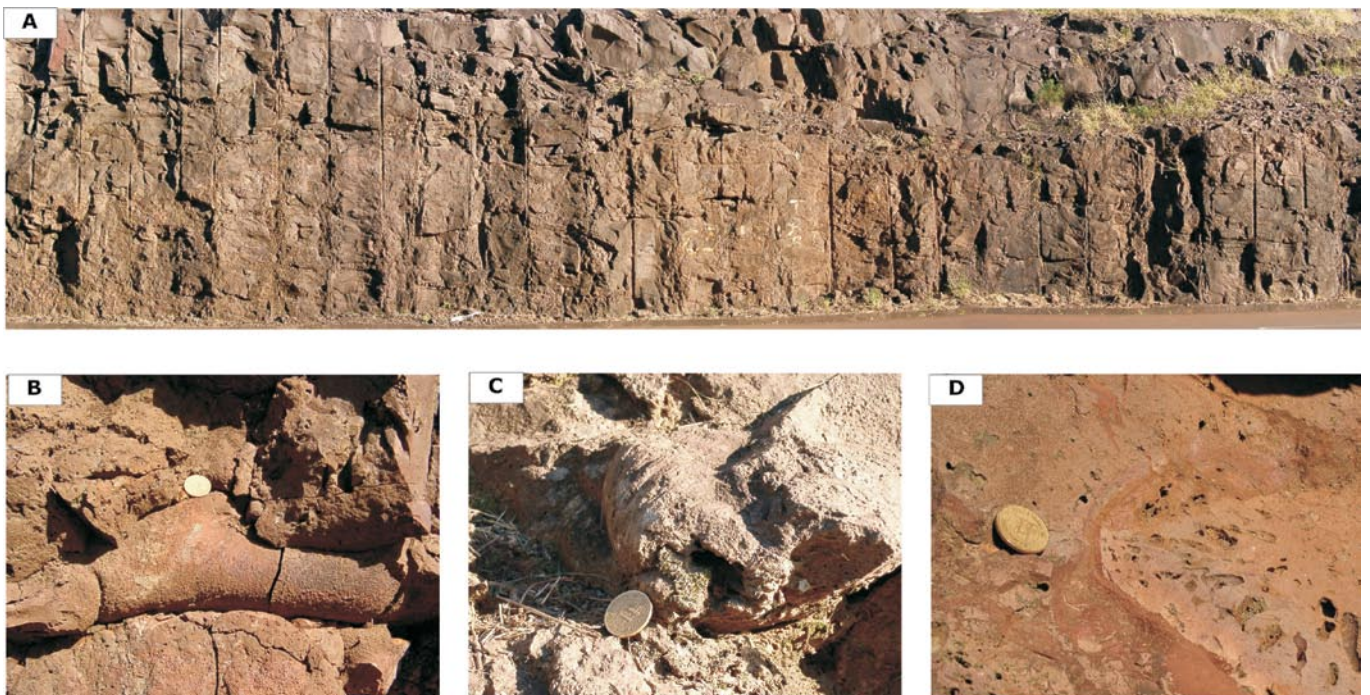


Figura 3.6.5. Afloramento em trecho da estrada entre Pérola do Oeste e Consolândia, com cerca de 70m de extensão e 25m de altura, onde **A** - Superposição de fluxos de lava onde o superior é composto por fluxo simples, maciço, com disjunção colunar, superposto a conjunto de lóbulos de fluxo inflado composto (detalhes na Fig. 3.6.6.); **B** - Detalhes das superfícies de topo de lóbulos com estruturas em corda, por vezes ocas (**C**), e com frentes de vesículas na forma de pipe (**D**).

cm até 5 m, cujas bases são irregulares e marcadas por zonas de alta taxa de vesiculação (Fig. 3.6.6). Normalmente as vesículas da base têm forma de *pipe*, freqüentemente vergadas por fluxo, o que pode ser utilizado como indicador de topo e base. A base dos fluxos simples é normalmente marcada por nível vesicular de 20 cm a 50 cm de espessura, disjunção tabular irregular assimétrica e em contato gradacional rápido para as porções centrais. Estas perfazem cerca de 60 a 70% da espessura, são maciças, com disjunção colunar grossa e irregular de seções transversais poligonais, forma heterogênea, com 0,5 m a 2 m de largura e limitadas por fraturas verticais irregulares curvilíneas. O padrão poligonal irregular grosso, de baixa maturação (Budkewitsch & Robin 1994), significa prolongado e heterogêneo período de resfriamento, responsável pelas faces curvas e heterogêneas das colunas. Por outro lado, o topo é caracterizado por horizonte com textura esponjosa e intensa vesiculação, o que denota maior concentração de voláteis do que na base. Particularmente nas porções distais, a zona de topo contém estruturas de corda e festões em corda, escórias (Figs. 3.6.5b, c e d) e tubos de lava, característicos de derrames submetidos à intensa desgaseificação (inflados) do tipo *pahoehoe* e compostos predominantemente de lóbulos do tipo P (Hon *et al*, 1994; Waichel, *et al*, 2005).

Os basaltos dominantes desta fácies variam de afíricos a microfaneríticos a fracamente porfiríticos, localmente faneríticos médios a grossos nas porções centrais, mesocráticos, cinza, cinza-esverdeados a marrom-avermelhados quando alterados. Contêm horizontes vesiculares bem desenvolvidos, principalmente no topo dos derrames, com vesículas comumente marginadas por agregados de plagioclásio e preenchidas por carbonato, zeólitas e celadonita, a qual empresta aos horizontes um tom verde-azulado. Cobre nativo e cuprita em lamelas milimétricas a centimétricas, comumente dendríticas, são comuns em fraturas da disjunção colunar das porções centrais.

Em lâmina delgada as texturas variam de microgranular, intergranular porfirítica e glomeroporfirítica. Seus constituintes essenciais compreendem plagioclásio e clinopiroxênio, e os acessórios são quartzo, apatita, titanita e magnetita. O espaço intergranular está normalmente preenchido por vidro intersertal com cristálitos de plagioclásio e óxidos e hidróxidos de ferro.

O plagioclásio é andesina (An_{30-42}), ocorre em fenocristais maclados de até 1,5 mm com bordas difusas por corrosão e estão em geral orientados, sugestivo de textura de fluxo. O piroxênio, raramente glomeroporfirítico, ocorre em fenocristais da ordem de 1 mm ou como constituinte da matriz em cristais inferiores a 0,5 mm. Os cristais são, em geral, zonados, com núcleo escuro, oxidado e de relevo elevado, em contraste com as bordas límpidas e de relevo menor, também presente como glóbulos na matriz. Resultados analíticos de MEV permitiram identificar o núcleo como pigeonita e a de borda e os glóbulos como augita. As mesmas imagens

também revelaram que o piroxênio do núcleo é um intercrescimento de lamelas de orto e clinopiroxênio. Dados de MEV dos minerais opacos, menores do que 0,5 mm, revelaram tratar-se de magnetita e ilmenita.

A variação das proporções entre plagioclásio e piroxênio indicam que a composição dos derrames varia entre basalto e basalto andesítico.

No intervalo entre derrames desta fácies é comum a presença de peperitos, ou brechas peperíticas que,



Figura 3.6.6. – Detalhe do arranjo de lóbulos superpostos aflorantes entre Pérola do Oeste e Consolândia (Fig. 3.6.5) e que compõem fluxo inflado do tipo *pahoehoe*. Notar a freqüência de vesículas do tipo *pipe* ancoradas na base de alguns lóbulos, que podem servir como indicadores de topo e base.

segundo White *et al.* (2000), resultam da interação entre a base de derrames e sedimentos impregnados com água. O primeiro registro sobre a ocorrência de diques de arenito e brechas nos basaltos do Rio Paranapanema deve-se a Pichler (1952). O autor as descreve como formadas por blocos angulosos de basalto em matriz arenítica e atribuiu sua gênese à interação de magma bastante fluido com areia possivelmente saturada de água. A presença de brechas basálticas em pedra do Parque Nacional do Iguazu, próximo a Cascavel, foi descrita por Schneider (1970), que interpreta os fragmentos de basalto amigdalóide como piroclastos. Em trabalhos realizados no Noroeste do Estado de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná, Marimon *et al.* (1982) descrevem com detalhe as brechas vulcânicas e chamam a atenção para a abundância de afloramentos e a sua extensão e espessura a qual, localmente, atingiria até 15 m. Licht & Arioli (2000) mencionam as brechas e as classificam como brechas de fluxo e aglomerados vulcânicos e reiteram a importância da sua ocorrência. A primeira classificação destas brechas como peperitos deve-se a Wildner (2002), as quais foram posteriormente detalhadas por Waichel *et al.* (2005) na região de Cascavel e classificadas como peperitos empacotados, com descrição de suas relações estratigráficas com os derrames da região, caracterização de sua distribuição regional e estratigráfica e interpretação dos processos e ambientes de formação. Os níveis de peperito são lenticulares, horizontais e sua frequência vertical em pelo menos 400 m da coluna estratigráfica, entre as cotas de 450 e 850 m, atesta a sua importância no contexto da Formação Serra Geral. Correspondem ao tipo 2 de Waichel *et al.* (2005), mas diferem na maior espessura, entre 1 m e 12 m, com maior frequência de 4 m a 8 m, em estreita associação com derrames lobados.

Segundo as proporções entre clastos e matriz, Hanson & Wilson (1993) dividem os peperitos em empacotados e dispersos. Seções completas na região mapeada contêm, com frequência, um horizonte basal

de peperito disperso com matriz siltosa e sem fragmentos, seguido do tipo empacotado com venulações de quartzo.

As características da matriz e dos fragmentos não variam de forma sistemática entre os horizontes. Estes, por sua vez, não se repetem sistematicamente na escala regional. Os horizontes individuais têm espessura decimétrica a métrica. Os níveis mais pobres em clastos vulcânicos raramente têm espessura superior a 50-60 cm, comparativamente aos com abundância de clastos, cuja espessura pode atingir vários metros. Raros afloramentos mostram feições de erosão no contato com derrames sobrepostos.

A matriz mais freqüente dos peperitos é de siltito argiloso a arenito fino, vermelho-tijolo, comumente maciço a localmente laminado ou lenticular (Fig. 3.6.7), e perfaz de 40% a 60% em volume. Localmente é de arenito feldspático e lítico, e ocasionalmente conglomerático. Na de siltito, a laminação é marcada pela alternância de níveis milimétricos a centimétricos de siltito maciço e vesicular. Não foram observadas feições abundantes de deformação no estado inconsolidado. As vesículas da matriz são ovais, milimétricas e vazias, o que é atribuído por Waichel *et al.* (2005) à saturação em água dos sedimentos em contato com os derrames. Em lâmina delgada, as matrizes de siltito e de arenito fino são maciças a finamente laminadas e estão intensamente impregnada com hidróxidos de ferro. Seus minerais mais abundantes são quartzo e plagioclásio microcristalinos, seguidos de sericita secundária e vidro parcialmente desvitrificado. Magnetita e ilmenita estão ausentes, em contraste com a sua abundância nas vulcânicas adjacentes e nos clastos.

Os fragmentos são de basalto, mais raramente de andesito porfirítico. São angulosos a subangulosos, afaníticos, vesiculares ou escoriáceos, sustentados pela matriz, exceto junto ao contato com os derrames subjacentes, onde a matriz é menos abundante. Predominam fragmentos de tamanho lapili (2 mm a 64 mm),

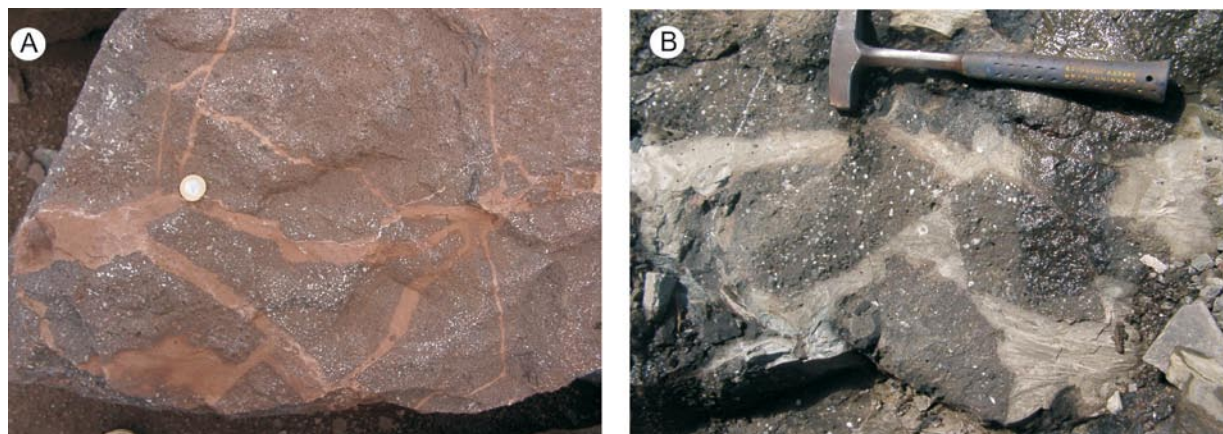


Figura 3.6.7. – Detalhes de horizontes de interação lava/sedimento. **A** - diques de areia em bloco extraído da Pedreira PAVIMAR, entre Santa Tereza do Oeste e Lindoeste (PR-182) e **B** - brechas peperíticas com fragmentos de basalto vesiculado imersos em matriz de areia aflorantes próximo da usina hidroelétrica do Rio Jordão.

seguidos de blocos e bombas (entre 64 mm e 256 mm), as últimas mais raras. Localmente possuem feições de fluxo e de desgaseificação, tais como zonação interna e vesículas alongadas segundo o eixo maior dos clastos ou perpendicular aos seus limites. Os raros fragmentos de andesito porfírico foram reconhecidos apenas em clastos menores do que 2-3 cm.

3.6.3 FÁCIES CAMPOS NOVOS

Derrames desta fácies situam-se estratigraficamente acima da fácies Capanema, abaixo da fácies Cordilheira Alta e afloram ao longo de toda a área do projeto. Exposições típicas ocorrem nos cortes de estrada entre Quedas do Iguaçu e Boa Vista da Aparecida, acima da cota dos 480 m, em Dois Vizinhos, Realeza e na pedreira do Sr. Eldomar Ross, na localidade de Princesa, a sul de Dionísio Cerqueira. Dados de afloramentos mostram que a unidade é mais espessa a SSW da área, onde ultrapassa 120 m entre Boa Vista Aparecida e Três Barras, e se adelgaça para ENE, pois na região de Espigão Alto do Iguaçu, onde compõe um único fluxo, tem apenas 40 m.

A fácies compreende basaltos pretos, microfaneríticos a afaníticos, de aspecto microgranular fino e textura

sacaróide. A porção central contém disjunção colunar esparsa, em blocos regulares métricos a decamétricos, é maciça e, próximo ao topo, contém disjunção tabular pouco definida (Fig. 3.6.8). É comum a presença de vesículas milimétricas arredondadas preenchidas por opala preta a castanho-escuro de brilho vítreo e eventual água conata. Cobre nativo pode ocorrer nas faces das disjunções ou como parte do preenchimento de vesículas. A superfície de alteração destes basaltos é amarelo ocre, com solos profundos, vermelho-escuros a vermelho-arroxeados.

Os derrames desta unidade contrastam com os demais por estarem organizados em sucessões de fluxos simples, densos, de 15 a 40 m de espessura e onde não se reconhece a presença e/ou superposição de lóbulos, fluxos inflados e estruturas em corda. Nesta fácies é comum a presença de horizontes centimétricos a decimétricos de pegmatóides gabróicos no interior dos derrames, como adiante descritos (item 3.6.7)

Petrograficamente são basaltos microgranulares a microfaneríticos, homogêneos. Seus constituintes essenciais compreendem plagioclásio e clinopiroxênio, e os acessórios são magnetita, ilmenita, apatita e eventual olivina. A presença de matriz é ocasional. O plagioclásio



Figura 3.6.8. – Em **A** e **B**, bancada com cerca de 15m de altura, superior (paralisada) e inferior (em operação) da pedreira localizada entre Salto do Lontra e Nova Prata do Iguaçu, onde se identificam estruturas de derrames simples relacionados a Fácies Campos Novos, destacando-se a presença de disjunção colunar regular compondo blocos métricos de faces retas, homogêneos e com típico perfil de alteração cor amarelo-ocre; **C** - Detalhe do contraste entre basalto preto e alteração amarelo-ocre.

é labradorita (An_{52-68}), ocorre em fenocristais em média de 1,5 mm, mas de até 1 cm, com contornos planos e maclas bem definidas, em geral zonado, com bordas não corroídas e mais claras que o núcleo. O clinopiroxênio, a exemplo da fácies anterior, é zonado, com núcleo de pigeonita e borda de augita. A zonação dominante tem forma de ampulheta ou concêntrica a irregular (Figs. 3.6.9a, b, c e d), esta última melhor observada em imagem de MEV (Fig. 3.6.10). Na zonação concêntrica e irregular o limite entre os indivíduos não é claro e raramente pode ser reconhecido sob microscópio convencional. Os opacos são freqüentes, euédricos a subédricos, entre 0,5 mm a 1 mm, com diminutas inclusões poiquilíticas de clinopiroxênio e plagioclásio. A olivina, rara, está parcialmente pseudomorfizada por opacos e boulingita.

Matriz vítrea, quando presente, tem textura ditaxítica, com cavidades intersticiais preenchidas com material castanho alaranjado e isotrópico.

3.6.4 FÁCIES CORDILHEIRA ALTA

Esta fácies ocorre em toda a área mapeada ao longo da meia encosta dos contrafortes do terreno que margeia o rio Iguazu, particularmente na região de Guaraniaçu, Ca-

tanduvas e Lindoeste a norte, e Renascença, Manfrinópolis e Pranchita a sul. Afloramentos típicos ocorrem na BR-277, entre Ibema e Laranjeiras do Sul, na região de Catanduvas, Dionísio Cerqueira e Salgado Filho. Em fotografias aéreas, os derrames são identificados pelo relevo de vertentes convexas, interflúvios largos e terraços suaves, onde se desenvolve uma ocupação agrícola extensiva, característica nas imagens LANDSAT. A rede de drenagem é dendrítica, de densidade média e boa integração.

Comuns nesta fácies são as intercalações de rochas sedimentares interderrames e brechas peperíticas na base dos derrames, cujos limites se manifestam, na paisagem, por baixas escarpas verticais, que sustentam terraços de 150 m a 200 m de largura, como adiante detalhado.

Em afloramento, predominam os fluxos compostos com freqüente seção transversal lenticular, aparência *pinch-and-swell*, por vezes seções lobadas densamente vesiculares, com lavas em corda (*pahoehoe*), espiráculos e alternância centimétrica de níveis escoriáceos e vítreos, dispostos em zonação concêntrica. As características desta fácies evidenciam intensa desgaseificação durante resfriamento rápido. Durante o mapeamento das folhas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, a íntima associação de ambos tipos de seção transversal motivou a

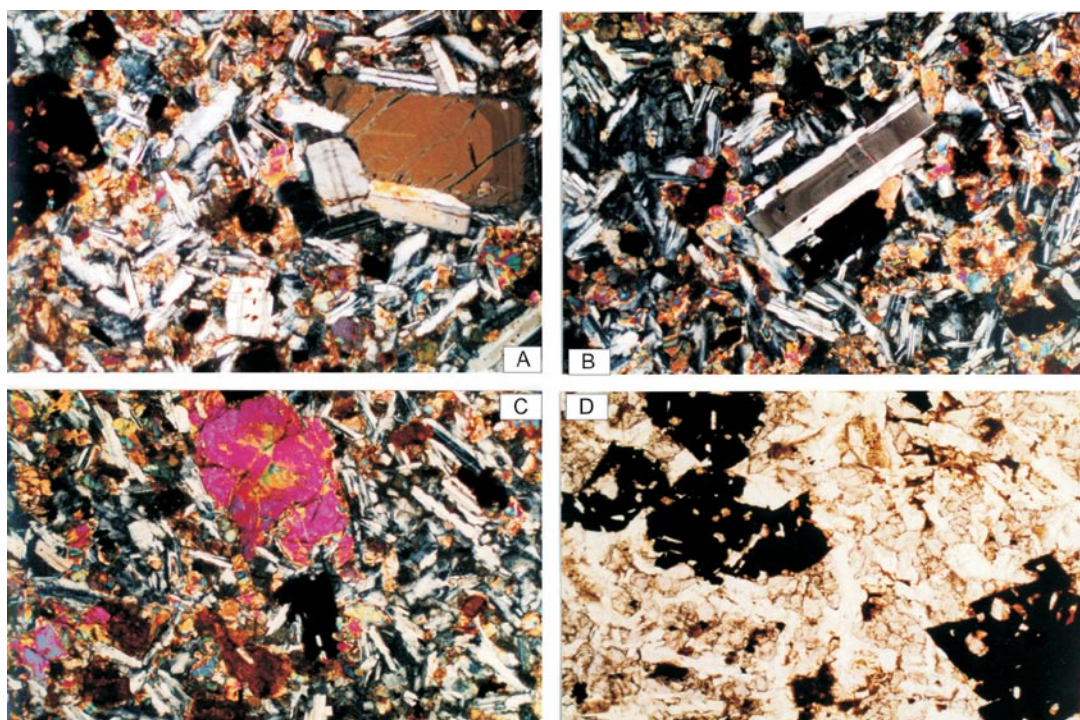


Figura 3.6.9 – **A** - Fotomicrografia da amostra WW-76, mostrando glomero de plagioclásio (1,8mm), zonado, com limites de grãos íntegros e bem definidos, mergulhados em matriz intergranular fina; observar no canto esquerdo opacos poiquilíticos; 10x LP; **B** - amostra WW-16 mostrando fenocristais de plagioclásio (1,5mm), com bordos de grão planos e linhas de macla bem definidas, cercados de matriz intergranular fina, 10x LP; **C** - amostra WW-90 com fenocristais de plagioclásio (1,5mm) com zonação em ampulheta, cercado de matriz intergranular fina, 10x, LP; **D** - amostra WW-62 com opacos de até 1mm, poiquilíticos, forma equidimensional, cercados por matriz intergranular fina, 10x LN.

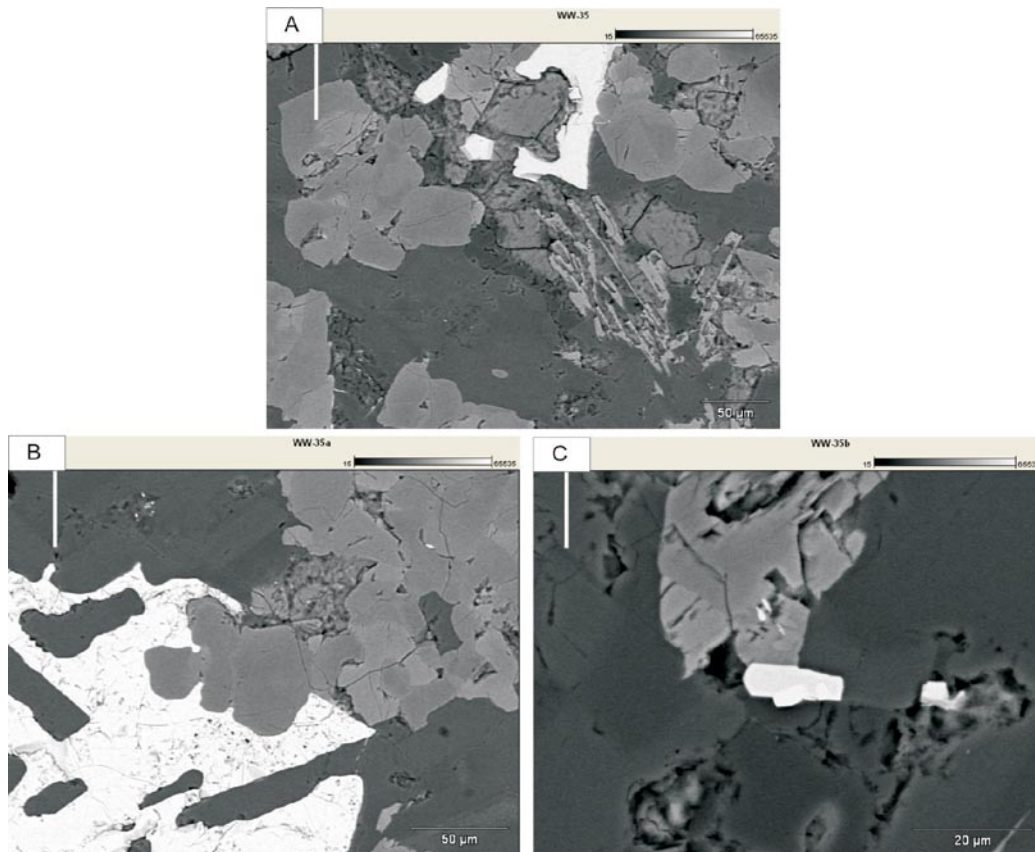


Figura 3.6.10 – Imagens de MEV de lâmina de amostra da Fácies Campos Novos, destacando-se em **A** e **B** a zonação composicional do clinopiroxênio e a presença de opacos poiquilíticos.

sua reunião sob a denominação geral de formas lobadas. Waichel *et al.* (2005) descrevem em detalhe as feições diagnósticas destes derrames.

As porções centrais, maciças, dos fluxos de seção lenticular têm entre 2 m e 4 m de espessura, excepcionalmente 20 m a 30 m, ao passo que os lóbulos não excedem de 30-40 cm. A continuidade lateral dos derrames individuais é de difícil determinação, mas ambos tipos estão, aparentemente, interdigitados e formam horizontes de aspecto regional tabular horizontal. A base dos derrames é marcada por nível vesicular de 20 cm a 50 cm de espessura, seguida de porções centrais que equivalem a cerca de 60 a 70% da espessura, com características colunas maciças de 0,5 m a 2 m de largura, limitadas por fraturas irregulares curvilíneas (Fig. 3.6.11). O topo é espesso horizonte com aparência esponjosa, característica de fluxos em lóbulos ricos em voláteis, do tipo P.

Mesoscopicamente, o basalto dominante é ora afírico, ora fracamente porfirítico, por vezes fanerítico médio a grosso, mesocrático, cinza a cinza-escuro, matizado de verde por efeito de cloritização. Por intemperismo é tipicamente vermelho-tijolo manchado de verde por celadonita e clorita e as fraturas e diáclases são atapetadas por películas de argilo-minerais e óxidos de Mn.

Os derrames contêm horizontes vesiculares bem desenvolvidos, principalmente no topo, e as vesículas são comumente marginadas por agregados de plagioclásio e preenchidas por carbonato, zeólitas e celadonita, a qual empresta aos horizontes de topo um tom verde-azulado. Cobre nativo e cuprita em lamelas milimétricas a centimétricas, comumente dendríticas, são comuns em fraturas da disjunção colunar das porções centrais.

A textura dominante é microgranular a intergranular porfirítica e glomeroporfirítica. Seus constituintes essenciais compreendem plagioclásio e clinopiroxênio, e os acessórios são quartzo, apatita, titanita e magnetita. O espaço intergranular está normalmente preenchido por vidro intersertal com cristálitos de plagioclásio e óxidos e hidróxidos de Fe e Mn.

O plagioclásio é andesina (An_{30-42}), ocorre em fenocristais maclados de até 1,5 mm com bordas difusas por corrosão e estão em geral orientados, sugestivo de textura de fluxo. O piroxênio, raramente glomeroporfirítico, ocorre em fenocristais da ordem de 1 mm ou como constituinte da matriz em cristais inferiores a 0,5 mm (Figs. 3.6.12a, b, c e d). Os cristais em geral possuem núcleo escuro oxidado e de relevo elevado, em contraste com as bordas límpidas e de relevo menor, também presente como glóbulos na matriz. Resultados

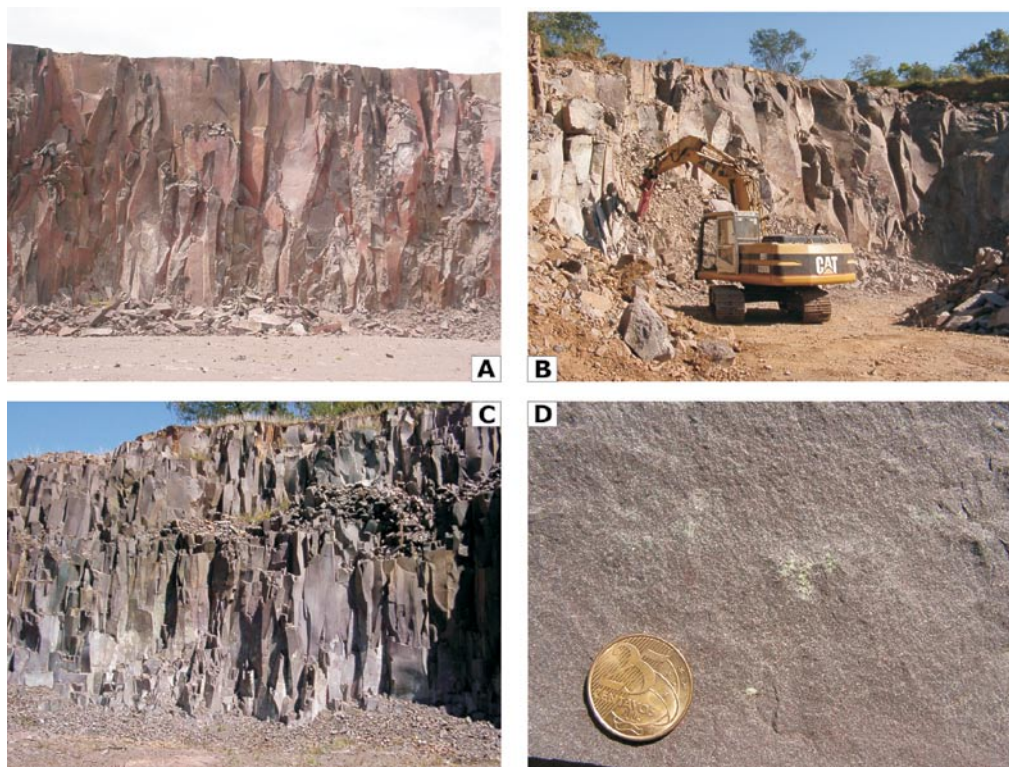


Figura 3.6.11. – **A** - Bancada, com cerca de 15 m, da Pedreira PAVIMAR, entre Santa Tereza do Oeste e Lindoeste (PR-122); **B** - Pedreira da prefeitura de Planalto e **C** - Pedreira em bancada com cerca de 15 m de altura, região de Guaraniáçu (BR-277), todas com aspectos típicos da Fácies Cordilheira Alta; **D** - Detalhe comum da presença de vesículas com freqüente celadonita que resulta em rochas de tom esverdeado.

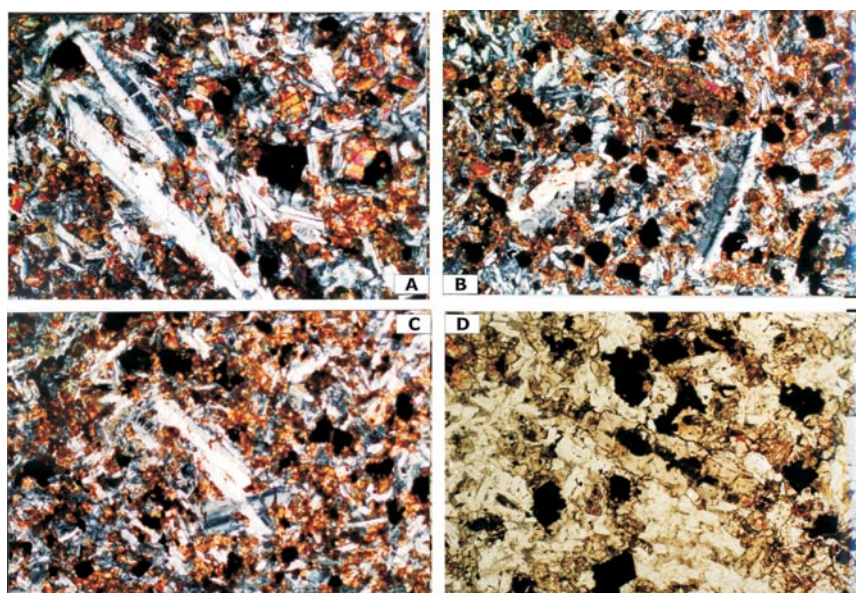


Figura 3.6.12 – **A** - amostra WW-33a, mostrando fenocristais de plagioclásio (1,2mm), com bordas corroídas, planos de macla e zonação difusos, mergulhados em matriz intergranular fina, 10x LP; **B** - amostra WW-42a mostrando fenocristais de plagioclásio (0,8mm) com bordas corroídas e planos de macla difusos, opacos de grão fino (aproximadamente 0,2mm) anédricos a equidimensionais, uniformemente distribuídos na matriz intergranular, 10x, LP; **C** - amostra WW-43 com fenocristais de plagioclásio (0,5mm) em matriz intergranular rica em salpico de opacos, 10x, LP; **D** - amostra WW-32 com fenocristais de piroxênio (0,8mm), onde no centro do cristal ocorre um piroxênio precoce de coloração escura, margeado pelo hospedeiro, com formas alongadas e cor clara, 10x, LN.

analíticos por meio de MEV permitiram reconhecer que o núcleo é de pigeonita e a borda e os glóbulos de augita. As mesmas imagens também revelaram que o piroxênio do núcleo é um intercrescimento de lamelas de orto e clinopiroxênio (Fig. 3.6.13).

Os minerais opacos são inferiores a 0,5 mm e resultados analíticos por MEV revelaram tratar-se de magnetita e ilmenita.

A variação das proporções entre plagioclásio e piroxênio indicam que a composição dos derrames varia entre basalto e basalto andesítico.

As rochas sedimentares interderrames e horizontes de brechas peperíticas ocorrem como intercalações nos derrames. As rochas sedimentares afloram em todas as folhas mapeadas, mas são mais freqüentes na região delimitada pelas localidades de Dionísio Cerqueira, Flor da Serra do Sul e Pinhal de São Bento. Nas folhas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão foram registrados 452 afloramentos e as ocorrências mais extensas traçadas no mapa geológico, omitidas as de expressão incompatível com a escala do mapeamento. Por outro lado, os níveis de peperito possuem geometria, espessura, associação com derrames lobados e características petrográficas

semelhantes aos descritos na Fácies Capanema.

3.6.5 FÁCIES CAMPO ERÊ

Esta unidade foi originalmente descrita por Freitas *et al.* (2002) por ocasião do Projeto Oeste de Santa Catarina, destinado ao diagnóstico de recursos hídricos daquela região. Os autores descrevem um conjunto de 4 a 5 derrames expostos ao longo das cotas mais elevadas da região noroeste do projeto, fronteira de Santa Catarina com o Paraná, extremo sul da área do presente projeto.

Na área mapeada, a unidade contém cerca de 75 m de lavas, com derrames individuais de até 20-30 m, e continuidade lateral de dezenas de quilômetros. Sustenta as cotas mais elevadas do norte da área, ao longo da rodovia BR-277, entre Cascavel, Guaraniaçu e Ibema. Na fronteira do Paraná com Santa Catarina, forma extenso divisor d'água nas localidades de Dionísio Cerqueira e Flor da Serra do Sul no Paraná, e Campo Erê, em Santa Catarina, de onde empresta o nome. Afloramentos típicos ocorrem na pedreira municipal de Guaraniaçu, junto da rodovia BR-277 e em corte da ferrovia logo a

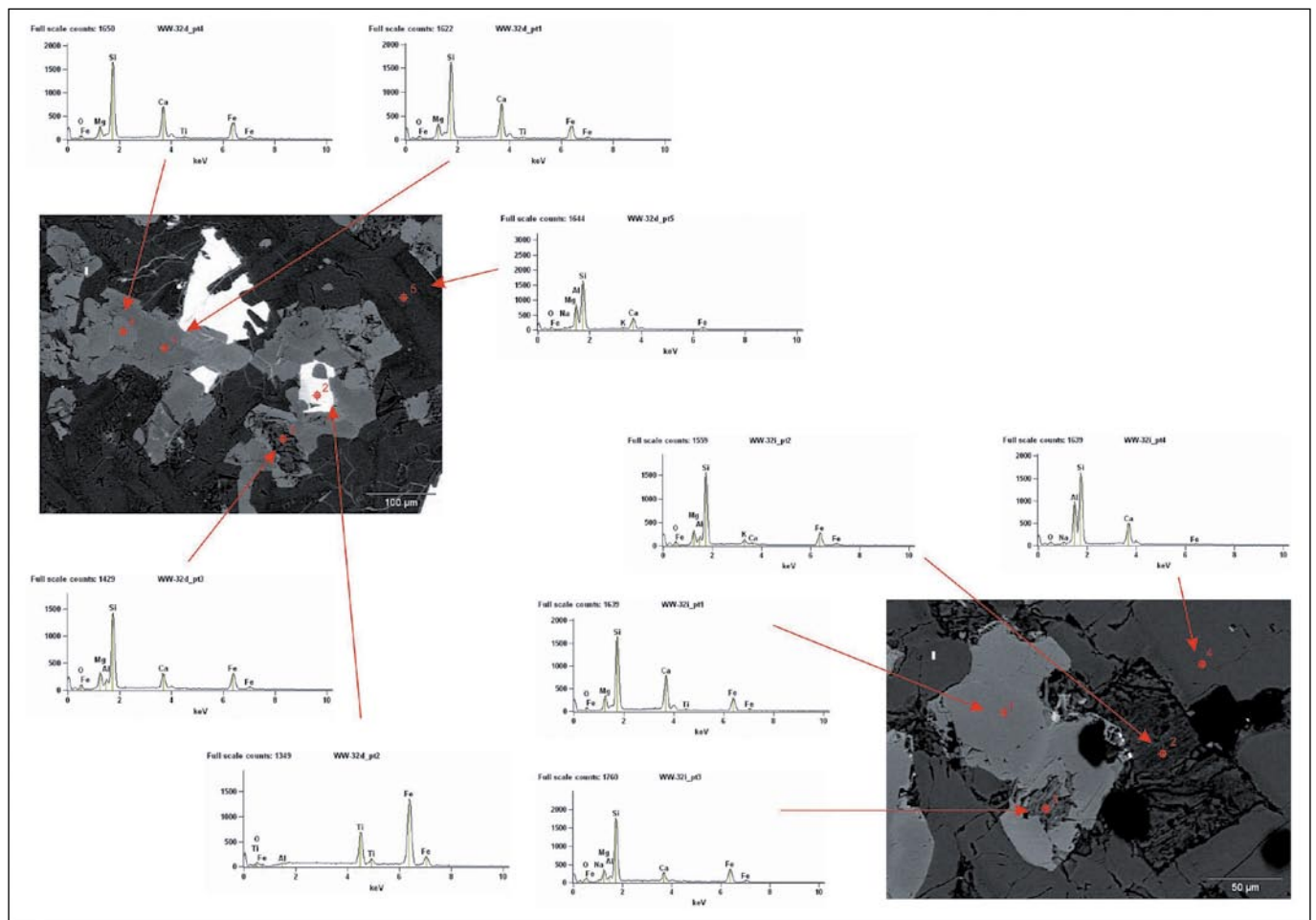


Figura 3.6.13 – Imagens de MEV e indicação mineralógica de lâminas petrográficas da Fácies Cordilheira Alta.

sul desta pedreira, e ao longo da fronteira com Santa Catarina, na pedreira de Flor da Serra do Sul, e em cortes da BR-386 entre Palma Sola e Campo Erê.

Em fotografia aérea, os derrames sustentam extensos platôs e mesetas suavemente ondulados e limitados por escarpas côncavas, festonadas, particularmente entre Ibema e Catanduvas, na borda do platô de Campo Erê e na *cuesta* que é interflúvio das cabeceiras dos rios Chopim, a sul, e Guarani, a norte. Morros testemunhos piramidais com topo em patamar ocorrem de forma dispersa, principalmente na folha de Salgado Filho. O sopé destas escarpas demarca o contato com as rochas da fácies Cordilheira Alta. A drenagem tem padrão dendrítico de baixa densidade e pouco integrada.

Nas folhas de Catanduvas e Guaraniáçu, os derrames têm espessura entre 15 a 35 m, possuem lóbulos distais decimétricos formados por avanço da lava em depressões do paleorelevo regional. Waichel *et al.* (2005) descrevem que a estrutura interna dos derrames é com-

posta de três zonas, isto é, a crosta inferior, o núcleo e a crosta superior, interpretados como típicos de derrames inflados do tipo *pahoehoe*, com superfícies em corda (Figs. 3.6.14a e d), geradas por volumosos derrames.

A presença de estruturas de segregação e de vesículas na porção central dos derrames e de microvesículas entre cristais de plagioclásio e piroxênio (textura dictitaxítica) sugerem lavas ricas em voláteis. Disjunção e esfoliação conchoidal em fragmentos sub-milimétricos, produtos de intemperismo em geral profundos e cinza-claros a vermelho-amarelados e aspecto arenoso emprestam aos afloramentos aparência semelhante a horizonte sedimentar (Figs. 3.6.14c e d). Nas cartas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, o seu relevo plano e o intemperismo desenvolveram espessos solos cultiváveis.

Petrograficamente, são basaltos andesíticos semelhantes aos da fácies Cordilheira Alta, da qual diferem pela ausência dos termos afaníticos e baixo

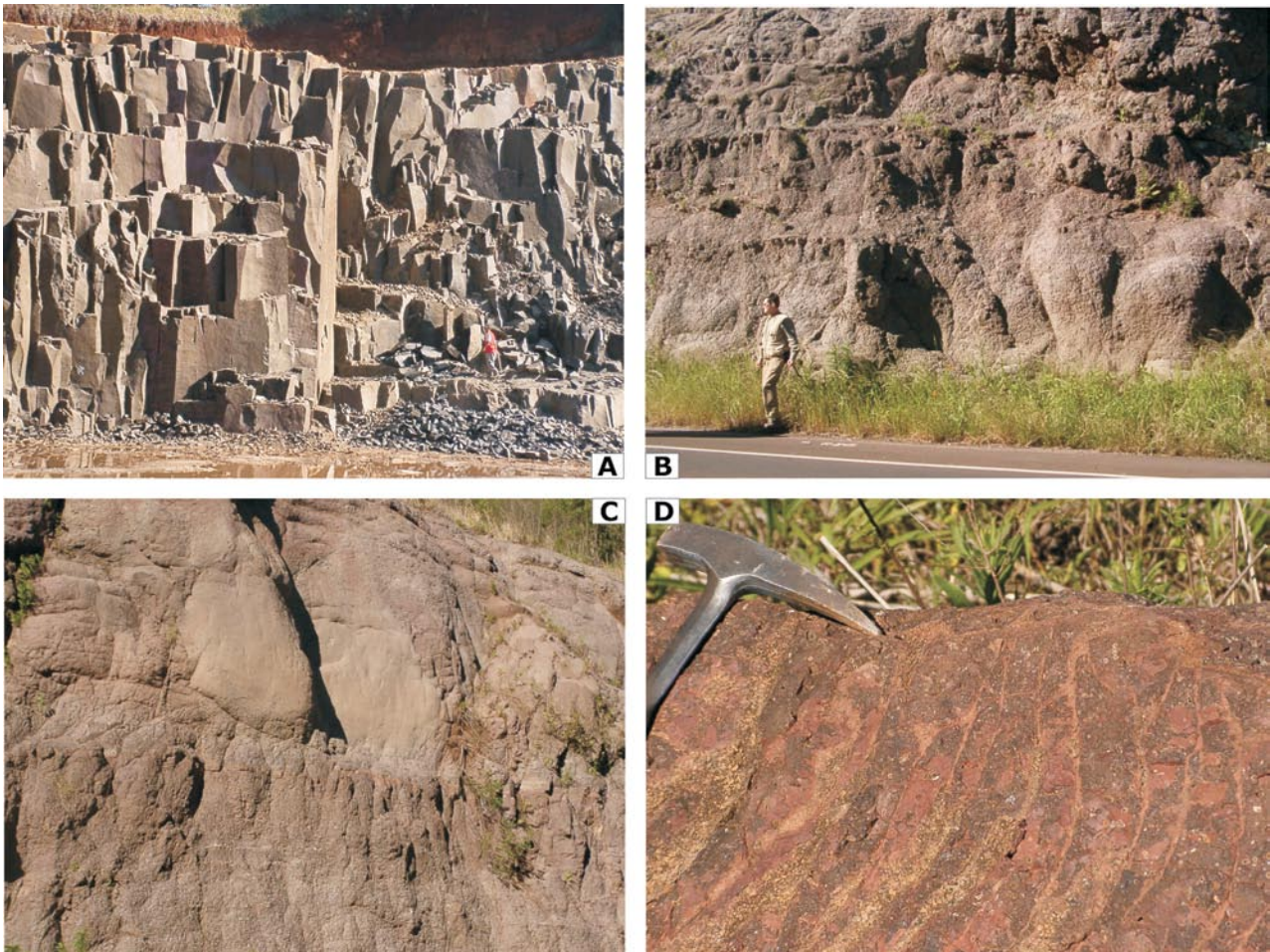


Figura 3.6.14 – **A** - Pedreira da prefeitura de Palma Sola onde se identifica a porção central de derrame com disjunção em blocos; **B** e **C** - Corte de estrada entre as localidades de Campo Erê e Renascência onde se identifica a porção de topo de derrame, intensamente vesiculada, cuja alteração lembra estruturas sedimentares; **D** - Superfície de corda do topo de alguns lóbulos aflorantes em corte de estrada e blocos entre Barracão e São José do Cedro (BR-163).

índice de vesiculação. As vesículas ocorrem na zona superior e no núcleo dos derrames. Na superior, de até 2-3 m de espessura, podem alcançar até 50-60% em volume e são preenchidas por quartzo e atapetadas por celadonita. Esta zona se altera mais facilmente do que o núcleo, o que é diagnóstico da fácies nos afloramentos rasos. Comparativamente, as vesículas do núcleo são maiores e mais esparsas, irregulares, freqüentemente vazias e dispostas segundo o fluxo, reflexo da viscosidade das lavas.

A disjunção dos derrames merece análise específica, pois difere da que ocorre nas demais fácies e é critério de identificação em afloramentos na forma de laje, em topo de relevo e em leitos de drenagem. O padrão é colunar e reproduz, em planta, o modelo Riedel de cisalhamento. O padrão combina juntas planares e curvas que fragmentam os derrames em blocos prismáticos de base triangular, losangular ou trapezoidal alongada, com faces côncavas e convexas combinadas, nas quais é comum a feição *de cup-and-ball*. Dependendo da seção observada, as exposições apresentam um padrão cerrado de disjunção, centimétrica, ou formam paredes planas e encurvadas com até 6-8 m de largura. Seções transversais aos eixos maiores dos prismas exibem um padrão centimétrico de disjunção triangular, cujas relações geométricas com as seções anteriores são de difícil interpretação. A presença de disjunção colunar grossa e irregular, com seções transversais triangulares mal desenvolvidas e largas, limitadas por fraturas irregulares curvas retratam a baixa maturação (Budkewitsch & Robin 1994), reflexo de prolongado e heterogêneo período de resfriamento. Em pelo menos três pedreiras, situadas nas localidades de Dionísio Cerqueira, São Pedro Tobias e São Roque, os prismas das disjunções têm eixo maior curvo, e mergulho de até 70°. Segundo Jerram *et al.* (2002), este padrão resulta de tensões cisalhantes, em derrames parcialmente cristalizados que se deslocam sobre terreno suavemente inclinado ou submetido a instabilidade tectônica, intrínsecas ao ambiente vulcânico.

Nas folhas de Catanduvas e Guaraniaçu, esta fácies contém abundantes intercalações de rochas piroclásticas, em contraste com as ocorrências das folhas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, onde estas se associam mais com os derrames da fácies Cordilheira Alta. O reconhecimento de depósitos piroclásticos do Magmatismo Serra Geral tem-se restringido às porções predominantemente ácidas, principalmente na porção sul da bacia, sob a forma de ignimbritos da porção NE da serra gaúcha (Roisenberg, 1989; Umann *et al.*, 2001; Siviero *et al.*, 2005).

3.6.6 INTRUSIVAS BÁSICAS

As intrusivas básicas da região compreendem diques e soleiras. Diques são abundantes e, em fotografias aéreas e imagens de satélite, são reconhecidos pelo ali-

nhamento de vales, quebras de relevo e, mais raramente, por suaves cristas alinhadas. Os alinhamentos são mais evidentes nas imagens de radar, particularmente nas cartas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, mas somente constam do mapa geológico daquelas cartas os diques confirmados em pelo menos um ponto de controle sobre o respectivo lineamento fotogeológico. O enxame mais proeminente ocorre no quadrante NE da folha de Francisco Beltrão, entre esta cidade e as cabeceiras do rio Marmeleiro, com direção N45°W, com cerca de 20 km de largura, cujos diques têm entre 2 m e 15 m de largura, um dos quais com cerca de 60 m está exposto na pedreira Motter.

Em afloramentos, por intemperismo, os diques geram blocos e matacões arredondados, cinza-escuros a negros e com superfície de alteração, quando presente, amarelo-ocre, o que contrasta com os derrames, os quais em geral resultam em matacões irregulares métricos de superfície avermelhada ou esverdeada.

Nas cartas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, entre as cotas de 500 e 540 m, a fácies Campos Novos foi interpretada como soleira entre derrames lobados no interior de nível de peperito da fácies Cordilheira Alta. Sua espessura é indeterminada, mas se estende, no sentido N-S, por cerca de 50 km. Aflora, mais freqüentemente, como campos de matacões e lajedos de meia encosta. A rocha é maciça, tem disjunção regular planar decimétrica e possui esparsas amígdalas de até 1-2 cm de diâmetro, ovaladas e preenchidas por opala verde-escuro a verde-claro que, quando exposta, rapidamente passa a negro por desidratação. As amígdalas não possuem película verde de celadonita, característica do basalto andesítico da fácies Campos Novos. Segundo a equipe da MINEROPAR, os seguintes critérios foram utilizados para caracterizá-la como soleira:

- (a) ausência de zonas vesiculares de topo e base;
- (b) ausência de oxidação, evidente na cor cinza-escuro da rocha sã,
- (c) ausência de alteração hidrotermal generalizada, como nas fácies Cordilheira Alta e Campo Erê, expressa principalmente por celadonita e argilo-minerais;
- (d) textura microfanerítica e ofítica, com cristais de plagioclásio, piroxênio e magnetita euédricos, raramente esqueléticos, o que indica cristalização lenta e completa;
- (e) semelhança petrográfica, em escala mesoscópica e microscópica, com diabásios dos diques da região.

Na escala do presente mapeamento, permanece em aberto a possibilidade de haver uma soleira na região, como a descrita acima, relacionada diretamente com o derrame mapeado nas folhas acima do paralelo 26°00', como fase subvulcânica alimentadora de derrames.

3.6.7 PEGMATÓIDES GABRÓICOS

Pegmatóides máficos se associam a derrames da área e Licht e Arioli (2000) cadastraram 16 ocorrências

e outras 14 foram reconhecidas nas cartas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão durante os trabalhos de campo do presente projeto. A sua presença é mais marcante na região central do vale do rio Iguaçu, onde predominam as fácies Campos Novos e Capanema. Nas folhas de Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, a sua ocorrência é mais freqüente geográfica e estratigraficamente, pois também ocorrem em basaltos das fácies Cordilheira Alta e Campo Erê. Exposições destes corpos ocorrem na pedreira municipal de Capanema, em pedreira na PR-471 junto à saída de Salto do Lontra para Nova Prata do Iguaçu, na calha do Rio Guarani a leste de Três Barras, no Cruzeiro do Iguaçu, na pedreira Motter de Francisco Beltrão e no acesso à barragem de Salto Caxias.

Em corte, variam desde centimétricos e estrutura em *stockwork* (Fig. 3.6.15b) a massas de espessura métrica e até uma centena de metros de extensão lateral. São sub-horizontais (Fig. 3.6.15a), de contatos bruscos com os derrames encaixantes e compostos por fenocristais curvos de augita de aspecto arborescente com até 8 cm de comprimento, ancorados nas paredes dos corpos e orientados em direção ao núcleo (Fig. 3.6.15c), o qual está normalmente preenchido com carbonato, zeólitas e celadonita. Em meio aos fenocristais há uma matriz predominantemente vítrea intersertal com quartzo e opacos.

3.6.8 DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS

O Sudoeste do Paraná é uma das regiões onde o vulcanismo Serra Geral envolveu manifestações efusivas por vezes acompanhadas de condições vulcanoclásticas, relacionadas à injeção de diques alimentadores das erupções. Especialmente relacionados aos diques ocorreram, de forma subordinada, eventos explosivos responsáveis pela geração de depósitos piroclásticos, intercalados nos derrames. As erupções explosivas provavelmente ocorreram sob a forma de *sprays* de lava, *fontes de lava* ou condutos do tipo *spatter cones*, típicos de zonas proximais às fissuras alimentadoras e balizadores de condutos de erupções. Estes depósitos normalmente se associam a lavas do tipo *pahoehoe*, com altos teores em voláteis, adicionados aos magmas considerados originalmente como *anidros*, e que podem apresentar diferentes estilos de manifestação, dependendo da composição química do sistema (Cashman et al., 2000; Morrissey et al. 2000).

Os depósitos piroclásticos da área mapeada resultaram, assim, da fragmentação de magmas basálticos durante atividade eruptiva explosiva. Consistem integralmente de fragmentos conatos, acomodados em meio fluído representado por gases quentes e vapores. Os depósitos ocorrem como camadas avermelhadas a castanho-escuras, centimétricas, como na estrada próximo da balsa do rio Chopim (Figs. 3.6.16a e b), até métricas, como na região de Santos Dumont (Figs. 3.6.16c e d). Apresentam acamamento gradacional, ora

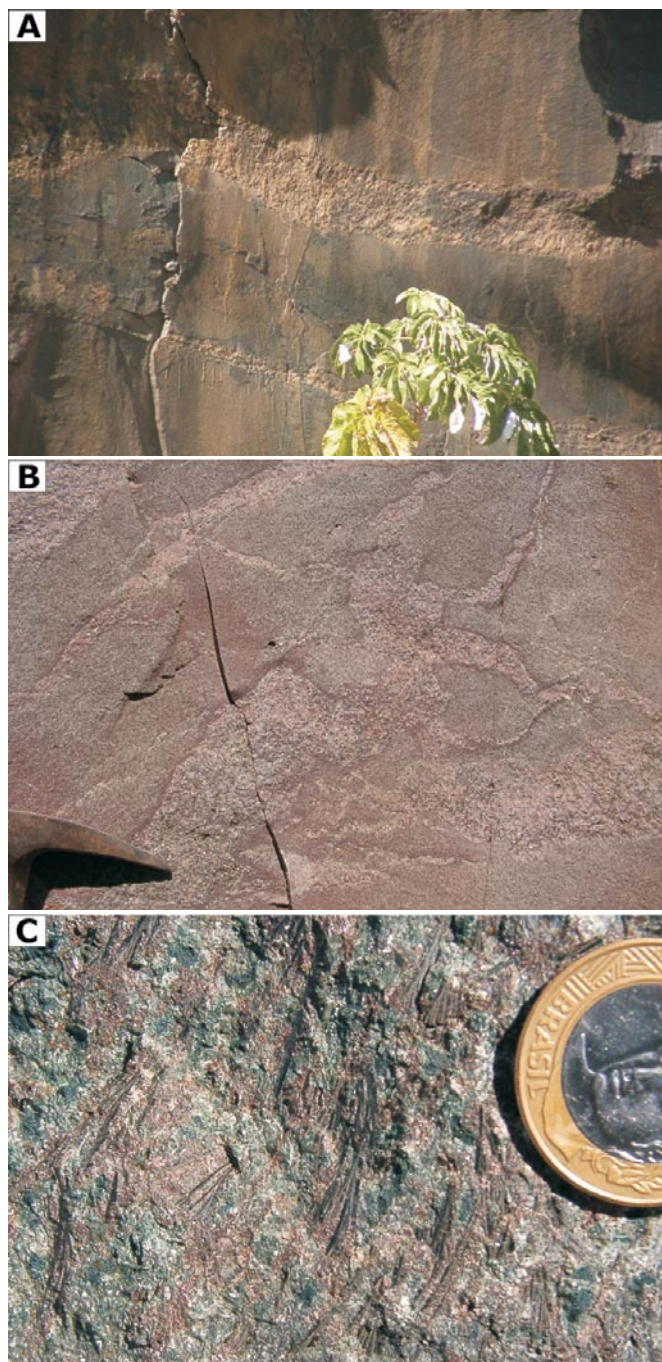


Figura 3.6.15 – Afloramentos de pegmatóides gabróicos da região. **A** - Detalhe da bancada superior, com cerca de 15 metros de altura, da pedreira localizada entre Salto do Lontra e Nova Prata do Iguaçu, onde afloram horizontes decimétricos a métricos subhorizontais da região de Salto do Lontra (Fácies Campos Novos); **B** - afloramento em corte de estrada no entroncamento de acesso de Guarujá do Sul para Dionísio Cerqueira, onde ocorre pegmatóides em stockwork da região de Dionísio Cerqueira (Fácies Campo Erê); **C** - detalhe de afloramento de pegmatóides da pedreira da prefeitura de Capanema onde se destacam cristais arborescentes de clinopiroxênio (augita) da região de Capanema (Fácies Campos Novos).

direto ora inverso, são polimodais, mal selecionadas, com fragmentos desde a fração cinza (<1/16 mm) até lápili e, eventualmente, blocos (>64 mm) e, de acordo com o calibre dos fragmentos, correspondem a tufos, tufos lapílicos e subordinadamente brechas.

Os tufos e tufos lapílicos são maciços e raramente apresentam estratificação, a qual, quando ocorre, é plano-paralela e marcada por contraste granulométrico dos seus constituintes. Os componentes principais são cristalo-clastos e litoclastos, subordinadamente vitroclastos. Os cristalo-clastos são menores do que 1,0 mm, com predomínio de plagioclásio sobre clinopiroxênio e raro quartzo. O hábito é em geral tabular a subarredondado por corrosão. Os litoclastos possuem textura porfírica, com matriz afanítica, são freqüentemente vesiculados, e compostos ora por plagioclásio, ora plagioclásio e clinopiroxênio ou, ainda, clinopiroxênio e olivina e, assim, de composição basáltica (Figs. 3.6.17a, b e c). São angulosos e podem, por vezes, ocorrer corroídos ou imbricados. Os vitroclastos são irregulares, em geral angulosos, por vezes amebóides, atingem até 3 mm e são escuros por transformação do vidro original em clorita e/ou argilo-minerais. As vesículas

são sub-arredondadas a irregulares, inferiores a 2 mm e estão, em geral, preenchidas com clorita, argilo-minerais, zeólitas, quartzo, opala e calcedônia.

3.6.9 ROCHAS SEDIMENTARES INTERDERRAMES

Arenitos eólicos vinculados ao ambiente desértico da Formação Botucatu ocorrem como intercalações em alguns níveis basais da sucessão de basaltos da Formação Serra Geral. A interrupção do regime desértico deu lugar, em praticamente toda seqüência vulcânica, a intercalações de prováveis depósitos de canais fluviais e leques aluviais, acolhidos por irregularidades do topo dos derrames, quer rugosidades naturais quer depressões resultantes de sua erosão parcial, bem como paleossolos. Estes horizontes variam de 0,5 m a 25 m de espessura e caracterizam contribuição vulcanogênica, em contraste com os depósitos basais, de natureza eólica.

Litologicamente são compostos por sucessões de finas camadas avermelhadas de arenitos, siltitos e, por vezes, arenitos conglomeráticos e conglomerados (Fig. 3.6.18). Estruturas primárias compreendem aca-



Figura 3.6.16. – Depósito piroclástico, **A, B** - camada decimétrica a métrica interderrames, com extensão aproximada de 400m, aflorante ao longo da estrada de acesso à cabeceira sul da balsa sobre o rio Chopim, entre as localidades de Cruzeiro do Iguaçu e Quedas do Iguaçu são tufos lapílicos com acamamento gradacional normal grosso, constituídos por fragmentos de basalto fortemente vesiculado, amarrotados por fluxo, imersos em matriz cinza, e que terminam em tufos laminados; **C, D** - depósitos piroclásticos métricos da região de acesso Leste da localidade de Santos Dumont, grossos, polimodais, matriz heterogênea de fração cinza.

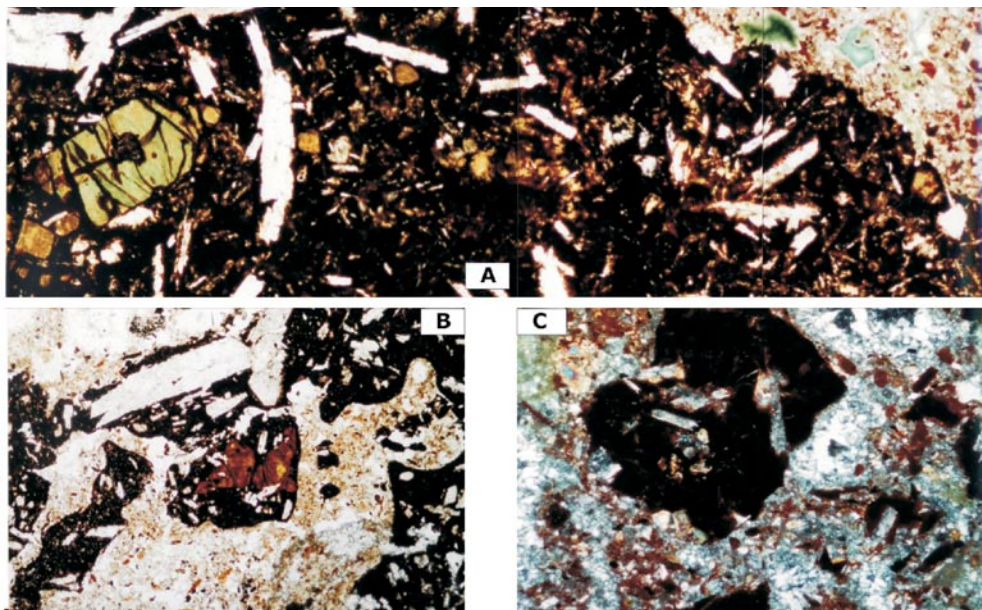


Figura 3.6.17 – Fotomicrografia de rochas piroclásticas. **A** - amostra WW-47, de tufo lapilítico com litoclastos de 2cm de basalto com olivina, plagioclásio e clinopiroxênio, mergulhados em matriz de fragmentos tufáceos, rica em vesículas preenchidas por clorita; 10x, LN; em **B e C** - detalhes da matriz que varia de frações holohialina a porções recrystalizadas de forma radiada, rica em cristaltos de plagioclásio e clinopiroxênio. Os fragmentos apresentam golfos de corrosão e as porções vítreas estão intensamente oxidadas.

mamento gradacional incipiente, estratificação cruzada de pequeno porte, marcas onduladas milimétricas a centimétricas, estruturas de carga, gretas de contração e moldes de pingos de chuva (Figs. 3.6.19a,b e c), o que denota a presença de lâminas d'água durante períodos de quiescência do vulcanismo.

Os arenitos são finos a médios, com laminação milimétrica a centimétrica, moderadamente selecionados. Os grãos são subarredondados a subangulosos, com esfericidade média a baixa, em contatos côncavo-convexos e tangenciais, o que caracteriza empacotamento fechado, com diminutos fragmentos vulcânicos e palhetas de mica amoldados aos grãos de quartzo. Diminutos fragmentos de rochas vulcânicas alteradas constituem pseudo-matriz. Seus constituintes compreendem quartzo, seguido de feldspatos, mica branca, argilo-minerais, fragmentos líticos, subordinadamente turmalina, opacos e zircão. As proporções de quartzo e feldspatos permitem classificá-los como quartzo arenitos, subordinadamente subarcóseos a arcóseos.

O quartzo é límpido, monocristalino, raramente tem crescimento autigênico e está normalmente envolvido por película de óxido de ferro resultante de cimentação precoce. Os grãos de feldspato são de plagioclásio, subordinadamente K-feldspato, os quais são em geral turvos por argilização. A mica branca resulta da alteração dos feldspatos. Turmalina e zircão são arredondados e, juntamente com a mica branca e opacos, se concentram em níveis. Turmalina ocorre em cristais euédricos trans-

versais às estruturas sedimentares primárias, possivelmente relacionados a episódio hidrotermal responsável pelo preenchimento de fraturas e cavidades, junto com zeólitas, calcita e calcedônia.

A laminação dos arenitos é dada pela alternância com níveis de silte e argila, provavelmente oriundos da devitrificação de vidro vulcânico e do intemperismo de basalto.

Os arenitos conglomeráticos e conglomerados possuem arcabouço de grânulo a seixo arredondados, com predomínio de fragmentos de basalto (Figs. 3.6.20a, b e c), subordinadamente vidro vulcânico e intraclastos de arenito fino, imersos em matriz de quartzo arenito, sub-arcósio e arcósio.

A composição mineral e as estruturas primárias destas rochas indicam deposição sob influência de lâmina d'água rasa, sob clima semi-árido ou mesmo úmido, como sugere a presença de substrato com paleosolos. A composição basáltica dos clastos do arcabouço de arenitos e ruditos indicam que a área-fonte dos sedimentos foram os derrames regionais. As relações entre estas rochas e basaltos subjacentes indicam que houve períodos de intemperismo, erosão, transporte e sedimentação em diversas posições estratigráficas e caracterizam intervalos de tempo de quiescência do vulcanismo. Por conseguinte, são importantes para a interpretação do intervalo de tempo entre sucessivos derrames, na estimativa de duração de eventos vulcânicos, suportar a interpretação de dados geocronológicos e auxiliar na definição estratigráfica do magmatismo.

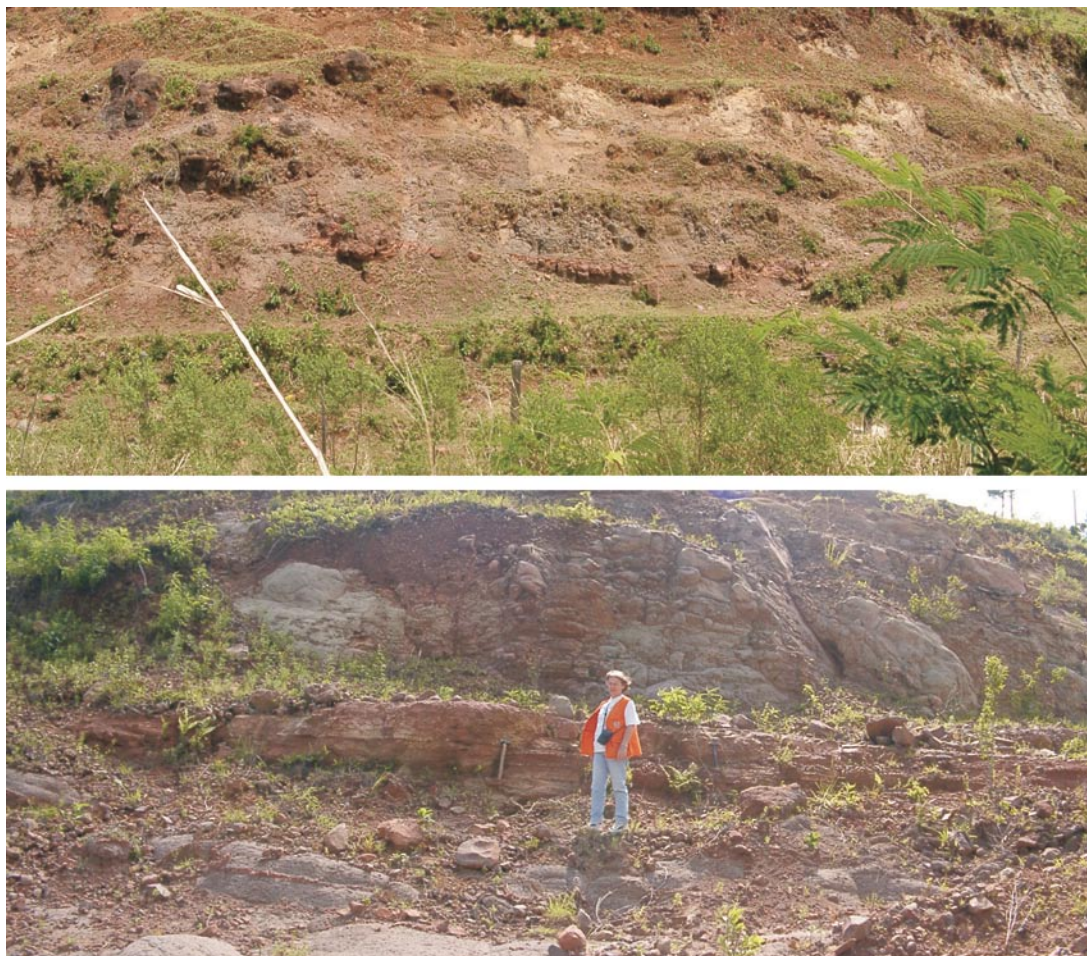


Figura 3.6.18 – Corte ao longo da bancada inferior da Pedreira PAVIMAR, entre Santa Tereza do Oeste e Lindoeste, onde ocorrem lentes de rochas sedimentares interderrames no interior da fácies Cordilheira Alta. Na foto inferior, detalhe da porção central do aforamento acima, onde se destaca a laminação e intercalação de rochas sedimentares, cujas estruturas estão detalhadas na figura 3.6.19.

3.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O mapeamento geológico da região Sudoeste do Paraná e Noroeste de Santa Catarina permitiu subdividir a Formação Serra Geral em cinco fácies, em função de suas características vulcano-estruturais (estilos de disjunção e entablatura, brechação e feições de fluxo inflado), vesiculação, preenchimento de cavidades, composição litológica, produtos de alteração intemperística e associação com sedimentos interderrames. O levantamento regional possibilitou cartografar a ocorrência de níveis de brechas peperíticas em abundância e extensão até então inéditas nessa formação. A cartografia dos diferentes estilos de disjunção dos derrames, a presença de níveis sedimentares e de peperitos e a tectônica regional serão de utilidade fundamental nos estudos hidrogeológicos que venham a ser realizados na região.

Por outro lado, o avanço no conhecimento da geologia regional levantou vários problemas estratigráficos, vulcanológicos e metalogenéticos que demandarão

estudos de detalhe, com destaque para os seguintes:

- 1 – Controles litológicos, estratigráficos e estruturais, processos de formação e importância metalogenética das frequentes ocorrências de pegmatóides gabróticos na região;
- 2- Origem e processos de formação da entablatura em leque que caracteriza a fácies Laranjeiras e da entablatura curvilínea da fácies Campo Erê;
- 3 – Natureza do derrame ou soleira da fácies Campos Novos, que apresenta feições indicativas de ambas as formas de ocorrência, respectivamente a norte e a sul do Rio Iguaçu;
- 4 – Extensão, continuidade lateral, volume, origem e ambiente de formação das brechas peperíticas, particularmente na região de Salgado Filho;
- 5 – Características mineralógicas, geoquímicas e genéticas da alteração hidrotermal que afeta de forma generalizada os basaltos das fácies Cordilheira Alta, Capanema e Campo Erê;
- 6 – Significado metalogenético das ocorrências de sulfetos da região do Salto do Lontra;

7 – A influência da tectônica sobre a estratigrafia interna da Formação Serra Geral que permanece de difícil reconhecimento, seja pela escassez de níveis-guia, seja pela natureza progressiva e regionalmente acumulada de pequenos rejeitos locais;

8 – O comportamento hidrogeológico das diferentes associações faciológicas, em função dos estilos de disjunção e fraturamento, dos volumes de rochas sedimentares e peperíticas intercaladas e das variações regionais do padrão tectônico.

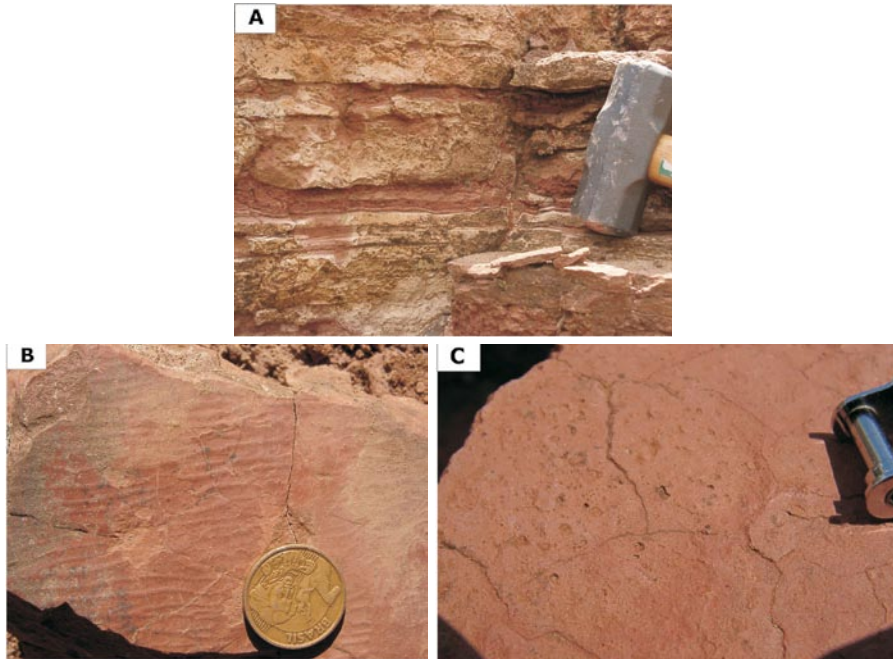


Figura 3.6.19 – Detalhes do horizonte sedimentar interderrame da Pedreira PAVIMAR da figura 3.6.18, onde se identificam (A) estruturas finamente laminadas, intercalações de níveis de arenito e siltito argiloso (B), marcas onduladas (C), pingos de chuva e gretas de contração.

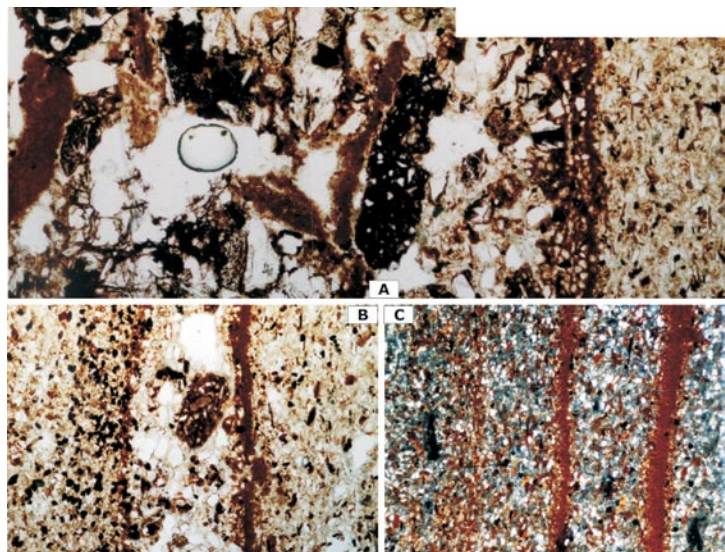


Figura 3.6.20 – Fotomicrografia de rochas sedimentares interderrame. A - amostra WW-05 com níveis de arenito com fragmentos de rochas vulcânica e palhetas de mica alinhadas na porção direita da fotomicrografia, 10x LN; B, C - níveis de arenito médio a fino com acamamento gradacional, linhas de concentração de opacos e presença de fragmentos de rochas vulcânicas 10x LN.

4 CARACTERÍSTICAS LITOQUÍMICAS DO MAGMATISMO

Wilson Wildner
Andréa Sander

4.1 INTRODUÇÃO

O magmatismo Serra Geral tem sido rotineiramente classificado com o emprego de suas características litoquímicas associadas a dados petrológicos e mineralógicos. A ocorrência comum de augita e pigeonita, um termo rico e outro pobre em cálcio, as baixas proporções de olivina, a presença de magnetita e ilmenita, as baixas razões álcalis/sílica e a presença do quartzo livre classificam esta associação como tholeiítica normal. Segundo Luchetti *et al.* (2005), cerca de 97,5% em volume das vulcânicas compreendem basaltos e basaltos andesíticos e apenas 5% da superfície, equivalente a 2,5% do volume, são termos ácidos que predominam na porção centro-sul da bacia. A ausência de termos com teores de SiO₂ entre 55 a 63% define um hiato composicional, o qual levou Piccirillo *et al.* (1988) a propor a primeira divisão natural destas vulcânicas em riólitos (>63% SiO₂) e basaltos (<55% SiO₂).

Diversas variações composicionais atribuídas à geração e contaminação de magmas em diferentes níveis crustais e associados a modelos petrológicos foram descritas durante as décadas de 1980 e 1990 (*e.g.* Piccirillo *et al.*, 1988; Milner *et al.*, 1995; Garland *et al.*, 1996). A

primeira divisão proposta em bases litoquímicas baseou-se nos teores de TiO₂, quando então os basaltos foram classificados em alto Ti (TiO₂ > 2%) e baixo Ti (TiO₂ < 2%), os primeiros predominantes na porção norte da bacia e os últimos no sul (*e.g.* Bellieni *et al.* 1984a e b; Piccirillo *et al.* 1988; Petrini *et al.*, 1987; Mantovani *et al.* 1985). Reconheceu-se, também, que os basaltos de alto Ti (>2%) possuem altos teores de elementos incompatíveis, razões iniciais ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr entre 0.704-0.706, e ε_{Nd} negativo (-2.5 a -4.6), enquanto os de baixo Ti apresentam baixos teores em elementos incompatíveis, razões iniciais elevadas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (0.707-0.710) e valores de ε_{Nd} mais fortemente negativos (-3.5 a -7.9).

Uma subdivisão litoquímica mais detalhada foi apresentada por Peate *et al.* (1992) e Peate (1997). A partir da classificação pelos teores de TiO₂, os autores empregam os teores de elementos de grande raio iônico (HFSE) como Ti, Zr, Sr, Rb, Ba e Y, normalmente abundantes em basaltos, e suas razões, o que minimiza as variações composicionais decorrentes de diferentes graus de cristalização, fracionamento ou alteração, devido à relativa imobilidade destes (Tabela 4.1.1). Definem, assim, seis tipos de magma, dentre os quais os de baixo Ti englobam os tipos Gramado e Esmeralda e os de alto Ti os tipos Urubici, Pitanga, Paranapanema e Ribeira. Peate & Hawkesworth (1996) mostram que o magma do tipo Esmeralda, de baixo Ti, tem razão Ce/Sm e ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

Tabela 4.1.2 – Composição média dos magmas basálticos da Bacia do Paraná (compilado de Peate *et al.*, 1992).

| | Alto TiO ₂ | | | Baixo TiO ₂ | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|------------------------|------------|-------------|
| | Urubici | Pitanga | Paranapanema | Ribeira | Esmeralda | Gramado |
| SiO ₂ | >49 | >47 | 48 - 53 | 49 - 52 | 48 - 55 | 49 - 60 |
| TiO ₂ | > 3,3 | > 2,8 | 1,7 - 3,2 | 1,5 - 2,3 | 1,1 - 2,3 | 0,7 - 2,0 |
| P ₂ O ₅ | > 0,45 | > 0,35 | 0,2 - 0,8 | 0,15 - 0,50 | 0,1 - 0,35 | 0,05 - 0,40 |
| Fe ₂ O ₃ (t) | < 14,5 | 12,5 - 18 | 12,5 - 17 | 12 - 16 | 12 - 17 | 9 - 16 |
| Sr | > 550 | > 350 | 200 - 450 | 200 - 375 | < 250 | 140 - 400 |
| Ba | > 500 | > 200 | 200 - 650 | 200 - 600 | 90 - 400 | 100 - 700 |
| Zr | > 250 | > 200 | 120 - 250 | 100 - 200 | 65 - 210 | 65 - 275 |
| Ti/Zr | > 57 | > 60 | > 65 | > 65 | > 60 | < 70 |
| Ti/Y | > 500 | > 350 | > 350 | > 300 | < 330 | < 330 |
| Zr/Y | > 6,5 | > 5,5 | 4,0 - 7,0 | 3,5 - 7,0 | 2,0 - 5,0 | 3,5 - 6,5 |
| Sr/Y | > 14 | > 8 | 4,5 - 15 | 5 - 17 | < 9 | < 13 |
| Ba/Y | > 14 | > 9 | 5 - 19 | 6 - 19 | < 12 | < 19 |

menor e razão Ti/Zr e ϵ_{Nd} maior do que o tipo Gramado. Já os magmas de alto Ti possuem largo espectro de teores de TiO_2 (1,5 - 4,1 %), mas semelhantes quando normalizados ao manto primitivo, porém com distintas razões Ti/Y (e.g. Ribeira ~ 360 , Paranapanema ~ 410 e Pitanga ~ 530). As anomalias de Nb-Ta são semelhantes nos três tipos (Nb/La $\sim 0,64$), enquanto o magma Urubici é semelhante ao Pitanga, mas mais rico em elementos incompatíveis e teores de Sr > 550 ppm e $Fe_2O_3 < 14,5$ % (Tabela 4.1.2).

As rochas com baixa razão Ti/Y compõem dois grupos, um da série alto SiO_2 , representada por dacitos e riodacitos, e outro de baixo SiO_2 . As rochas de baixo SiO_2 variam entre basaltos picríticos, basaltos e basalto andesíticos, e contém olivina ou quartzo normativos (CIPW). Rochas de baixo SiO_2 e baixo Ti também são pobres em Nb e possuem baixas razões Na_2O/K_2O e Zr/Y. Estas características colocam as rochas de baixo SiO_2 dentro dos limites de basaltos continentais de baixo Ti (Zr/Y < 6 e Ti/Y < 410) propostos por Erlank *et al.* (1988) e Peate *et al.* (1992).

Segundo Bellieni *et al.* (1986), nas rochas de alto SiO_2 , entre dacitos e riodacitos, os conteúdos de elementos incompatíveis permitem reconhecer dois grupos de magma, um de baixo conteúdo, denominado tipo Palmas, e outro de alto ou tipo Chapecó.

4.2 LITOGEOQUÍMICA DOS DERRAMES DO SUDOESTE DO PARANÁ

Neste panorama geoquímico do magmatismo Serra Geral insere-se o conjunto de rochas que afloram no Sudoeste do Paraná e que compõem um pacote com cerca de 745 m de espessura aflorante de basaltos, ao longo do qual foram coletadas amostras estratigraficamente posicionadas. A amostragem visou visualizar o conjunto litológico no tempo e no espaço. A comparação entre os dados da região com os da totalidade da diversidade litológica da bacia (Nakamura *et al.* 2002), também propiciou identificar a parcela do magmatismo Serra Geral que está representada no depocentro da Bacia do Paraná, área deste projeto. Para tanto foram selecionadas 83 amostras de rocha, igualmente distribuídas em toda a espessura do pacote, às quais foram adicionadas ao conjunto de 23 amostras coletadas durante o Projeto JICA-CPRM (Nakamura *et al.*, 2002; 2003, 2003), o que totalizou dados analíticos sobre óxidos de elementos maiores e elementos menores e traços de 106 amostras (Vide CD).

A figura 4.2.1a mostra que os dados das amostras se inserem no campo dos basaltos, com teores de SiO_2 entre 46,55 e 51,43% e de $Na_2O + K_2O$ entre 2,49 e 4,07%, abaixo do campo traquítico intermediário, reflexo da sua característica tholeiítica. Classificação semelhante se obtém com o diagrama da figura 4.2.1b. Os diagramas também mostram que o conjunto estratigráfico

cartografado contém apenas basaltos, com ausência de riólitos e riodacitos. Considerando a homogeneidade química das amostras analisadas, procedeu-se à identificação das variações composicionais relacionadas à evolução petrológica, correlação com magmas definidos na literatura e eventuais contaminações crustais das amostras analisadas.

As variações composicionais podem ser observadas em diagramas de comportamento dos elementos maiores e traços *versus* mg # = $Mg/(Mg + Fe_1)$ (Figs. 4.2.3a e b). Nos diagramas, os pontos estão identificados por símbolos diferentes, correspondentes a cada fácies cartografada, agrupadas em 4 conjuntos. Os teores de SiO_2 variam de 45,75 a 54,24% e os de MgO de 2,95 a 7,18, em correlação negativa. Em geral, com o aumento do #mg decrescem Fe_2O_3 , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 e K_2O e crescem CaO e Al_2O_3 , características próprias da evolução de rochas básicas, onde termos mais evoluídos, com menores teores de MgO e maiores de SiO_2 , adquirem minerais mais sódicos em substituição aos cálcicos, e maiores teores de Fe. Também crescem os teores de K, apesar de baixos em toda a seqüência, situados entre 0,48 e 3,5% e média em torno de 1%. Os teores de TiO_2 , utilizados na classificação dos basaltos Serra Geral, situam-se entre 1,59 e 3,87%, mas a maioria das amostras contém menos de 2,5%.

Características semelhantes se verificam nos elementos traços (Fig.4.2.3b), pela correlação positiva do Sr com o #mg e negativa de Y, Yb, Zr e Th, de acordo com o comportamento dos elementos maiores.

Quanto ao arranjo das amostras de cada uma das unidades cartografadas, constata-se a existência de três grupos definidos pelos teores de TiO_2 . No grupo de baixo Ti, os termos menos evoluídos são representados pelas amostras da fácies Capanema (lozangos azuis), os intermediários pelas amostras da fácies Campos Novos (lozangos verdes) e os mais evoluídos correspondem às da fácies Cordilheira Alta (lozangos bordô). Assim, de modo geral, tanto elementos maiores quanto os traços refletem as características geoquímicas do pacote de basaltos.

A subdivisão dos basaltos em magmas de alto e baixo TiO_2 proposta por Attala *et al.* (1982) e adotada por Bellieni *et al.* (1984a), Mantovani *et al.* (1985) e Peate *et al.* (1992) foi, posteriormente, acrescida de um grupo intermediário por Piccirillo *et al.* (1989), Garland *et al.* (1995) e Nakamura *et al.* (2002). Os três tipos estão representados nas amostras da área do projeto, como mostram os diagramas Fe_2O_3 *versus* TiO_2 e TiO_2 *versus* MgO (Figs. 4.2.4a e b). Estes foram acrescidos das amostras que representam a variação litoquímica completa das vulcânicas da bacia (fundo cinza), para permitir a comparação com as amostras do Sudoeste do Paraná. A distribuição dos dados das amostras da área estudada mostra que a maioria dos basaltos de baixo-Ti e alto Fe_2O_3 se sobrepõem ao campo do magma tipo Paranapanema, correspondente às fácies Capanema,

Tabela 4.1.1 – Critérios de classificação dos tipos de magmas basálticos (compilado de Peate et al., 1992).

| | Basaltos baixo TiO ₂ | | | Basaltos alto TiO ₂ | | | Riolitos | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------|---------|--------------------------------|---------|---------|---------------|-------------|------------|----------|
| | Gramado | Esmeralda | Ribeira | Parapanema | Pitinga | Urubici | Palmas | | Chapecó | |
| | | | | | | | Caxias do Sul | Santa Maria | Guarapuava | Ourinhos |
| SiO ₂ | 53,68 | 51,33 | 50,48 | 50,21 | 50,52 | 51,77 | 68,07 | 71,19 | 65,57 | 66,88 |
| TiO ₂ | 1,43 | 1,55 | 1,80 | 2,31 | 3,53 | 3,74 | 0,99 | 0,72 | 1,41 | 1,15 |
| Al ₂ O ₅ | 14,26 | 13,82 | 14,56 | 13,20 | 12,90 | 13,32 | 12,97 | 12,54 | 13,22 | 13,36 |
| Fe ₂ O ₃ (t) | 12,64 | 14,25 | 13,74 | 14,92 | 15,19 | 13,24 | 6,36 | 5,23 | 7,30 | 6,57 |
| MnO | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,22 | 0,22 | 0,17 | 0,10 | 0,09 | 0,14 | 0,12 |
| MgO | 4,90 | 5,39 | 5,62 | 5,36 | 4,36 | 4,53 | 1,30 | 0,83 | 1,35 | 1,24 |
| CaO | 8,64 | 9,80 | 10,06 | 9,69 | 8,34 | 8,19 | 2,94 | 1,91 | 3,06 | 2,51 |
| Na ₂ O | 2,68 | 2,63 | 2,49 | 2,79 | 2,92 | 2,80 | 3,07 | 2,64 | 3,46 | 3,38 |
| K ₂ O | 1,33 | 0,83 | 0,79 | 0,99 | 1,48 | 1,71 | 3,92 | 4,64 | 4,03 | 4,43 |
| P ₂ O ₅ | 0,21 | 0,20 | 0,25 | 0,31 | 0,56 | 0,54 | 0,27 | 0,20 | 0,46 | 0,36 |
| Ni | 42 | 52 | 77 | 51 | 30 | 54 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| Rb | 45 | 27 | 17 | 21 | 32 | 37 | 168 | 206 | 98 | 138 |
| Sr | 238 | 191 | 288 | 306 | 466 | 768 | 135 | 107 | 375 | 326 |
| Y | 33 | 34 | 29 | 35 | 41 | 38 | 55 | 76 | 78 | 66 |
| Zr | 166 | 131 | 135 | 174 | 268 | 307 | 267 | 322 | 661 | 572 |
| Nb | 14 | 10 | 11 | 15 | 25 | 28 | | | | |
| Ba | 388 | 240 | 337 | 290 | 484 | 636 | 664 | 693 | 1056 | 1208 |
| | n = 121 | n = 70 | n = 26 | n = 33 | n = 82 | n = 65 | n = 132 | n = 42 | n = 40 | n = 39 |

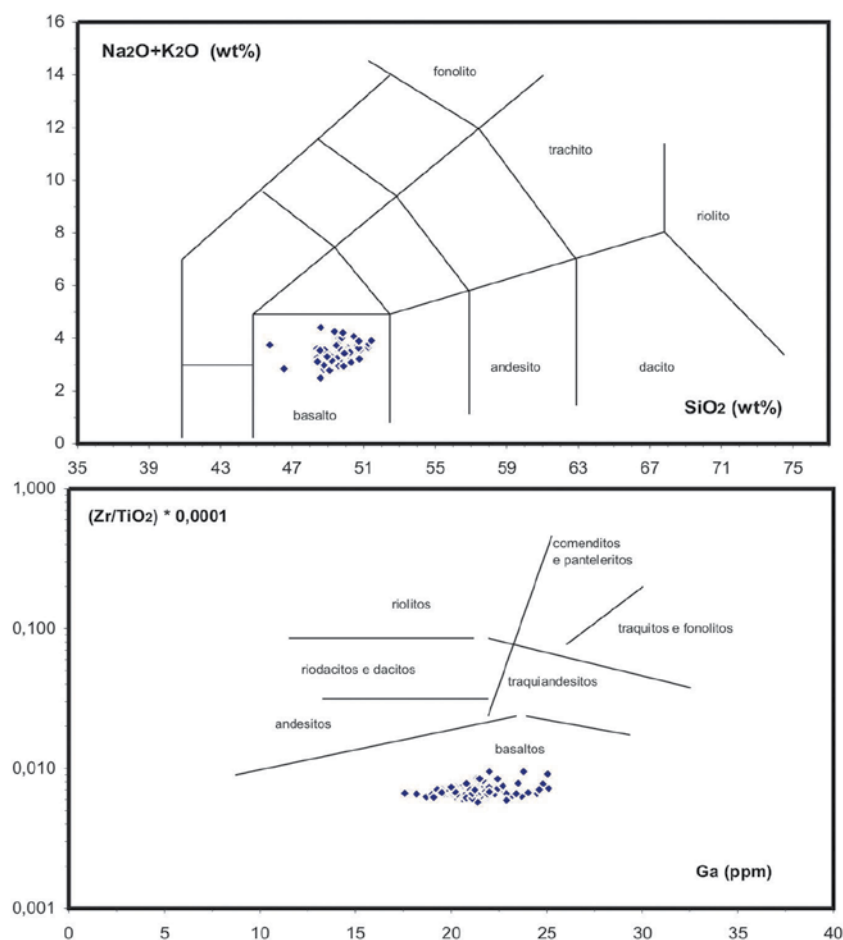


Figura 4.2.1 – Diagramas de classificação de rochas vulcânicas e posição das 106 amostras analisadas do projeto. **A** - diagrama de álcalis vs sílica (TAS) de Le Bas et al., (1986); **B** - diagrama Ga x Zr/TiO₂ de LeMaitre et al., (1976).

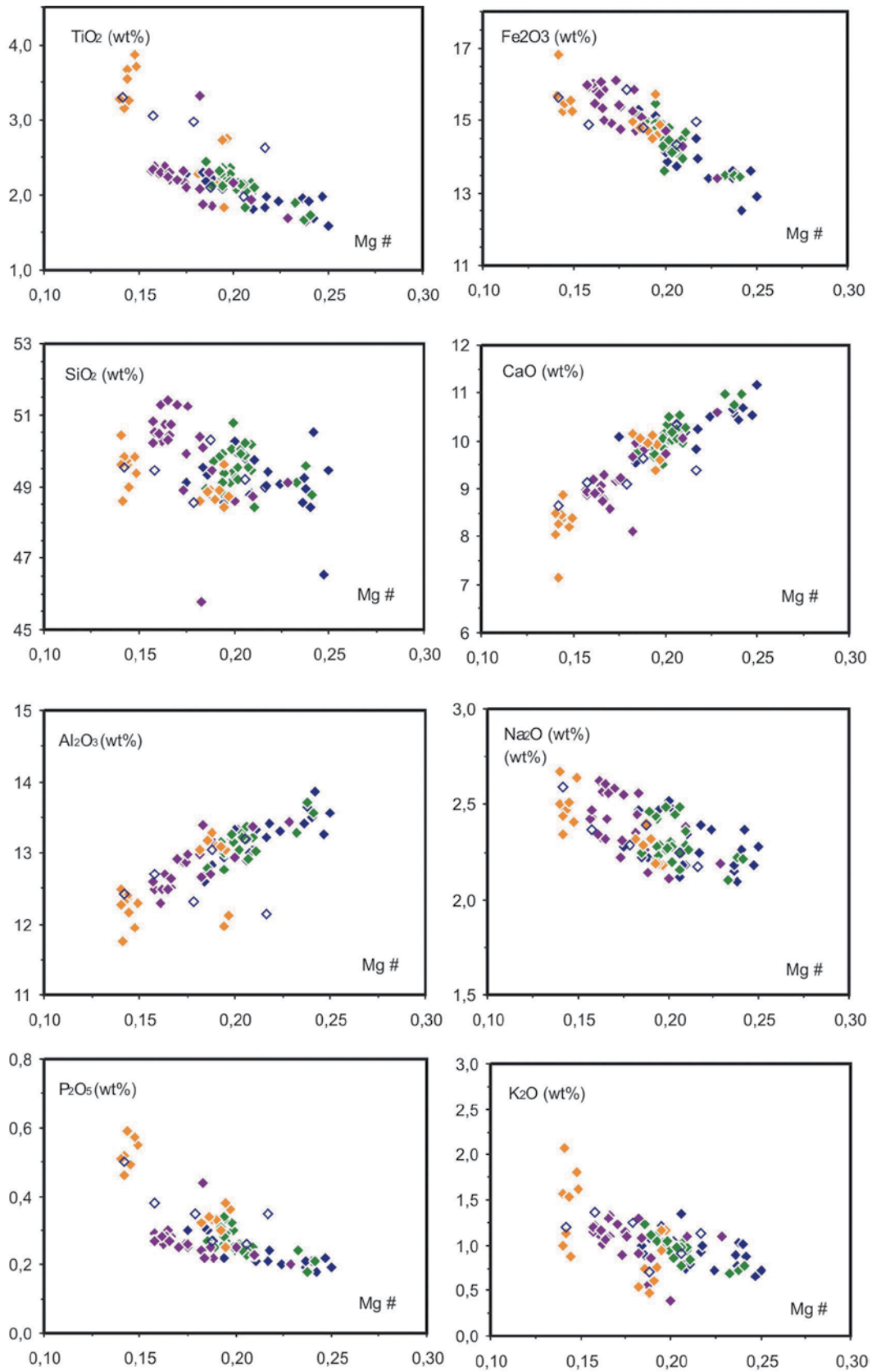


Figura 4.2.2 – Diagramas de Harker de variação dos elementos maiores (a) e elementos traço (b) com o #mg. Símbolos: losangos **amarelos** = Fácies Nova Laranjeiras; losangos **bordô** = Fácies Cordilheira Alta; losangos **verdes** = Fácies Campos Novos; losangos **azuis** = Fácies Capanema; losangos **vazados** = diques.

Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná

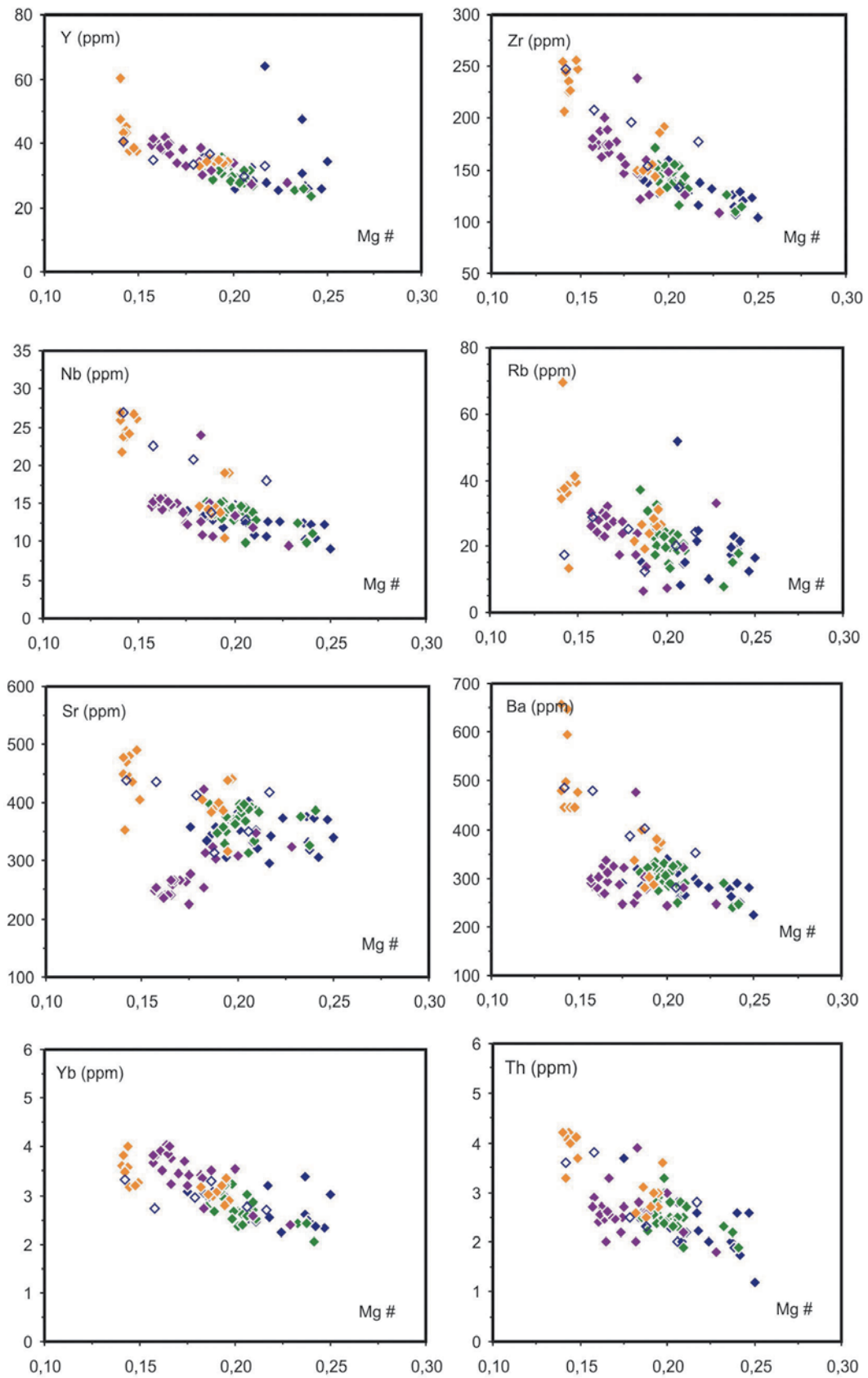


Figura 4.2.3 – Diagramas TiO_2 vs Fe_2O_3 e MgO . As linhas delimitam os magmas de baixo, médio e alto TiO_2 . Símbolos como na Figura 4.2.2. acrescidos das amostras que representam a variação composicional dos basaltos da bacia, representada em fundo cinza.

Cordilheira Alta e Campos Novos, ao passo que um conjunto menor coincide com teores de Ti intermediários, correspondente ao magma do tipo Pitanga, da fácies Nova Laranjeiras. A presença dos três grupos é mais expressiva no diagrama TiO_2 versus MgO (Fig 4.2.4b), com ausência dos termos de alto MgO na área estudada.

No diagrama Zr/Y versus Sr (Fig. 4.2.5), que mostra os campos dos magmas Paranapanema, Pitanga e Urubici, os dados das amostras da área concentram-se nos campos dos dois primeiros, sem correspondência ao magma Urubici.

Os padrões de Elementos de Terras Raras (ETR) das amostras do grupo baixo-Ti, normalizados ao condrito C1 de Evensen *et al.* (1978), são semelhantes e diferem das amostras alto-Ti (Figs. 4.2.6b e c). Em geral mostram enriquecimento em ETRL relativamente aos ETRP, com razões $(\text{La/Lu})_n$ de 4,47 nas amostras da fácies Cordilheira Alta, 5,53 nas de Campos Novos e 5,24, em contraste com as amostras da fácies Nova Laranjeiras, de 6,55. Nenhum dos grupos de amostras contem anomalias de Eu e os valores de Eu/Eu^* são desprezíveis, o que sugere que a evolução dos magmas não envolveu o fracionamento de plagioclásio. Apesar dos basaltos de alto-Ti da fácies Nova Laranjeiras possuírem padrão semelhante às demais, o $\text{ETR}_{(n)}$ (859) e os valores de $\text{Lu}_{(n)}$ (91 a 174, média de 127,39), contrastam com o $\text{ETR}_{(n)}$ (657) e os valores de $\text{Lu}_{(n)}$ (65 a 109, média de 87,84) das demais fácies. Estes padrões, quando comparados com os do conjunto de magmas Serra Geral (Fig. 4.2.6a), se justapõem tanto ao tipo alto-Ti (Pitanga), equivalente à fácies Nova Laranjeiras, quanto aos de Ti intermediário, das fácies Cordilheira Alta e Capanema, com destaque à fácies Campos Novos, com teores levemente mais elevados de ETR.

O comportamento litoquímico das fácies da área também pode ser expresso por diagramas multielementares (Figs. 4.2.7a e b), os quais mostram fortes anomalias positivas de elementos mais móveis, situados entre o Rb e o U, e anomalias positivas mais tênues entre o Nb e o Sr, exceto o La, de anomalia positiva. Quando separados por unidade, as diferenças entre, por exemplo, as fácies Nova Laranjeiras e Campos Novos tornam-se mais claras, onde a primeira é mais anômala em Ba, Th e Nb, o que sugere contaminação crustal. Já os padrões das fácies Campos Novos e Cordilheira Alta se distinguem apenas pelas pequenas anomalias negativas de Sr, positivas de Zr e valores mais baixos do Hf ao Y, que, na fácies Cordilheira são próximos aos valores mantélicos. Isto sugere que a fusão parcial foi mais efetiva na formação destas fácies, em contraste com a contaminação crustal da fácies Nova Laranjeiras.

4.3 CONCLUSÕES

Os dados litogeoquímicos das amostras coletadas na área mostram que estas não diferem do comportamento geral dos basaltos da Formação Serra Geral como um todo. Comparativamente à seção completa de rochas vulcânicas da formação, no entanto, a área não contém termos félsicos, a exemplo de outras regiões da Bacia do Paraná. Por outro lado, coexistem, na área, basaltos de TiO_2 intermediário e alto, com amplo predomínio dos de TiO_2 intermediário, subordinadamente alto, o que indica que a área do projeto se situa na fronteira entre o domínio de basaltos de alto TiO_2 do norte da bacia e o de baixo TiO_2 do sul. Adicionalmente, a maioria das amostras possui composição compatível com o magma Paranapanema, subordinadamente Pitanga, com a ausência de representantes do magma Urubici.

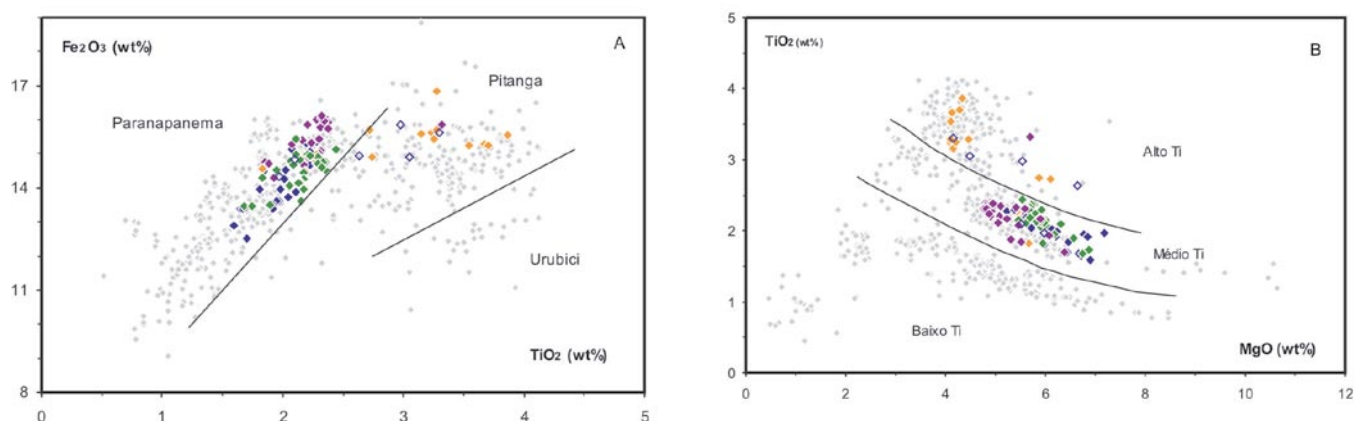


Figura 4.2.4 - Diagramas (A) Fe_2O_3 versus TiO_2 e (B) TiO_2 versus MgO das amostras do sudoeste do Paraná. Pontos de fundo em cinza representam dos dados da Formação Serra Geral com um todo obtidos por Nakamura *et al.* (2002).

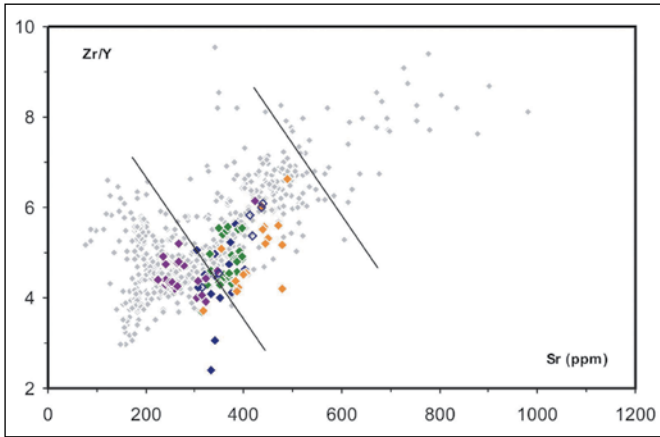


Figura 4.2.5 - Diagramas de razões de elementos incompatíveis e campos de estabilidade dos diferentes tipos de magma aflorantes na região. Símbolos como na Figura 3.7.2.

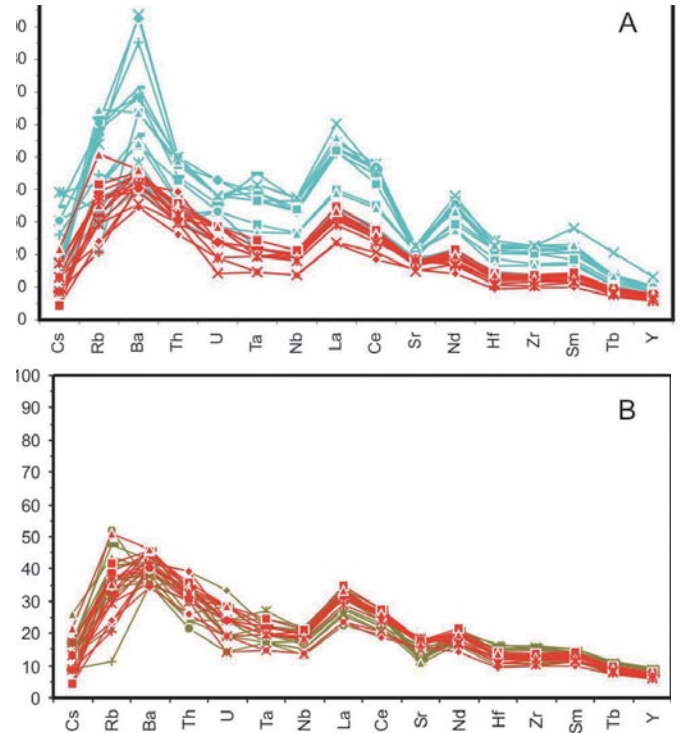


Figura 4.2.7 - Diagramas multielementares em ordem crescente de incompatibilidade normalizados ao manto primitivo de McDonough et al., (1979) e que mostra, de forma comparativa, a distribuição dos elementos entre as Fácies **A**- Nova Laranjeiras (azul) e Campos Novos (vermelho), e **B**- entre Campos Novos e Cordilheira Alta (verde).

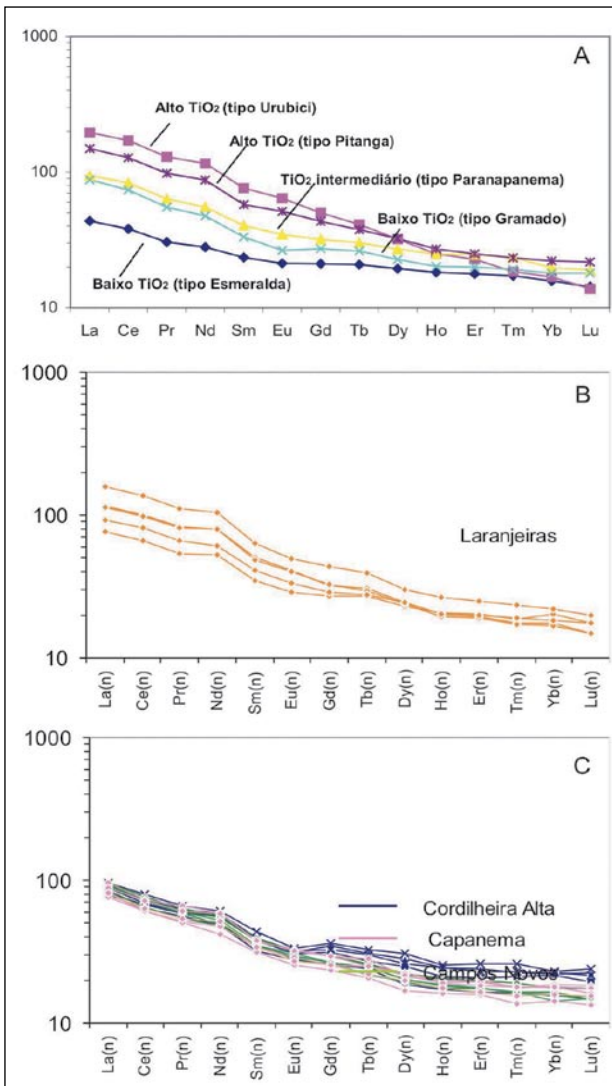


Figura 4.2.6 - Padrões de ETR das diferentes associações de rocha da área, divididos entre as amostras das fácies **A** - alto Ti e **C** - baixo-Ti, em comparação com **A** - que expressa os dados médios dos padrões da província.

Reinaldo Santana Correia de Brito
Luciana Viana de Melo
Vicente Sérgio Costa

5.1 INTRODUÇÃO

O magmatismo Serra Geral tem sido objeto de subdivisões faciológicas baseadas principalmente nas características litoquímicas das rochas (Bellieni *et al.*, 1984a; Petrini *et al.*, 1987; Piccirillo *et al.*, 1989; Mantovani *et al.*, 1988; Peate *et al.*, 1992; Garland *et al.*, 1996). De acordo com o conteúdo de TiO_2 , foram reconhecidos dois grupos principais de derrames, geograficamente separados. Basaltos de alto Ti ($> 2\% TiO_2$) dominam no norte da bacia e os de baixo Ti ($< 2\% TiO_2$) no sul. Os basaltos de alto Ti são relativamente mais enriquecidos em elementos incompatíveis do que os de baixo Ti. Uma classificação mais completa foi feita por Peate *et al.* (1992, 1999), a qual distingue seis tipos de magmas com base nas razões e abundância de elementos maiores e traços. Esses tipos correspondem amplamente às variedades de baixo Ti (Gramado e Esmeralda) e alto Ti (Urubici, Pitanga, Paranapanema e Ribeira).

As composições isotópicas desses magmas diferem dentro de cada grupo. As fácies de alto Ti possuem razões iniciais $^{87}Sr/^{86}Sr$ entre 0,704-0,706 e ϵ_{Nd} negativo (-4,6 a -2,5), enquanto que as de baixo Ti têm razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ entre 0,707-0,710 e ϵ_{Nd} fortemente negativos, entre -7,9 a -3,5 (Peate *et al.*, 1992). Dentre o grupo de alto Ti, os magmas Pitanga, Paranapanema e Ribeira têm razões isotópicas ϵ_{Sr} e ϵ_{Nd} semelhantes e são menos enriquecidos se comparados ao magma Urubici, cujas razões variam muito menos. No grupo de baixo Ti, o magma Gramado tem alta razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7075-0,7167) e baixo ϵ_{Nd} (-8 a -3), ao passo que o magma Esmeralda tem baixa razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7046-0,7086) e alto ϵ_{Nd} (-4 a +3). Ambos tipos têm composições radiogênicas $^{206}Pb/^{204}Pb$ mais altas comparadas às dos basaltos de alto Ti. Entretanto, no magma Esmeralda a variação dos valores de isótopos de Pb é mais restrita ($^{206}Pb/^{204}Pb = 18,5-18,8$) quando comparada ao magma Gramado ($^{206}Pb/^{204}Pb = 17,9-19,1$) (Peate & Hawkesworth, 1996).

5.2 RESULTADOS DOS ISÓTOPOS SR-ND-PB

Análises isotópicas pelos métodos Rb/Sr, Sm/Nd e Pb/Pb foram feitas em 18 amostras de lavas basálticas, das quais 5 do magma Esmeralda, 4 do Pitanga e 9 do Paranapanema. As razões isotópicas iniciais de Nd e Sr foram calculadas para $T = 125$ Ma, por representar a

5 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA E GEOCRONOLOGIA AR-AR

idade mais jovem e, portanto, o tempo mínimo de cristalização das lavas da Formação Serra Geral. Os resultados das análises estão sintetizados na Tabela 5.2.1.

Os resultados das razões isotópicas iniciais de $^{87}Sr/^{86}Sr$ mostram pouca variação (0,704925 a 0,708991) e valores de $\epsilon_{Nd}(T)$ são negativos e situam-se entre -4,7 e -3 (Fig. 7.2.1) (Fig. 5.2.1). A razão inicial de Pb também tem espectro pouco amplo, com ($^{206}Pb/^{204}Pb$)_i, ($^{207}Pb/^{204}Pb$)_i e ($^{208}Pb/^{204}Pb$)_i de 17,78 a 18,17, de 15,46 a 15,58 e de 38,22 a 38,54, respectivamente (Fig. 5.2.2).

Na figura 5.2.1 as amostras dos magmas Esmeralda, Pitanga e Paranapanema definem apenas um grupo. Duas amostras do magma Esmeralda (SC-58C, SC-56) e uma do Paranapanema (SC-56) têm razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ mais alta se comparadas com as outras amostras desses magmas, porém razão $^{143}Nd/^{144}Nd$ semelhante. A diferença na razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ pode ser atribuída à contaminação crustal por rochas sedimentares ricas em Rb. A semelhança das razões $^{143}Nd/^{144}Nd$ entre as amostras desses magmas indica que estas podem ter se formado a partir de uma mesma fonte.

A razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ do magma Esmeralda é baixa e pouco variável (0,7054 a 0,7061), com valores de ϵ_{Sr} entre 15,3 e 25,26. O magma Pitanga tem razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7055-0,7074) variável e valor de ϵ_{Sr} entre 16,7 e 44,1. O magma Paranapanema tem razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7047-0,7059) pouco variável e valor ϵ_{Sr} de 11,9 a 22,7.

As amostras de basaltos dos três tipos de magma têm composições radiogênicas $^{206}Pb/^{204}Pb$ similares (Fig. 5.2.2). Entretanto, nas amostras do magma Esmeralda a variação dos valores de isótopos de Pb ($^{206}Pb/^{204}Pb$ 17,78 – 18,17) é maior quando comparada com a dos magmas Pitanga e Paranapanema ($^{206}Pb/^{204}Pb$ 17,80 – 17,88 e 17,91 – 18,07). Nas amostras do grupo de alto Ti, a composição radiogênica $^{207}Pb/^{204}Pb$ do magma Pitanga é mais baixa do que a do Paranapanema. Entretanto, o magma Esmeralda, de baixo Ti, tem composição $^{207}Pb/^{204}Pb$ muito mais radiogênica quando comparada aos de alto Ti, exceto uma amostra de valor muito baixo. Essa mesma assinatura isotópica é observada na composição radiogênica $^{208}Pb/^{204}Pb$ (Fig. 5.2.3). No diagrama $^{208}Pb/^{204}Pb$ vs $^{87}Sr/^{86}Sr$ (Fig. 5.2.4), que contém todo espectro dos basaltos da Bacia do Paraná, a maioria das amostras plotam nos campos dos magmas de alto Ti (Pitanga e Paranapanema), outras no campo dos de baixo Ti (Esmeralda).

5.3 IDADES $^{40}Ar/^{39}Ar$

As determinações das idades do magmatismo Serra Geral pelo método $^{40}Ar/^{39}Ar$ (Renne *et al.*, 1992;

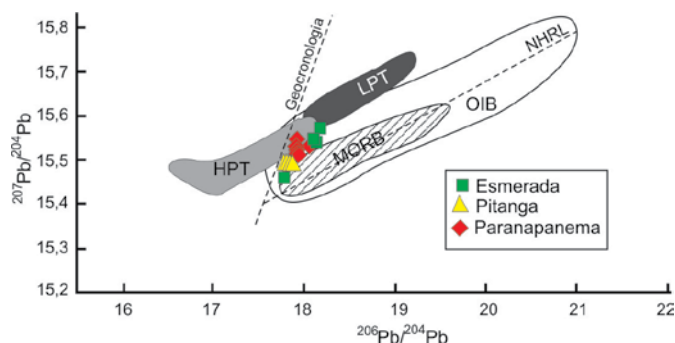


Figura 5.2.2 – Diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de basaltos da Bacia do Paraná. As amostras plotam no campo dos basaltos de ilha oceânica (OIB), mas algumas tanto no campo dos magmas de alto-Ti (HPT) como nos de baixo-Ti (LPT).

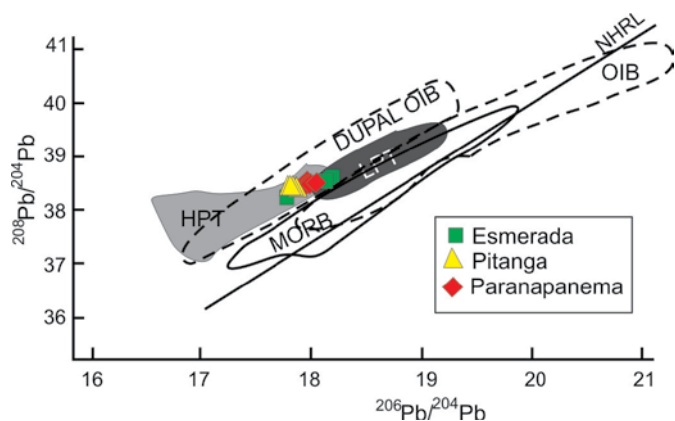


Figura 5.2.3 – Diagrama $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dos basaltos da Bacia do Paraná. A maioria das amostras plotam nos campos dos magmas de alto-Ti (Pitanga e Paranapanema), outras no campo dos de baixo-Ti (Esmeralda). HPT- magmas de alto-Ti; LPT – magmas de baixo-Ti; OIB – basaltos de ilhas oceânicas.

125 e 119 Ma, registram os estágios finais desse magmatismo e relacionado à colocação de diques (Renne, 1992; Turner *et al.*, 1994; Stewart *et al.*, 1996; Renne, 1997; Hawkesworth *et al.*, 2000). A duração total do magmatismo Paraná parece ser de 10 Ma, em contraste com o curto intervalo de tempo inferido para muitos derrames basálticos continentais e consistente com o modelo de magma produzido pela condução de calor em manto litosférico heterogêneo e com voláteis.

5.3.1 DATAÇÃO $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

Procedimento Analítico Quatro amostras de plagioclásio (WW-32, WW-33b, WW-35 e WW-39) foram separadas para análises geocronológicas pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. As amostras foram preparadas no John de Laeter Centre of Mass Spectrometry, University of Western Australian, as quais foram lavadas com metanol

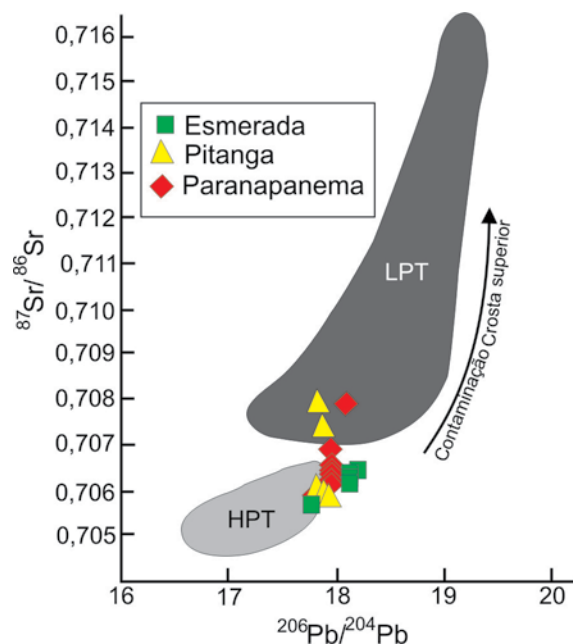


Figura 5.2.4 – Diagrama $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos basaltos da Bacia do Paraná. A maioria das amostras plotam nos campos dos magmas de alto-Ti (Pitanga e Paranapanema), outras no campo dos de baixo-Ti (Esmeralda). HPT- magmas de alto-Ti; LPT – magmas de baixo-Ti; OIB – basaltos de ilhas oceânicas.

para banho em ultra-som e, após, com água destilada até completa limpeza dos grãos. As amostras foram individualmente depositadas em disco de alumínio junto com o padrão de biotita Tinto B de idade K-Ar de 409,24 Ma (Rex & Guise, 1995) e irradiadas com neutrons por cerca de 89,1hs no reator da McMaster University, Hamilton, Canadá. Após irradiação, as amostras foram colocadas em disco em uma câmara conectada a espectrômetro de massa MAP-215-50e ativadas por sonda iônica a laser contínuo de neodímio-ítrio-alumínio-granada de 110W, com linha de extração de vácuo ultra-alto. Os resultados analíticos constam da Tabela 5.3.1. Todos os erros são fornecidos para 1σ . Os espectros de idade e diagramas de correlação foram produzidos com emprego do software Isoplot/Ex (Ludwig, 2000).

Resultados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Os resultados são apresentados em diagramas que relaciona idade aparente vs percentagem de argônio liberado (% ^{39}Ar), o qual fornece a idade aparente em cada degrau aquecido e idade patamar (*plateau age*). A idade patamar foi definida pelo critério do Isoplot/Ex (Ludwig, 2000), que, neste trabalho, se adotou o conjunto de três ou mais degraus consecutivos com mais que 30% do total de ^{39}Ar . No cálculo da idade isocrônica empregou-se o diagrama de correlação dos isótopos $^{39}\text{Ar}/\text{Ar}^{40}$ vs $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ (Ludwig, 2000). Os resultados geocronológicos obtidos constam da Tabela 5.3.2.

Amostra WW-32: O espectro de idade dessa amostra decresce nos seis primeiros degraus, fruto da perda

de argônio radiogênico (*Ar), mas nos últimos resulta em platô que forneceu idade patamar de $128 \pm 1,1$ Ma (Fig. 5.3.1) definida por quatro degraus consecutivos de aquecimento com 32% do total de ^{39}Ar liberado. No diagrama $^{39}\text{Ar}/\text{Ar}^{40}$ vs $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ (Fig. 5.3.2) os resultados forneceram a idade de $123 \pm 3,7$ Ma, com bom alinhamento e intercepto $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ de 403 ± 47 , valor esse bem maior do que o de argônio atmosférico (295,5). Isso indica que, nessa amostra, há excesso de ^{40}Ar resultante de perturbação térmica.

Amostra WW-33b: O espectro dessa amostra é variável, por vezes ascendente a partir do terceiro degrau, com evidência de perda de argônio nos degraus de baixa temperatura e excesso de argônio nos de alta. O distúrbio é de tal ordem que não forneceu idade patamar pelo critério do Isoplot/Ex (Ludwig, 2000). Entretanto, o ajuste foi forçado com o emprego de cinco degraus com 45,8% de gás liberado e nível de confiança de 95%, o que resultou na idade de $128 \pm 0,3$ Ma (Figura 5.3.3). O

diagrama de correlação de isótopos não forneceu espalhamento. A linha forçada dos degraus fornece idade de $128 \pm 4,8$ Ma (Fig. 5.3.4) e intercepto $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ de 294 ± 110 , valor esse próximo ao do argônio atmosférico, mas com incertezas resultantes de perda e/ou excesso de argônio radiogênico.

Amostra WW-35: O espectro dessa amostra é variável, com excesso de argônio nos dois primeiros degraus de baixa temperatura e perda de $^{40}\text{Ar}^*$ nas de alta. Essa amostra também não forneceu idade patamar, mas seu ajuste forçado com o emprego de seis degraus consecutivos com 50% do gás liberado para 95% do nível de confiança forneceu idade de $123 \pm 1,7$ Ma (Fig. 5.3.5). O diagrama de correlação de isótopos não forneceu *trend* linear e a idade é de 121 ± 17 Ma (Fig. 5.3.6), com intercepto $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ de 399 ± 299 . Essa idade, com erro grande e bem maior que a do argônio atmosférico, implica em falta de significado geológico.

Tabela 5.3.1 – Resultados analíticos dos dados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em plagioclásio de amostras de basalto da Bacia do Paraná.

| Amostra | $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ | $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ | % Rad % $^{40}/(^{40}+^{40atm})$ | Idade (Ma) | Is± (Ma) | J | Is ± J |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|----------|----------|
| WW-32 | 9.45 | 0.01548 | 6.10 | 0.00955 | 6.62 | 70.119 | 143.00 | 2.71 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 8.10 | 0.01343 | 6.21 | 0.00590 | 6.36 | 78.465 | 137.47 | 0.96 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 7.05 | 0.01185 | 6.66 | 0.00314 | 6.12 | 86.845 | 132.56 | 2.09 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.87 | 0.01307 | 12.31 | 0.00307 | 5.97 | 86.814 | 129.29 | 0.80 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.69 | 0.01278 | 14.89 | 0.00314 | 5.76 | 86.141 | 125.08 | 1.61 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.78 | 0.01312 | 13.82 | 0.00626 | 4.93 | 72.728 | 107.57 | 1.31 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.72 | 0.01443 | 9.89 | 0.00279 | 5.90 | 87.738 | 127.89 | 0.95 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.41 | 0.01379 | 11.31 | 0.00156 | 5.95 | 92.790 | 128.91 | 0.84 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.46 | 0.01343 | 14.32 | 0.00173 | 5.94 | 92.063 | 128.86 | 1.52 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-32 | 6.32 | 0.01072 | 13.44 | 0.00156 | 5.86 | 92.711 | 127.07 | 2.30 | 0.012455 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 9.41 | 0.01501 | 6.81 | 0.00829 | 6.96 | 73.966 | 150.05 | 4.16 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 7.30 | 0.01262 | 6.67 | 0.00448 | 5.97 | 81.851 | 129.46 | 1.63 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.46 | 0.01162 | 6.54 | 0.00168 | 5.97 | 92.343 | 129.39 | 0.64 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.42 | 0.01207 | 6.18 | 0.00200 | 5.83 | 90.789 | 126.49 | 0.64 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.25 | 0.01253 | 6.79 | 0.00129 | 5.87 | 93.905 | 127.37 | 0.63 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.22 | 0.01301 | 7.47 | 0.00105 | 5.91 | 95.018 | 128.17 | 0.70 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.32 | 0.01276 | 6.52 | 0.00153 | 5.87 | 92.858 | 127.29 | 1.78 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.31 | 0.01087 | 6.07 | 0.00173 | 5.80 | 91.896 | 125.79 | 1.82 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.35 | 0.01277 | 7.65 | 0.00086 | 6.09 | 95.995 | 131.93 | 1.85 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.32 | 0.01288 | 6.65 | 0.00111 | 6.00 | 94.819 | 129.95 | 1.71 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-33b | 6.25 | 0.01317 | 8.47 | 0.00000 | 6.35 | 101.623 | 137.28 | 2.34 | 0.012456 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 7.75 | 0.01133 | 11.65 | 0.00492 | 6.30 | 81.232 | 136.21 | 0.71 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.88 | 0.01278 | 14.25 | 0.00276 | 6.07 | 88.163 | 131.48 | 0.64 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.36 | 0.01335 | 11.38 | 0.00248 | 5.63 | 88.501 | 122.27 | 0.60 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.32 | 0.01315 | 12.34 | 0.00189 | 5.76 | 91.157 | 124.98 | 0.62 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.31 | 0.01396 | 14.66 | 0.00176 | 5.79 | 91.772 | 125.73 | 1.00 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.46 | 0.01284 | 14.56 | 0.00280 | 5.63 | 87.204 | 122.33 | 1.09 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.44 | 0.01413 | 12.95 | 0.00224 | 5.78 | 89.735 | 125.42 | 0.66 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.25 | 0.01095 | 14.93 | 0.00208 | 5.63 | 90.153 | 122.36 | 0.67 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.47 | 0.01743 | 16.49 | 0.00423 | 5.22 | 80.663 | 113.58 | 2.61 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.31 | 0.01327 | 18.22 | 0.00250 | 5.57 | 88.289 | 120.98 | 1.88 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-35 | 6.32 | 0.01306 | 15.36 | 0.00301 | 5.43 | 85.912 | 118.04 | 0.59 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 8.91 | 0.01860 | 10.09 | 0.01185 | 5.41 | 60.710 | 117.70 | 4.79 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 7.24 | 0.01291 | 11.93 | 0.00525 | 5.69 | 78.569 | 123.55 | 0.79 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.52 | 0.01291 | 16.62 | 0.00285 | 5.68 | 87.096 | 123.33 | 0.63 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.48 | 0.01363 | 17.54 | 0.00417 | 5.25 | 80.988 | 114.24 | 0.63 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.33 | 0.01395 | 17.90 | 0.00298 | 5.45 | 86.094 | 118.48 | 0.63 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.42 | 0.01360 | 19.76 | 0.00334 | 5.44 | 84.621 | 118.22 | 0.68 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.36 | 0.01263 | 18.36 | 0.00220 | 5.72 | 89.805 | 124.08 | 1.13 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.36 | 0.01321 | 20.43 | 0.00273 | 5.56 | 87.343 | 120.78 | 1.05 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.27 | 0.01317 | 19.15 | 0.00318 | 5.33 | 84.990 | 115.89 | 0.98 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.30 | 0.01318 | 17.50 | 0.00294 | 5.43 | 86.205 | 118.08 | 0.69 | 0.012457 | 6.20E-05 |
| WW-39 | 6.33 | 0.01223 | 18.51 | 0.00197 | 5.75 | 90.826 | 124.79 | 0.82 | 0.012457 | 6.20E-05 |

Tabela 5.3.2 – Resultados geocronológicos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em plagioclásio de amostras de basalto da Bacia do Paraná.

| Amostra | Fácies | Localidade | Idade (Ma) | | |
|---------|------------|-------------------|-----------------|-------------|--------------|
| | | | Platô | Isócrona | Fusão Total |
| WW-27 | Pitanga | Slto.Osório, PR | - | - | 206.6 ± 11.6 |
| WW-32 | Prp/C. Erê | Palma Sola, SC | 128.4 ± 1.1 W | 132.2 ± 3.7 | 128.8 ± 17.4 |
| WW-33 | Prp/C. Erê | Fl. da Se. SC/ PR | 128.25 ± 0.62 P | 128.0 ± 4.8 | 131.2 ± 13.4 |
| WW-35 | Esmeralda | E. Marques, PR | 123.8 ± 1.7 W | 121 ± 17 | 123.9 ± 11.6 |
| WW-39 | Capanema | Slto. Caxias, PR | 119.7 ± 2.6 W | 124.0 ± 3.1 | 119.9 ± 6.8 |

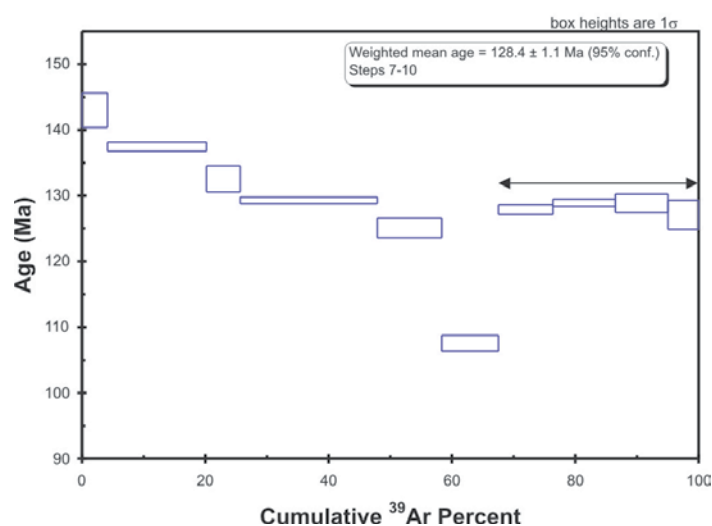


Figura 5.3.1 – Resultado do aquecimento em degraus da amostra de plagioclásio de basalto do magma Paranapanema.

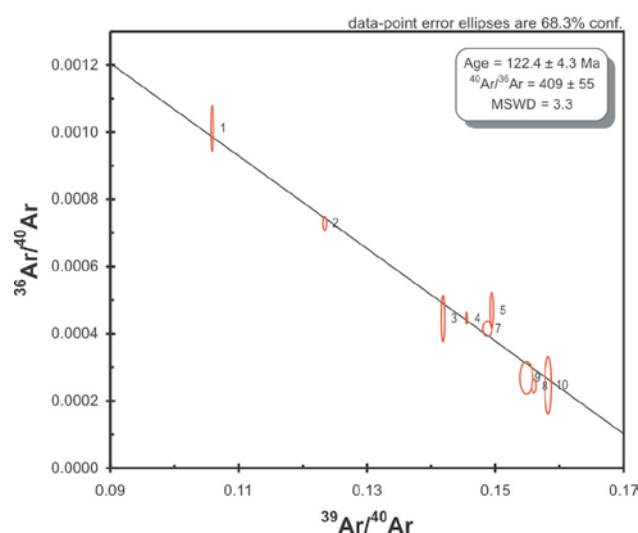


Figura 5.3.2 - Diagrama de correlação a partir da análise de plagioclásio da amostra de basalto do magma Paranapanema com bom alinhamento dos pontos e idade significativa.

Amostra WW-39: O espectro dessa amostra também é variável, com perda de argônio sob temperaturas baixas e altas. A obtenção da idade de $119 \pm 2,6$ Ma (Fig. 5.3.7) foi forçada para 10 degraus consecutivos com 98% do total de ^{39}Ar liberado e 95% do nível de confiança. O diagrama de correlação de isótopos forneceu bom alinhamento com cinco degraus e resultou na idade de $124 \pm 3,1$ Ma (Fig. 5.3.8) e intercepto $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ de 287 ± 43 , valor esse menor do que o de argônio atmosférico, o que seria esperado quando há perda de ^{40}Ar radiogênico.

As análises por aquecimento gradual pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em quatro grãos de plagioclásio de basaltos da Formação Serra Geral forneceram espectros discordantes de uns em relação aos outros, o que indica distúrbios no sistema isotópico durante a cristalização. Contudo, os resultados da amostra (WW-33) das lavas

da fácies Campo Erê, magma Paranapanema, geraram idade entre 128,2 e 123,2 Ma e da fácies Esmeralda, (WW-35), idade de 123 ± 8 . Apesar dos distúrbios, estas idades não diferem dos valores publicados.

5.4 CONCLUSÕES

As amostras de basalto representativas do magma Esmeralda (baixo Ti) têm composição isotópica de Sr baixa e pouco variável ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,7054 a 0,7061) e de isótopos de Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17,78 – 18,17) maiores comparado aos magmas do tipo alto Ti (Pitanga e Paranapanema). A composição isotópica de Sr das amostras dos magma Pitanga é mais variável ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,7055-0,7074) do que as do magma Esmeralda, mas menor do que a do magma Paranapanema. Entretanto, os valores de isótopo de Nd desses magmas são semelhantes e pouco variáveis. A assinatura isotópica

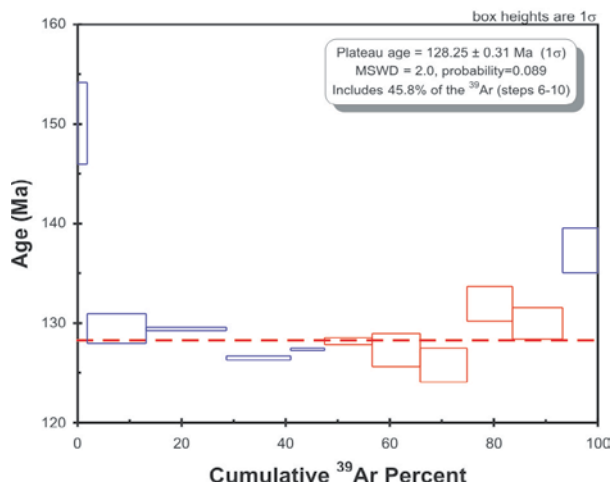


Figura 5.3.3- Resultado do aquecimento em degraus da amostra de plagioclásio de basalto do magma Paranapanema.

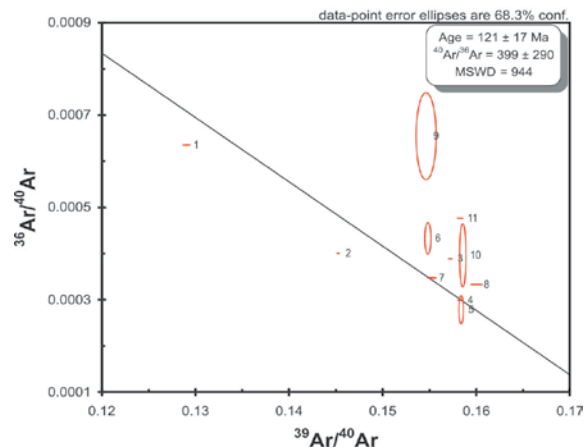


Figura 5.3.6 - Diagrama de correlação a partir da análise de plagioclásio de amostra de basalto do magma Esmeralda. O não alinhamento dos pontos não produz uma isócrona.

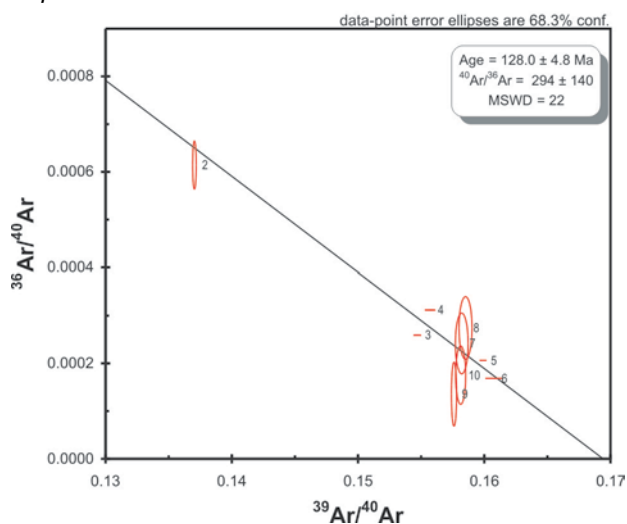


Figura 5.3.4 - Diagrama de correlação a partir da análise de plagioclásio de amostra de basalto do magma Paranapanema. O erro das elipses é alto e a ausência de alinhamento dos pontos não fornece isócrona.

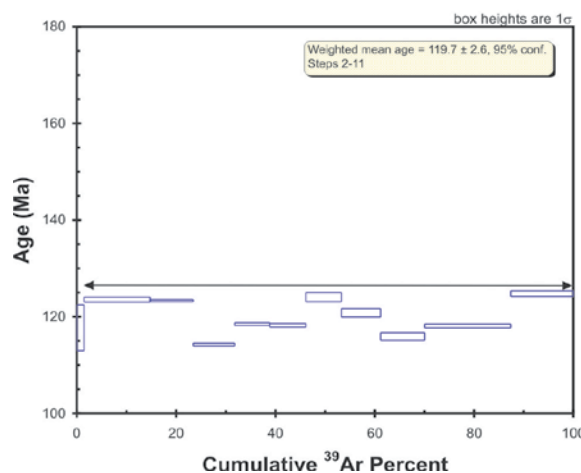


Figura 5.3.7 - Resultado do aquecimento em degraus da amostra de plagioclásio de basalto do magma Paranapanema.

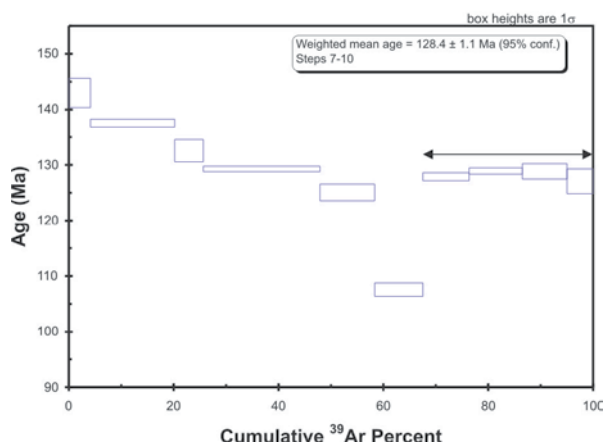


Figura 5.3.5 - Resultado do aquecimento em degraus da amostra de plagioclásio de basalto do magma Esmeralda.

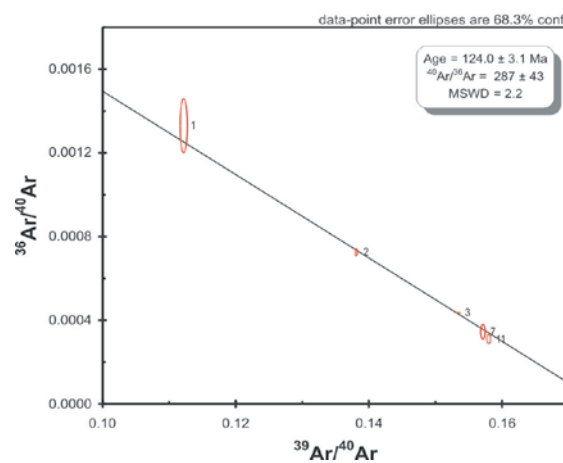


Figura 5.3.8 - Diagrama de correlação a partir da análise de amostra de plagioclásio de basalto do magma Paranapanema. O bom alinhamento dos pontos produz isócrona de idade significativa.

dos três tipos de magma é primitiva se consideradas ambas razões iniciais (ϵ_{Sr} 5 a 30 e ϵ_{Nd} -5 a -3), embora algumas amostras do magma de alto Ti indiquem contaminação crustal.

Até o momento, as tentativas de datação das fácies do magmatismo Serra Geral pelo método $^{40}Ar/^{39}Ar$ não tem oferecido resultados positivos. A maioria dos dados da literatura e os obtidos neste trabalho mostram que tanto as análises em rocha total quanto em plagioclásio apresentam distúrbios que, em geral, es-

tão associados a excesso e/ou perda de argônio, o que sugere que o sistema isotópico não se manteve fechado. As idades obtidas nesses trabalhos raramente objetivaram a obtenção de idades patamar e isocrônica.

Assim, tendo em vista a indefinição do intervalo de tempo entre o início e o final da atividade vulcânica, bem como a idade correspondente a cada fácies, sugere-se a aplicação de métodos alternativos suportados por estudos petrográficos que permitam selecionar fases minerais adequadas e passíveis de datação com maior precisão.

Otávio Augusto Boni Licht
Carlos Alberto Kirchner
Sérgio José Romanini (in memoriam)

6.1 INTRODUÇÃO

Desde 1995, a MINEROPAR vem realizando investigações geoquímicas sistemáticas que cobrem o Estado do Paraná. O Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade – LGQBD, realizado em 1995, foi baseado na coleta e na análise geoquímica multielementar de amostras de água e de sedimentos ativos de bacias hidrográficas com finalidades múltiplas e que abrangem a cartografia geológica, exploração mineral, monitoramento ambiental e saúde pública (Licht, 2001a e b).

Investigações geológicas realizadas para caracterizar as fontes das anomalias geoquímicas regionais, como por exemplo as de Cr (Fig. 6.1), identificaram a presença e possível associação dessas feições anômalas com litotipos básicos de grão grosso, classificados como gabros (Licht & Arioli, 2000; Vasconcellos *et al*, 2001), e atualmente considerados como pegmatóides básicos. Levantamentos geoquímicos regionais baseados em amostras de sedimentos fluviais e solos evidenciaram a coincidência de anomalias de Pt e Pd associadas à de Cr, o que aumenta a potencialidade metalogenética da porção central da Formação Serra Geral. O conjunto de resultados e informações geoquímicas e geológicas serviram de referência para a seleção e delimitação da área de abrangência do presente Projeto.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender as finalidades e propósitos da exploração geoquímica, seja do ponto de vista prospectivo seja para apoio ao mapeamento geológico, foram obedecidos os métodos e técnicas a seguir descritos.

6.2.1 TRABALHOS DE CAMPO

O plano de amostragem de sedimentos ativos de drenagem e de concentrados de bateia foi elaborado pelos geoquímicos Sérgio José Romanini e Carlos Alberto Kirchner, CPRM – SUREG-PA. A seleção das estações de amostragem visou a cobertura homogênea da área do Projeto, restrita ao território brasileiro e com exclusão da região pertencente à Argentina. A área total amostrada foi de 12.215 km².

A coordenação dos trabalhos de campo foi feita

6 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS ATIVOS DE DRENAGEM

pelo geólogo Otávio Augusto Boni Licht, MINEROPAR. A coleta das amostras foi feita pela equipes da MINEROPAR, com a participação dos seguintes técnicos: Téc. Min. Clóvis Roberto da Fonseca, Téc. Geol. Roberto dos Anjos Santiago, Téc. Min. Miguel Ângelo Moretti, Tec. Min. Antônio Perdoná Alano, José Eurides Langner, Manoel de Cristo, Genésio Pinto Queiroz, Vadis Pelissari.

Das 759 amostras planejadas, 50 não foram coletadas pelos seguintes motivos:

- O acesso à Reserva Indígena de Rio das Cobras não foi autorizado pela FUNAI, apesar da solicitação formulada oficialmente pela CPRM/SUREG-PA;
- Devido às chuvas, alguns rios de grande porte estavam com nível d'água muito alto, impedindo a coleta.

Foram, assim, coletadas 709 amostras o que resultou em densidade média de 1 amostra/17,23 km². As amostras destinadas à análise química foram coletadas no leito fluvial, com a mão, em diversas tomadas separadas de 10 m, de forma a produzir uma amostra composta do sedimento ativo. As amostras para obter concentrados de bateia foram coletadas em locais onde os grãos de maior diâmetro e minerais de maior densidade são naturalmente concentrados. Cada concentrado foi produzido no próprio local de coleta, com bateia de alumínio, sem emendas, a partir de 10 litros de sedimento.

No local de coleta foi medido o pH da água, por comparação de escala cromática, por meio de fita indicadora *Universalindikator* marca Merck para pH de 0 a 14. As características fisiográficas da estação de coleta foram registradas na Ficha de Campo Amostra Geoquímica, padrão da CPRM.

Para controle de qualidade, foram coletadas amostras replicatas em cada estação com numeração finalizada com algarismo 1, por exemplo, amostras OL-4021 é a replicata da amostra OL-4020. Ao final dos trabalhos foram computadas 122 amostras de concentrados de bateia e 792 amostras de sedimentos ativos de drenagem (originais e replicatas).

Independente da coleta de amostras replicatas para controle de qualidade, em todas as estações foram coletadas amostras em duplicata, uma das quais foi enviada à CPRM para análise e outra arquivada no Laboratório da MINEROPAR, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelas equipes da empresa. As amostras de concentrados de bateia foram enviadas integralmente à CPRM – PA.

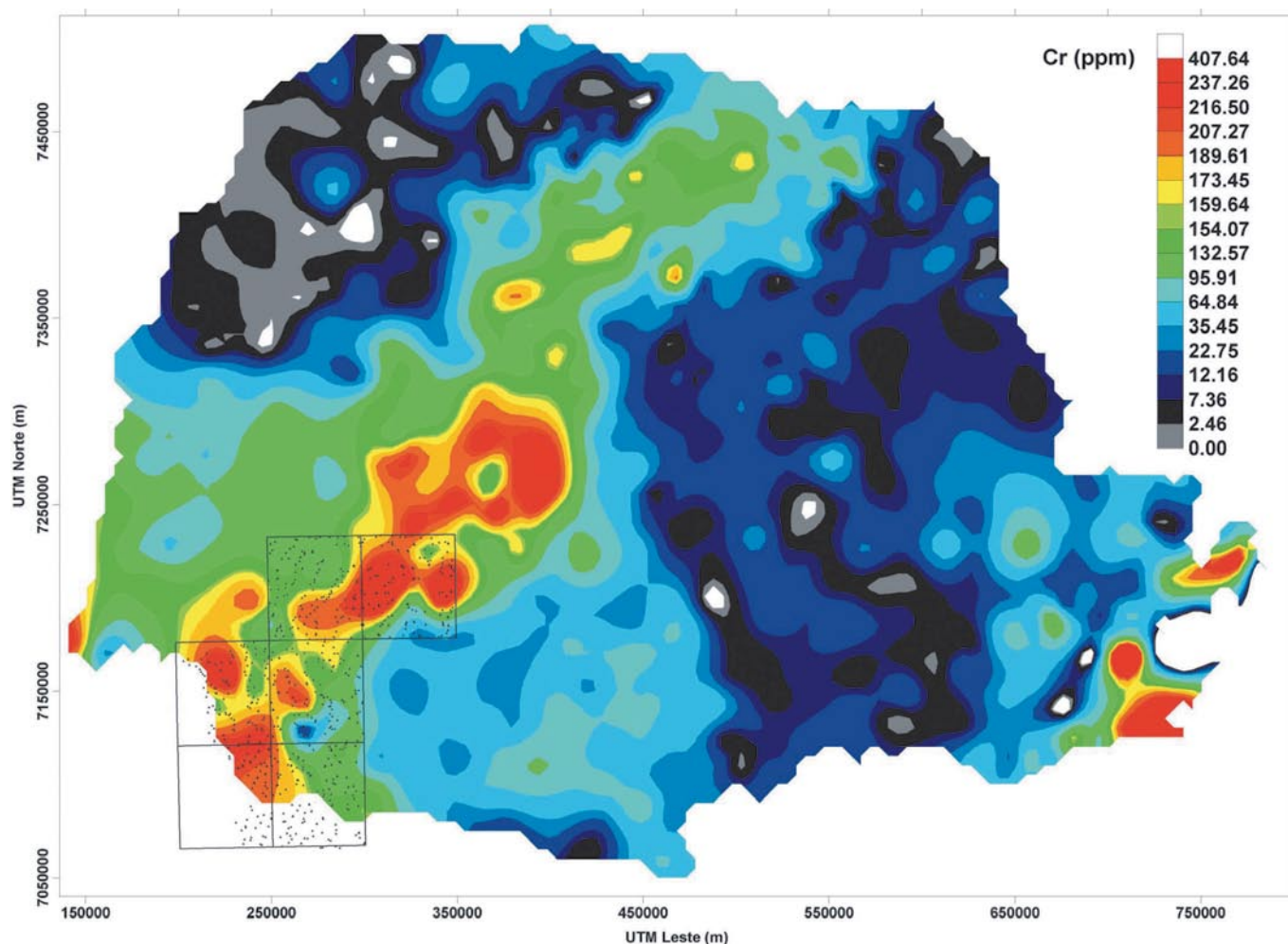


Figura 6.1 – A anomalia de cromo em sedimentos fluviais ativos utilizada como critério para a seleção e a delimitação da área do projeto. Estão assinaladas as seis cartas em escala 1:100.000 assim como as estações de coleta das amostras de sedimentos ativos de drenagem coletadas pelo presente Projeto.

6.2.2 ENSAIOS E ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Geoquímica de sedimentos ativos de drenagem -

As amostras de sedimentos ativos de drenagem foram enviadas para o ACME Analytical Laboratories LTD., Vancouver, Canadá, para determinação multi-elementar na fração menor que 80 mesh (177 μm). Foram analisados os seguintes elementos: Ag (ppb), Al (%), As (ppm), Au (ppb), B (ppm), Ba (ppm), Be (ppm), Bi (ppm), Ca (%), Cd (ppm), Ce (ppm), Co (ppm), Cr (ppm), Cs (ppm), Cu (ppm), Fe (%), Ga (ppm), Ge (ppm), Hf (ppm), Hg (ppb), In (ppm), K (%), La (ppm), Li (ppm), Mg (%), Mn (ppm), Mo (ppm), Na (%), Nb (ppm), Ni (ppm), P (%), Pb (ppm), Pd (ppb), Pt (ppb), Rb (ppm), Re (ppb), S (%), Sb (ppm), Sc (ppm), Se (ppm), Sn (ppm), Sr (ppm), Ta (ppm), Te (ppm), Th (ppm), Ti (%), Tl (ppm), U (ppm), V (ppm), W (ppm), Y (ppm), Zn (ppm), Zr (ppm).

O método analítico empregado na análise química compreendeu a decomposição da fração < 80

mesh (< 177 μm) com água régia ($\text{HNO}_3 + \text{HCl} = 3:1$) e análise por espectrometria de massa com plasma de acoplamento induzido (ICP-MS). Esta técnica propicia menores limites de detecção e conseqüente determinação de elementos metalogeneticamente importantes e presentes em baixas concentrações, tais como Au e Pt. Os resultados analíticos constam do CD.

Mineralogia dos concentrados de bateia Os concentrados de bateia foram analisados no laboratório da CPRM – SUREG-POA, com determinação semi-quantitativa dos minerais. Os resultados constam do CD.

6.3 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados nas campanhas de campo e os produzidos em laboratório foram arquivados na forma de tabelas e de arquivos próprios dos pacotes ArcView (*shapefiles*) e Surfer.

6.4 TRATAMENTO DOS DADOS

6.4.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para aplicar as técnicas empregadas no cálculo das estatísticas básicas, como média, desvio padrão, erro padrão e valores mínimo e máximo, matriz de correlação e diagramas de dispersão, foi utilizado o pacote NCSS (*Number Cruncher Statistical System*) (Hintze, 2004) para Windows. Para modelar misturas de populações geoquímicas com distribuições normais ou lognormais e tentativamente separar diferentes populações que podem estar mascaradas nos dados geoquímicos totais, foi utilizado o aplicativo PROBLOT (Stanley, 1987). A análise dos componentes principais foi executada no pacote estatístico SPSS para Windows.

A cartografia dos dados geoquímicos originais e os escores fatoriais foi realizada com emprego dos pacotes ArcView e Surfer, com uso de funções nativas dos sistemas ou com *scripts* desenvolvidos para a solução de problemas específicos.

6.4.2 CARTOGRAFIA GEOQUÍMICA

A representação da distribuição espacial das variáveis analisadas foi feita com todos os elementos, exceto Ta e W para os quais não foram reportados valores significativos, todos inferiores ao Limite Inferior de Detecção (LD). Nos demais elementos, os valores inferiores ao LD foram substituídos pela metade do LD, isto é, valores reportados como <0,1 foram transformados em 0,05.

Os mapas geoquímicos foram produzidos com o pacote Surfer mediante o algoritmo de Mínima Curvatura, que é análogo a uma fina superfície elástica que passa por todos os pontos de medida originais, com o mínimo desvio e resíduo, o que produz uma superfície suavizada e que, ao mesmo tempo, respeita os valores originais. O algoritmo de Mínima Curvatura produz uma malha e aplica sucessivamente uma equação sobre a mesma, buscando suavizá-la. Cada aplicação da equação sobre a malha é contada como uma iteração. Os valores dos nós da malha são sucessivamente recalculados até que as modificações dos valores sejam menores que os valores de Resíduo Máximo, ou que o número máximo de iterações seja alcançado. O algoritmo aplicado aos dados analíticos de TI foi a krigagem universal, pois o algoritmo de mínima curvatura não foi capaz de convergir a um resultado final. Os parâmetros utilizados na estimativa

e regularização constam da Tabela 6.4.1.

A variação cromática para representar a distribuição espacial dos valores foi obtida pela correspondência dos valores máximo e mínimo e de percentis selecionados dos valores de cada variável com a escala de cores e tons do pacote Surfer, como exemplificado na figura 6.4.1 para o caso do cromo.

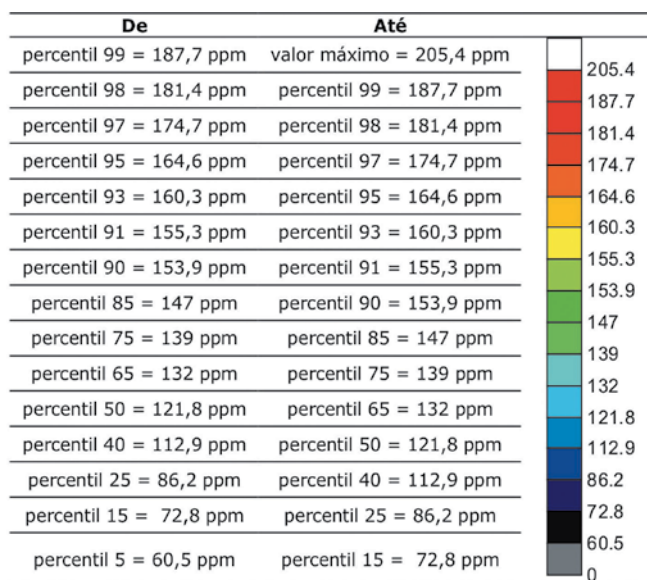


Figura 6.4.1 – Exemplo da escala cromática e de valores utilizada para a elaboração dos mapas geoquímicos. Os percentis referem-se aos valores da malha regularizada.

6.4.3 ANÁLISE FATORIAL - MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise dos componentes principais é uma técnica estatística multivariada que permite reduzir a quantidade de variáveis originais a um grupo de fatores cujos componentes são as variáveis originais agrupadas segundo sua variância comum.

A análise de componentes principais foi executada a partir da matriz de correlação de Pearson, sendo determinados os fatores associados às raízes características maiores ou iguais à 1. Foram retidos os fatores que explicaram 82,84% da variância dos dados originais. A interpretação dos fatores foi feita a partir da matriz fatorial após rotação segundo o método *Varimax* (maximização das variâncias). Para

Tabela 6.4.1 – Parâmetros utilizados na estimativa e regularização de todas as variáveis analíticas.

| | Mínimo metros | Máximo metros | Espaçamento metros | Quantidade de pontos |
|----------------------|---------------|---------------|--------------------|----------------------|
| X (UTM Leste) | 202584,409 | 347772,979 | 500,65 | 291 |
| Y (UTM Norte) | 7065748,55 | 7233822,546 | 500,22 | 337 |

cada estação de amostragem foi calculado o escore fatorial de cada componente, resumindo a variância do sistema naquela localidade. Isso permitiu elaborar superfícies dos escores fatoriais que mostram as flutuações dos valores dos escores fatoriais em toda área do projeto. A análise dos componentes principais foi executada pelo estatístico Dr. Sérgio Aparecido Ignácio, do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES, no pacote estatístico SPSS para Windows, com o subprograma *FACTOR*.

6.4.4 ASSINATURAS DAS FÁCIES MAPEADAS COM BASE NA GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS ATIVOS DE DRENAGEM

No mapeamento geológico de um sistema magmático é desejável que sejam estabelecidos critérios numéricos para auxiliar na discriminação de unidades e fácies. Os resultados obtidos com a determinação de múltiplas variáveis em amostras de sedimentos ativos de drenagem em bacias de porte médio, constituem um conjunto de valores numéricos confiáveis e úteis no estabelecimento de assinaturas geoquímicas. A elevada densidade amostral do projeto, onde cada amostra representa cerca de 17,23 km² (709 amostras coletadas em 12.215 km²) associada à determinação de 51 elementos químicos, garante a boa resolução da geoquímica de sedimentos ativos de drenagem.

As médias e desvios padrões foram obtidos com o seguinte método:

1. Geração de malhas regulares para todas as variáveis com aplicação do algoritmo de Mínima Curvatura com espaçamento dos nós da malha de 500 x 500 m (SURFER);
2. Integração de todas as malhas regulares em um único banco de dados (planilha do SURFER);
3. Eliminação dos nós da malha regular localizados fora da área do projeto (planilha do SURFER), restando 56.872 nós com valores estimados;
4. Migração do banco de dados para o ArcView 3.2a;
5. Substituição dos valores negativos – artefato gerado pelo algoritmo de Mínima Curvatura por zero – nos nós da malha próximos de amostras originais com valores aberrantes (*outliers*) (ArcView3.2a);
6. Agregação do código da fácies mapeada a cada nó da malha pela aplicação da função *spatial join* entre as tabelas dos *shapefiles* dos mapas geológicos com o banco de dados da malha com os valores estimados;
7. Produção de arquivo que sintetiza as médias aritméticas e desvios padrões dos valores estimados de cada variável analítica nos nós da malha contidos em cada fácies mapeada.

6.5 RESULTADOS OBTIDOS

6.5.1 ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS

A análise semi-quantitativa dos concentrados de minerais pesados coletados de maneira aproximadamente uniforme em toda a área do projeto resultou desanimadora em termos de possíveis corpos mineralizados aflorantes ou próximos da superfície. Das 122 amostras coletadas, apenas uma (CB-B-11) continha três pequenos grãos de ouro (Fig. 6.5.1). As 13 amostras de sedimentos ativos coletadas na mesma bacia de drenagem, de densidade amostral muito maior que a dos concentrados de bateia, não ofereceram valores anômalos em ouro (entre 2,6 e 6,7 ppb, média geral de 3,97 ppb). Em duas amostras (CB-B-22 e CB-B-84) ocorreram pequenas partículas de cobre nativo. Apenas as amostras CB-B-41 e CB-B-67 possuíam calcopirita. Nenhuma outra conteve minerais primários ou secundários que pudessem estar associados ao modelo de mineralização mais provável em terrenos de derrames basálticos (sulfetos de cobre-níquel com platinídeos), como na Bacia do Paraná.

Algumas amostras continham minerais exóticos para regiões de derrames basálticos, como estauroilita (4 amostras), cianita (7 amostras), andaluzita (5 amostras) e granada (2 amostras). A presença desses minerais, característicos de terrenos metamórficos, pode ser devida aos horizontes de rochas sedimentares de origem eólica e intercaladas nos derrames, freqüentemente encontrados pela equipe de mapeamento geológico da MINEROPAR nas cartas Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão. Contudo, não se descarta a possibilidade desses minerais indicarem contaminação crustal do magma basáltico durante sua ascensão da câmara magmática até a superfície.

Adicionalmente, a presença de zircão em 83 das 109 amostras de concentrados de bateia (80% do total), não seria esperada em áreas de derrames basálticos. A presença desse mineral, reforça a indicação de contaminação crustal pelo magma basáltico.

6.5.2 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS ATIVOS DE DRENAGEM

Estatística descritiva das variáveis analisadas - O pacote analítico utilizado no projeto (ICP-MS) permitiu a caracterização geoquímica de 51 variáveis (elementos químicos) para a interpretação geológica e metalogenética da região pesquisada. Dentre o total de variáveis disponíveis, selecionou-se 20 (Ag, As, Na, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Pt, Sb, V, Zn) para a análise estatística. Baseou-se a seleção na importância metalogenética do elemento para a região em estudo e na capacidade de separar diferentes populações (cartografia geoquímica) relacionadas aos litotipos basálticos da região.

O método analítico proporcionou a avaliação

crítica de todos os elementos de interesse ao projeto, exceto o paládio, do qual cerca de 33% dos resultados situaram-se abaixo do limite de detecção, invalidando sua utilização na análise estatística (Vide CD).

A observação preliminar da Tabela 6.5.1 revela que ocorre dispersão razoável dos valores analíticos a partir da média em todos os elementos. Este comportamento pode refletir a presença de mais de uma população, possivelmente relacionadas aos diferentes grupos litológicos da região. Observe-se que elementos vinculados à possível mineralização (Ni, Cu, Pt, Co e Fe) exibem concentrações máximas muito baixas (razão de 1,3 a 3,0 entre o valor máximo e a média). Um estudo realizado com sedimentos de corrente na Noruega (Howarth & Sinding-Larsen, 1983) revelou valores entre 5,0 e 8,0 para Cu, Zn e Cd associados à mineralização. Assim, a dispersão verificada nos dados de sedimentos de corrente, com a densidade de amostragem adotada

na escala 1:100.000 na região do sudoeste do Paraná, provavelmente não se relaciona a qualquer corpo mineralizado.

Estimadores estatísticos - Os resultados analíticos das 709 amostras de sedimentos de corrente foram submetidos à análise estatística por diferentes métodos para obter o máximo de informação univariada e multivariada com vistas à cartografia geoquímica e a localização de alvos para a pesquisa mais detalhada de corpos sulfetados.

Para descrever adequadamente as características da população geoquímica de *background* em uma área é importante que os valores aberrantes (*outliers*) sejam identificados e eliminados antes da análise posterior. O cálculo do coeficiente de correlação é seriamente afetado pelos valores aberrantes e, em consequência, as técnicas estatísticas que utilizam matrizes de correlação (p.ex.

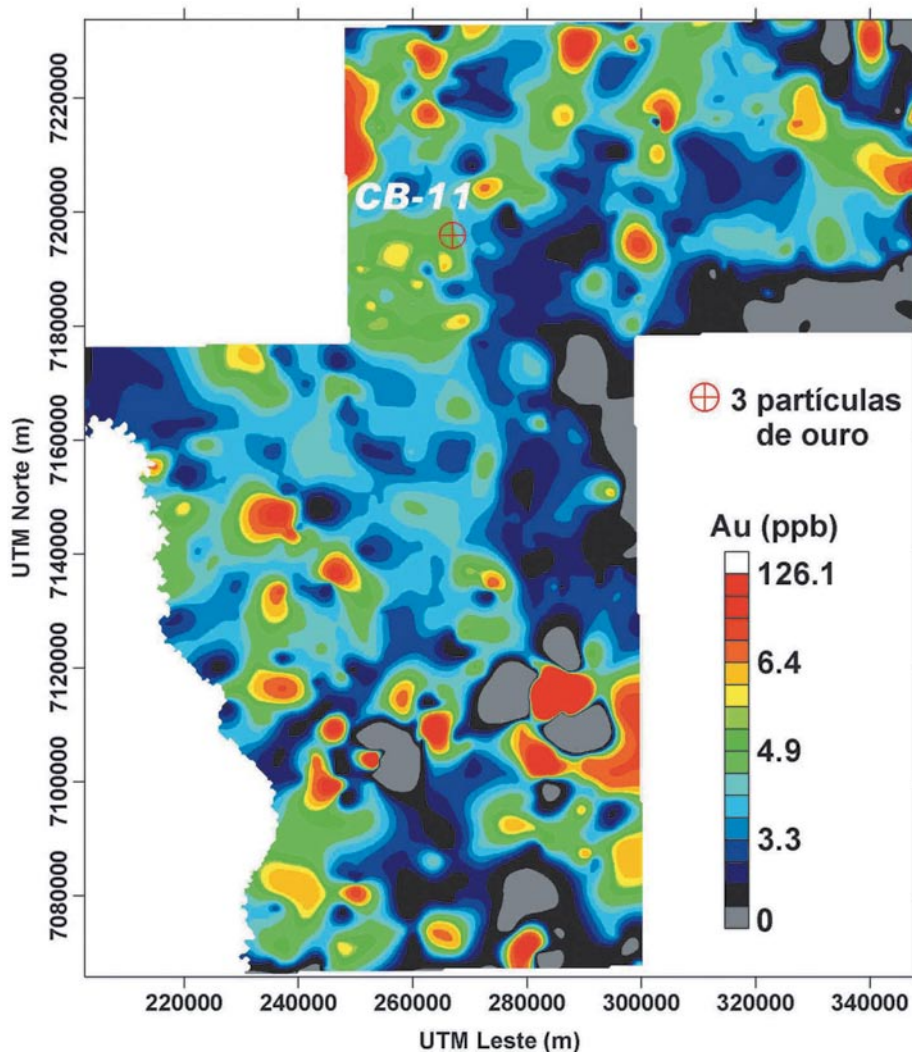


Figura 6.5.1 – Localização da amostra CB-11 de concentrados de bateia na qual foram identificadas três partículas de ouro, sobre mapa geoquímico do ouro (ppb) em sedimentos fluviais.

Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná

Tabela 6.5.1 – Estimadores estatísticos dos elementos analisados em amostras de sedimentos fluviais ativos.

| Elemento (unidade) | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | 1º quartil | 3º quartil | Desvio Padrão |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|---------------|
| Ag (ppb) | 42,999 | 43,000 | 24,0000 | 112,000 | 37,000 | 47,000 | 8,514 |
| Al (%) | 3,425 | 3,240 | 1,2000 | 9,330 | 2,810 | 3,840 | 1,028 |
| As (ppm) | 2,291 | 2,200 | 0,4000 | 6,900 | 1,500 | 2,900 | 1,072 |
| Au (ppb) | 3,976 | 3,600 | 0,1000 | 126,100 | 2,900 | 4,400 | 4,961 |
| B (ppm) | 1,317 | 1,000 | 0,5000 | 3,000 | 1,000 | 2,000 | 0,566 |
| Ba (ppm) | 201,870 | 201,200 | 68,4000 | 382,500 | 169,800 | 231,000 | 49,475 |
| Be (ppm) | 1,075 | 1,000 | 0,4000 | 2,400 | 0,900 | 1,200 | 0,277 |
| Bi (ppm) | 0,136 | 0,130 | 0,0400 | 0,480 | 0,090 | 0,160 | 0,064 |
| Ca (%) | 0,275 | 0,270 | 0,0900 | 0,640 | 0,230 | 0,320 | 0,070 |
| Cd (ppm) | 0,139 | 0,130 | 0,0500 | 0,460 | 0,120 | 0,160 | 0,036 |
| Ce (ppm) | 64,010 | 63,700 | 35,2000 | 102,400 | 57,300 | 69,800 | 10,242 |
| Co (ppm) | 70,034 | 69,900 | 20,0000 | 162,200 | 58,300 | 82,200 | 18,720 |
| Cr (ppm) | 115,723 | 122,100 | 40,3000 | 205,400 | 86,200 | 139,100 | 33,195 |
| Cs (ppm) | 1,632 | 1,580 | 0,2900 | 4,140 | 1,020 | 2,140 | 0,760 |
| Cu (ppm) | 272,237 | 255,310 | 117,6700 | 718,430 | 222,210 | 306,270 | 76,211 |
| Fe (%) | 13,277 | 13,370 | 8,2400 | 17,510 | 12,450 | 14,150 | 1,281 |
| Ga (ppm) | 19,781 | 19,400 | 11,2000 | 35,700 | 16,900 | 21,900 | 4,163 |
| Ge (ppm) | 0,105 | 0,100 | 0,0500 | 0,200 | 0,100 | 0,100 | 0,033 |
| Hf (ppm) | 0,559 | 0,540 | 0,2800 | 1,280 | 0,480 | 0,620 | 0,124 |
| Hg (ppb) | 49,020 | 46,000 | 13,0000 | 118,000 | 37,000 | 58,000 | 16,453 |
| In (ppm) | 0,109 | 0,110 | 0,0600 | 0,180 | 0,090 | 0,120 | 0,021 |
| K (%) | 0,046 | 0,050 | 0,0100 | 0,100 | 0,040 | 0,050 | 0,014 |
| La (ppm) | 23,088 | 22,800 | 14,9000 | 34,900 | 20,900 | 25,100 | 3,107 |
| Li (ppm) | 10,277 | 9,800 | 4,3000 | 22,500 | 7,600 | 12,100 | 3,392 |
| Mg (%) | 0,218 | 0,200 | 0,0600 | 0,630 | 0,140 | 0,280 | 0,096 |
| Mn (ppm) | 3045,360 | 2948,000 | 434,0000 | 9959,000 | 2430,000 | 3609,000 | 1029,285 |
| Mo (ppm) | 0,779 | 0,750 | 0,4400 | 1,740 | 0,670 | 0,850 | 0,164 |
| Na (%) | 0,006 | 0,005 | 0,0010 | 0,040 | 0,003 | 0,008 | 0,004 |
| Nb (ppm) | 0,438 | 0,410 | 0,1100 | 1,430 | 0,320 | 0,510 | 0,170 |
| Ni (ppm) | 42,119 | 42,800 | 15,9000 | 73,200 | 35,900 | 48,600 | 9,660 |
| P (%) | 0,065 | 0,063 | 0,0220 | 0,162 | 0,056 | 0,071 | 0,015 |
| Pb (ppm) | 14,632 | 14,260 | 6,9600 | 37,700 | 12,280 | 16,290 | 3,584 |
| Pt (ppb) | 11,718 | 12,000 | 2,0000 | 23,000 | 9,000 | 15,000 | 4,180 |
| Rb (ppm) | 7,520 | 7,500 | 2,7000 | 15,400 | 6,300 | 8,800 | 1,889 |
| Re (ppb) | 0,814 | 0,500 | 0,5000 | 6,000 | 0,500 | 1,000 | 0,630 |
| S (%) | 0,006 | 0,005 | 0,0050 | 0,030 | 0,005 | 0,005 | 0,003 |
| Sb (ppm) | 0,151 | 0,130 | 0,0400 | 0,630 | 0,100 | 0,190 | 0,073 |
| Sc (ppm) | 28,654 | 29,100 | 10,2000 | 49,800 | 24,200 | 32,500 | 6,416 |
| Se (ppm) | 0,280 | 0,300 | 0,0500 | 0,600 | 0,200 | 0,400 | 0,106 |
| Sn (ppm) | 1,632 | 1,600 | 0,9000 | 3,500 | 1,300 | 1,800 | 0,447 |
| Sr (ppm) | 21,801 | 20,900 | 5,7000 | 46,600 | 17,400 | 25,500 | 6,602 |
| Te (ppm) | 0,006 | 0,001 | 0,0010 | 0,050 | 0,001 | 0,001 | 0,010 |
| Th (ppm) | 4,606 | 4,500 | 2,2000 | 10,800 | 3,600 | 5,400 | 1,362 |
| Ti (%) | 0,448 | 0,429 | 0,2140 | 0,841 | 0,374 | 0,512 | 0,108 |
| Tl (ppm) | 0,166 | 0,160 | 0,0700 | 0,310 | 0,140 | 0,190 | 0,039 |
| U (ppm) | 1,029 | 1,000 | 0,4000 | 2,600 | 0,800 | 1,200 | 0,363 |
| V (ppm) | 602,588 | 602,000 | 412,0000 | 1184,000 | 539,000 | 655,000 | 87,046 |
| Y (ppm) | 20,942 | 20,840 | 10,6300 | 36,610 | 18,080 | 23,510 | 4,129 |
| Zn (ppm) | 131,965 | 128,600 | 59,5000 | 251,800 | 113,100 | 147,700 | 27,882 |
| Zr (ppm) | 27,252 | 26,500 | 17,5000 | 51,500 | 24,100 | 29,600 | 4,904 |

análise de fatores) são prejudicadas por coeficientes de correlação distorcidos. Dentre os dados geoquímicos da área estudada, apenas o ouro revelou um valor aberrante (126,1 ppb), provavelmente devido ao seu efeito pepita. Este resultado foi omitido nos cálculos estatísticos.

Para verificar o comportamento dos dados geoquímicos com relação ao número de populações presentes, sejam estas relacionadas às diferentes unidades litológicas da área ou a um corpo mineralizado profundo, empregou-se o programa PROBLOT. Os gráficos de probabilidade cumulativa e os histogramas dos 20 elementos selecionados revelam um comportamento estatístico muito similar para todos os elementos. Os diagramas revelam uma população bem definida, distribuída por quase toda a faixa de variação, e outra que representa percentual muito pequeno da população original (1% no Bi e 8,2% no Hg). Apenas o cromo exibiu uma segunda população com cerca de 30% dos dados originais. Isto significa distribuição mais homogênea do Cr entre as duas populações, o que sugere origem litológica de ambas (Fig. 6.5.2).

A matriz de correlação de elementos possivelmente associados a uma mineralização sulfetada neste ambiente vulcânico (Cu, Ni, Co, Pt, Cr) mostrou coeficientes com Fe e Mn muito baixos (entre - 0,15 e 0,27). Os valores demonstram que não ocorreu processo de co-precipitação e/ou absorção destes elementos pelos óxidos hidratados de Fe-Mn no ambiente secundário. Da mesma maneira, os gráficos de dispersão de elementos vinculados à mineralização em relação ao Fe e

Mn não apresentaram correlação positiva. Por exemplo, os teores mais elevados de Cu não correspondem aos maiores de Fe e Mn, e quando teores de Fe e Mn são mais elevados, os dos outros elementos situam-se em nível de concentração normal (Fig. 6.5.3).

Também verificou-se que em estreita faixa acima do limiar superior da população de maior concentração ocorrem alguns valores para a maioria dos elementos considerados na análise estatística. Estes valores, apesar de apenas revelarem pequena faixa de concentração, não mostram correspondência com alguma bacia de captação, isto é, cada elemento ocorre em uma bacia onde não há valores elevados de outros elementos. Se houvesse ocorrido a superposição de dois ou mais elementos em uma mesma bacia, isto favoreceria sugerir

| | Co (ppm) | Cr (ppm) | Cu (ppm) | Fe (%)t | Mn (ppm) | Ni (ppm) |
|----------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| Cr (ppm) | 0,34 | | | | | |
| Cu (ppm) | 0,50 | 0,01 | | | | |
| Fe (%)t | 0,01 | 0,27 | -0,16 | | | |
| Mn (ppm) | 0,76 | 0,18 | 0,20 | 0,08 | | |
| Ni (ppm) | 0,47 | 0,74 | 0,46 | 0,05 | 0,23 | |
| Pt (ppb) | 0,44 | 0,60 | 0,04 | 0,17 | 0,31 | 0,52 |

Figura 6.5.3 – Matriz de correlação de elementos selecionados determinados em sedimentos fluviais ativos.

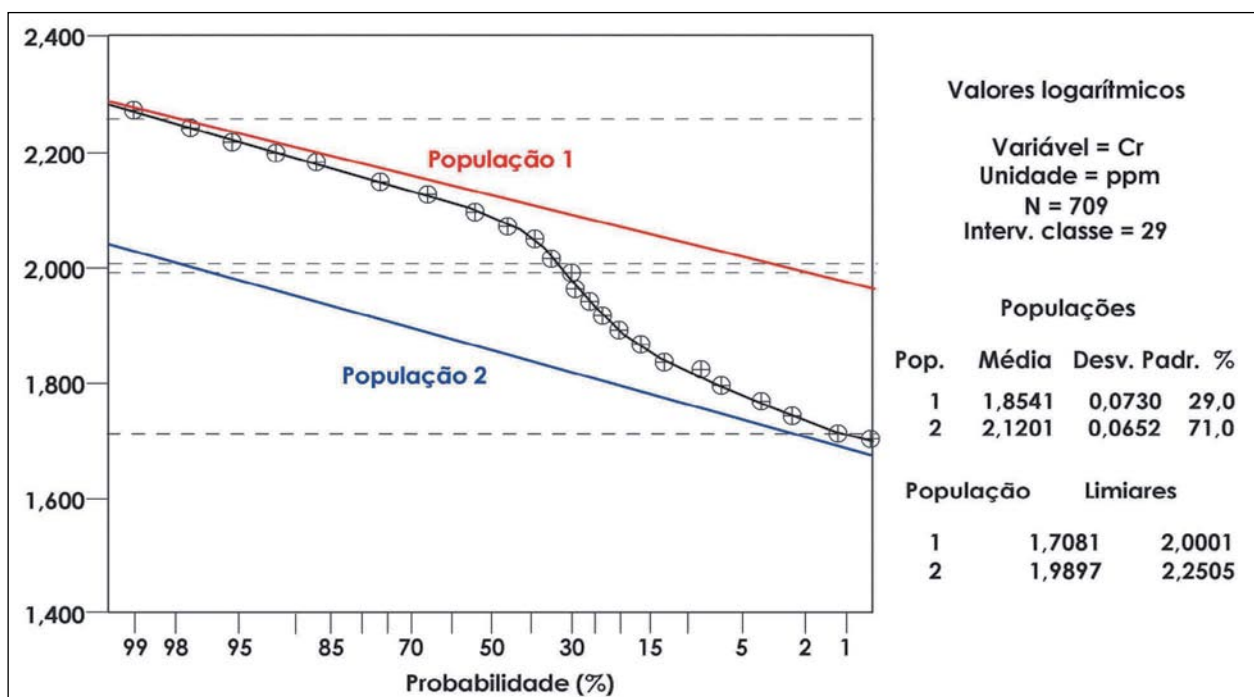


Figura 6.5.2 – Gráfico de probabilidade que mostra as duas populações isoladas e respectivos estimadores e limiares dos teores de Cr (log ppm).

detalhamento geoquímico posterior.

A partir dos resultados acima, conclui-se que as duas populações de sedimentos fluviais, identificadas nos gráficos de probabilidade, correspondem a duas fácies litológicas. A possibilidade da população superior representar um corpo mineralizado aflorante ou próximo da superfície é remota na região estudada.

Cartografia geoquímica - A representação cartográfica da distribuição geográfica das variáveis analíticas isoladas foi feita sob a forma de mapas geoquímicos (Figs. 6.5.4 e 6.5.5) ou de superfícies geoquímicas (Figs. 6.5.6 e 6.5.7).

Se a distribuição geográfica de algumas variáveis é característica, seja ela observada isoladamente ou em conjunto, a de outras não gera nenhuma observação conclusiva. Isso se deve principalmente à dificuldade de correlacionar os resultados obtidos pela cartografia geoquímica com o conhecimento geológico. Contudo, a distribuição e associação de elementos maiores, menores, traço e ultra-traço é capaz de sugerir domínios a serem verificados nos trabalhos de mapeamento geológico acompanhados de litogeoquímica e petrografia. Por outro lado, algumas associações geoquímicas podem estar relacionadas com processos epigenéticos associados a estruturas ou feições geológicas não evidentes na escala do mapeamento geológico.

Restrições podem ser feitas a esse procedimento pelas alterações nos padrões de distribuição e associação originais, impostas por lixiviação e concentração pelo intemperismo, já que as variáveis analíticas foram determinadas em amostras de sedimentos ativos de drenagem. Essas restrições são reais e devem ser consideradas, mas como a seguir exposto, os mapas e superfícies geoquímicas podem ser interpretadas regionalmente com resultados satisfatórios.

No primeiro caso, isto é, das associações visuais claras e evidentes de elementos isolados ou agrupados com feições identificadas durante o mapeamento geológico, salienta-se:

Extremo sudeste (proximidades da cidade de Campo Erê): associação de altos geoquímicos de Al, As, Be, Bi, Cs, Ga, In, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Te, Th, U com baixos de B, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, Pt, Rb, Sr, Ti, V, Y, Zn.

Extremo noroeste (proximidades da cidade de Guaraniaçu): associação de altos geoquímicos de Al, As, B, Be, Bi, Ce, Ga, Hf, In, La, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Te, Th, U, Y, Zr com baixos geoquímicos de Ba, Ca, Co, Cr, Cu, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pt, Rb, Sr, Ti, V, Zn. As associações são características de litotipos evoluídos e de composição intermediária a ácida. Apesar de ambas mapeadas como fácies Campo Erê, as duas áreas têm associações um pouco diferentes, caracterizadas por sutis diferenças na abundância de B, Ce, Cs, Hf, La, Y e Zr.

Centro sul (entre Salto do Lontra e São José do Cedro): associação de altos geoquímicos de B, Ba, Ca,

Cd, Co, Cu, Ge, Hf, K, Mg, Na, Ni, Re, Sr, Ti, Zn com baixos de Al, As, Be, Bi, Ce, Cs, Fe, Ga, In, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Th, U, Y, sugere a presença de rochas quimicamente diversificadas e contrastantes, como os basaltos das fácies Cordilheira Alta e Campos Novos.

Faixa central (a sul da rodovia BR-277 até o limite estadual Paraná – Santa Catarina): associação de altos geoquímicos de As, Bi, Cr, Cs, Fe, Ga, In, La, Li, Mo, Ni, P, Pb, Pt, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Te, Th, U, Y e baixos de Re, Ti, Zn. Esse grande e complexo compartimento geoquímico sugere a presença de rochas diversificadas e com resposta geoquímica contrastante, onde é possível isolar uma faixa no extremo sul da carta Guaraniaçu e parte da Catanduvas, onde ocorrem teores elevados de Al, As, Be, Bi, Ce, Cs, Fe, Ga, Hf, In, La, Li, Mo, Nb, P, Pb, Sb, Sn, Th, U, Y, Zr e que coincide com as exposições da Fácies Nova Laranjeiras.

Apesar da grande quantidade de valores inferiores ao limite de detecção, os teores elevados de ouro estão bastante agrupados, segundo uma direção SW-NE entre as cidades de Barracão e Francisco Beltrão, com 7 amostras de teores entre 10 a 126,1 ppb, este último determinado na amostra situada nas proximidades da localidade de Jacutinga a NW de Francisco Beltrão (Fig. 6.5.6). É fato digno de nota que a amostra CB-B-11, é a única amostra de concentrado de bateia onde foi observada a presença de ouro com a identificação de 3 partículas do metal (Fig. 6.5.1). Ela se localiza no centro sul da carta de Catanduvas, poucos quilômetros a NE de Boa Vista da Aparecida e a NE de Três Barras do Paraná, e coincide com um alinhamento geoquímico de ouro de amostras de sedimentos ativos de drenagem, com teores entre 4 e 12 ppb Au.

Na procura de comprovação do acima descrito e melhor identificar as associações de elementos e delimitar domínios para verificações mais detalhadas em campo, realizou-se a análise dos componentes principais.

Análise de componentes principais - A análise de componentes principais foi realizada sobre a matriz de correlação, calculada com as 51 variáveis: Ag (ppm), Al (%), As (ppm), Au (ppb), B (ppm), Ba (ppm), Be (ppm), Bi (ppm), Ca (%), Cd (ppm), Ce (ppm), Co (ppm), Cr (ppm), Cs (ppm), Cu (ppm), Fe (%), Ga (ppm), Ge (ppm), Hf (ppm), Hg (ppb), In (ppm), K (%), La (ppm), Li (ppm), Mg (%), Mn (ppm), Mo (ppm), Na (%), Nb (ppm), Ni (ppm), P (%), Pb (ppm), Pd (ppb), Pt (ppb), Rb (ppm), Re (ppb), S (%), Sb (ppm), Sc (ppm), Se (ppm), Sn (ppm), Sr (ppm), Te (ppm), Th (ppm), Ti (%), Tl (ppm), U (ppm), V (ppm), Y (ppm), Zn (ppm), Zr (ppm).

Ao final desse primeiro procedimento, foram identificadas as variáveis B, Pd, Re, Au, Se, Te com comunalidades menores que 0,5, o que significa que a maior parte da variância de cada uma deve-se a fenômenos próprios ou aleatórios que não contribuem para o seu agrupamento ou correlação com qualquer das demais variáveis.

Após eliminar as variáveis citadas, realizou-se

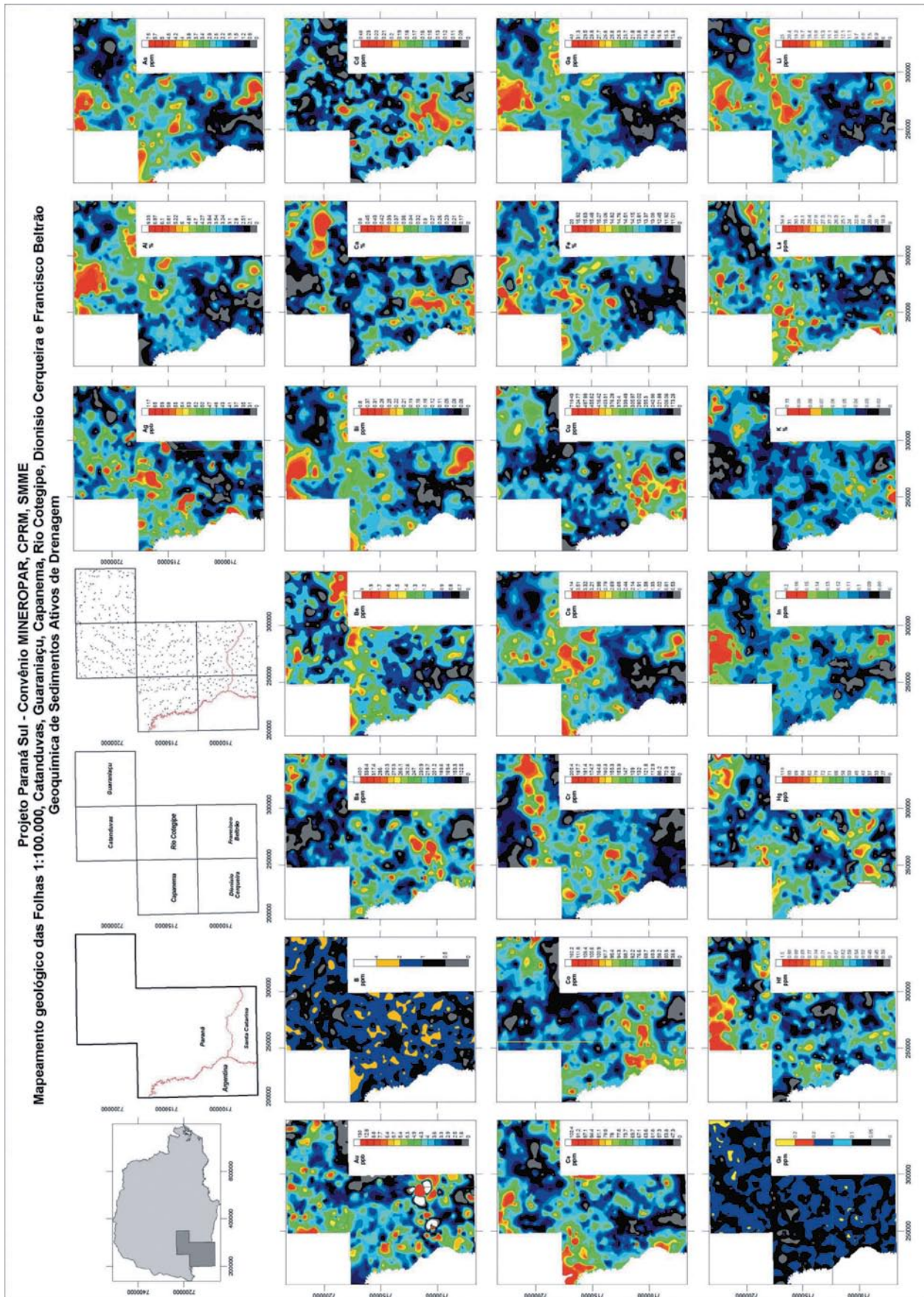


Figura 6.5.4 – Mapas geoquímicos das variáveis analisadas nos sedimentos ativos de drenagem (Ag ao Li).

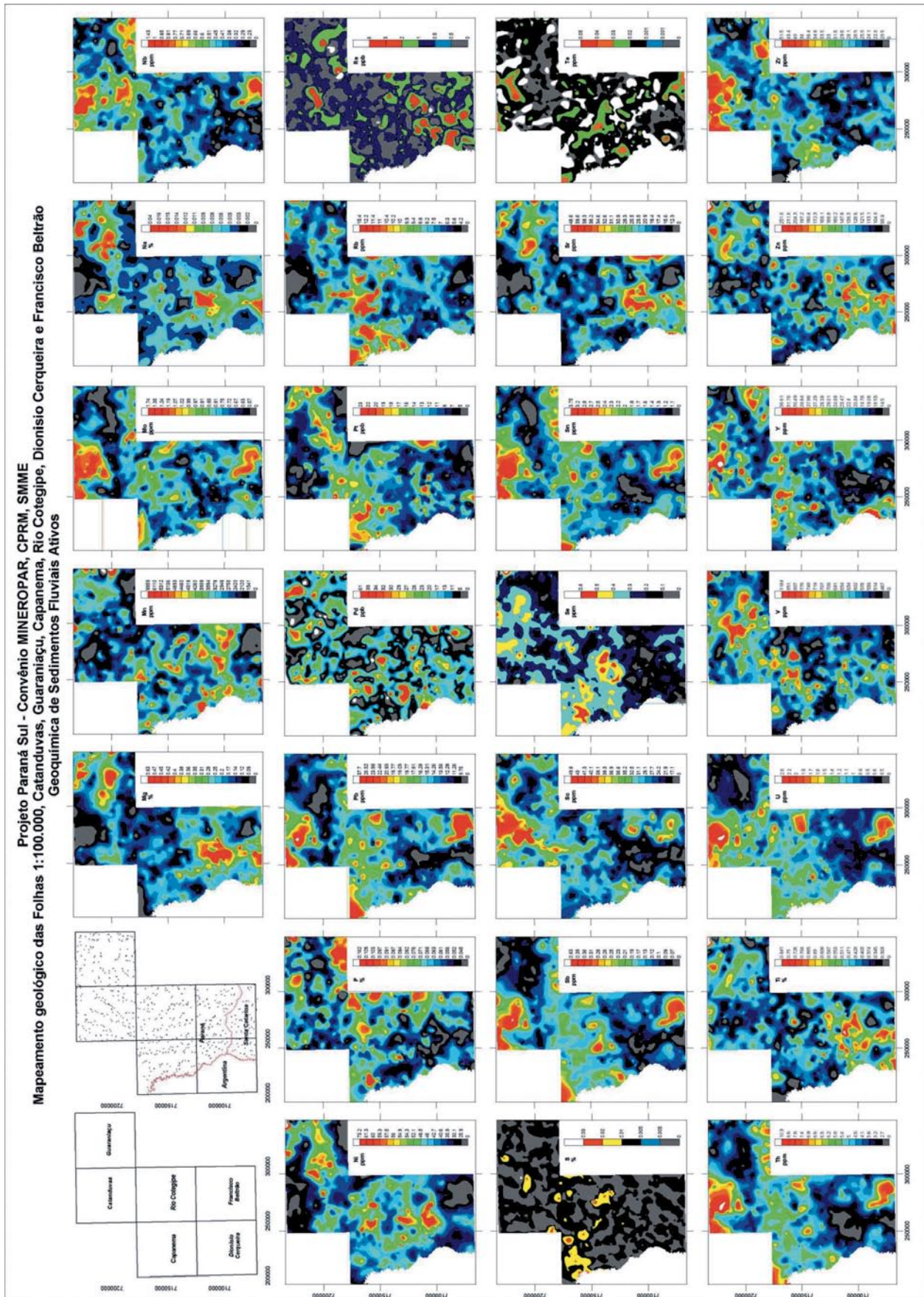


Figura 6.5.5 – Mapas geoquímicos das variáveis analisadas nos sedimentos ativos de drenagem (Mg ao Zr).

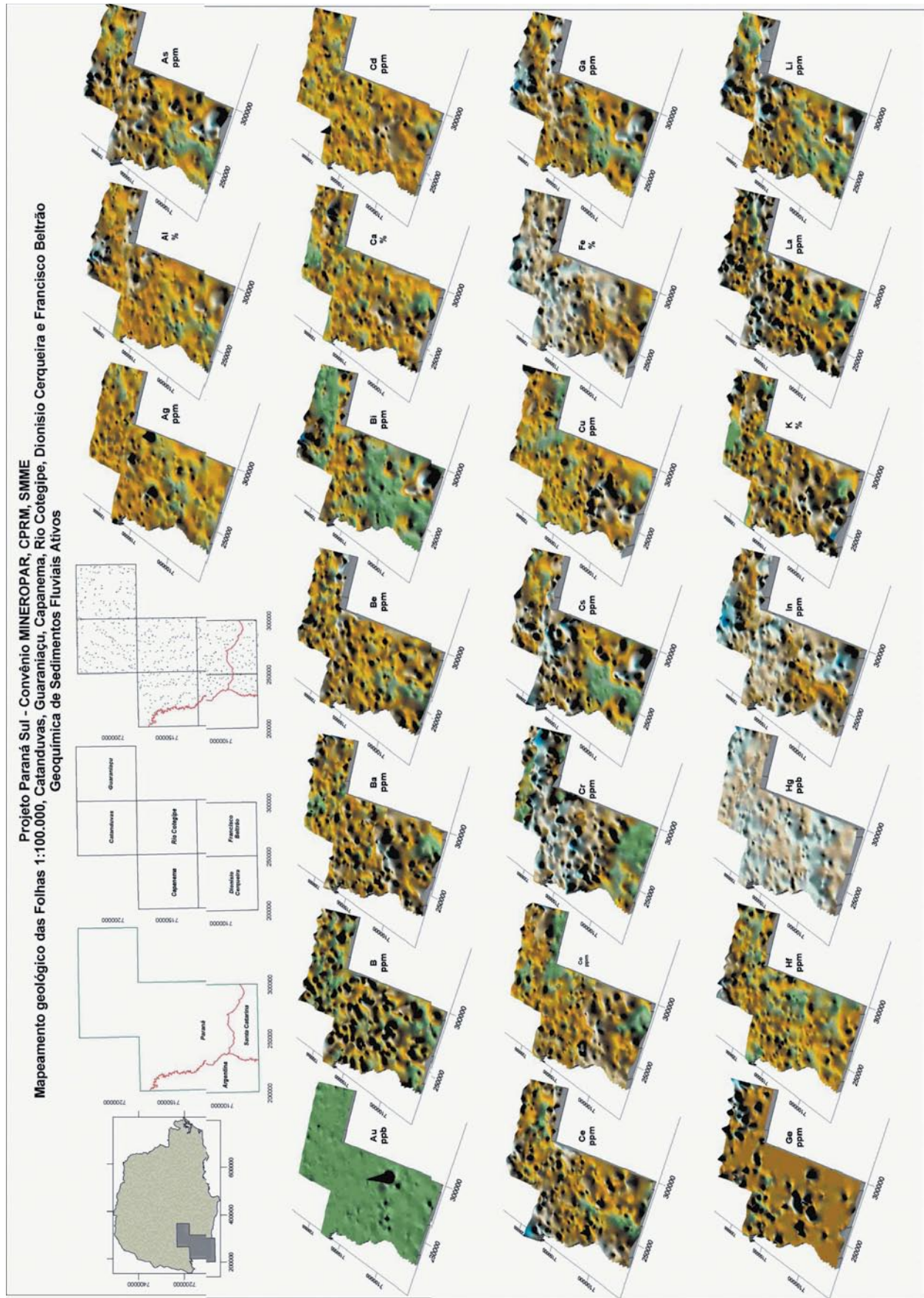


Figura 6.5.6 – Superfícies geoquímicas das variáveis analisadas nos sedimentos ativos de drenagem (Ag ao Li).

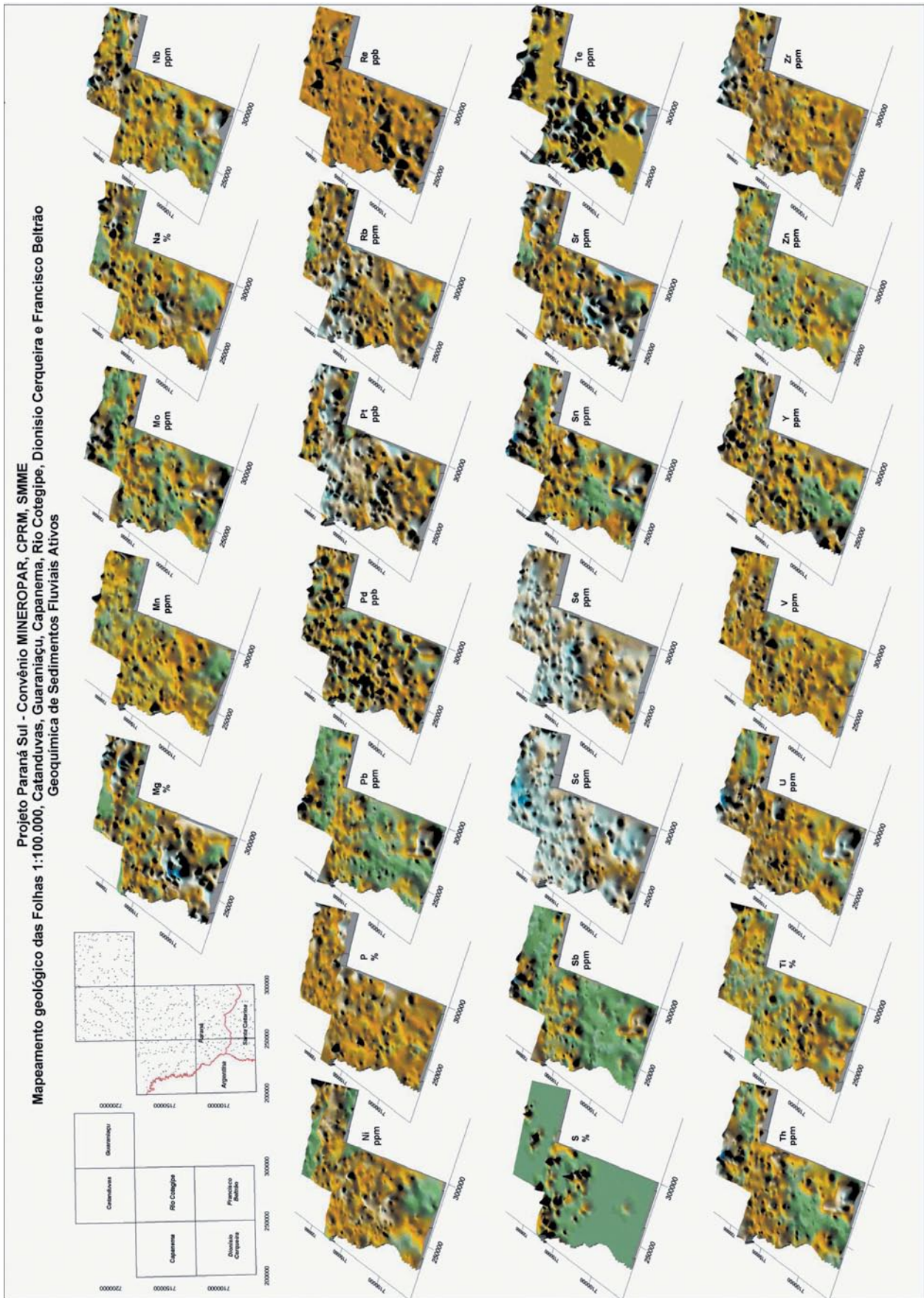


Figura 6.5.7 – Superfícies geoquímicas das variáveis analisadas nos sedimentos ativos de drenagem (Mg ao Zr).

novo procedimento a partir do qual a Análise dos Componentes Principais selecionou 9 componentes que explicam 82,84% da variância dos dados e que serão a seguir descritos e apresentados na Figura 6.5.8.

O componente 1 (Al, As, Bi, Cs, Ga, In, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sc, Sn, Th, Tl, U) explica 26,92% da variância dos dados, agrupando variáveis normalmente relacionadas ou indicativas de rochas de composição intermediária a ácida. Isso é notável quando se examina a superfície geoquímica do escore fatorial 1, que mostra duas regiões elevadas, coincidentes com as áreas de ocorrência da fácies Campo Erê, nas proximidades das cidades de Campo Erê (extremo sudeste da área do projeto) e de Guaraniçu (extremo noroeste).

O componente 2 (Ca, K, Mg, Na, Sr), explica 11,37% da variância dos dados e indica os elementos associados ao intemperismo químico, independente de sua origem. Isto resulta em superfície do escore fatorial 2 confusa, com elevações e depressões não associadas a fácies específicas.

O componente 3 (Be, Ce, La, P, Y) explica 9,47% da variância e pode resultar de concentrações de apatita e/ou monazita, mas não há explicação geológica razoável na região.

O componente 4 (Cd, Cu, Ti, V, Zn) explica 9,21% da variância dos dados e agrupa elementos normalmente associados a sulfetos em ambiente básico, o que também não foi caracterizado na região.

O componente 5 (Cr, Fe, Ni, Pt), explica 6,85% da variância dos dados e está vinculado à presença de rochas básicas e talvez reflexos de sutis concentrações de sulfetos de Ni-Pt.

O componente 6 (Ba, Co, Mn) explica 6,69% da variância dos dados e está relacionado à captura do Ba e Co pelo Mn no ambiente secundário.

O componente 7 (Hf, Zr) explica 5,56% da variância dos dados e mostra a associação universal de ambos elementos. A abundância de zircão nos basaltos talvez explique essa associação, já que o Hf substitui o Zr na estrutura do zircão.

O componente 8 (Ag, Hg, Pb) explica 3,96% da variância, mas não há justificativa compatível com o panorama geológico da região.

O componente 9 (Ge) explica 3,96% da variância dos dados e também não há razão compatível com o panorama geológico da região.

É importante salientar, entretanto, que a análise de componentes principais realizada com os dados analíticos de sedimentos ativos de drenagem, tem densidade de informações muito maior do que a adotada pela litogeoquímica e pela petrografia, seja em quantidade de amostras, seja pela quantidade de variáveis analisadas. Isto faz com que os resultados obtidos não possuam correlação clara ou explicação conclusiva com os resultados do mapeamento geológico.

6.5.3 ASSINATURAS GEOQUÍMICAS DAS FÁCIES MAPEADAS

O conceito de assinatura geoquímica adotado no presente relatório é o do conjunto de valores mais baixos ou dos valores mais elevados dos elementos analisados que sejam úteis para caracterizar uma unidade ou fácies de mapeamento. Dessa forma, a assinatura geoquímica de cada fácies mapeada é constituído pelo conjunto de médias mais elevadas e mais baixas, sempre comparados com os das outras fácies (Tabela 6.5.2).

Assinatura geoquímica da fácies Campo Erê

- mais altas médias de Al, As, Bi, Ga, Hf, In, Mo, Pb, Sb, Sc, Sn, Te, Th, Tl, U, Zr e Re
- médias mais baixas de Ca, Fe, K, Mg, Na, S, B, Ba, Cr, Ni, Rb, Sr, Zn e Pd

Assinatura geoquímica da fácies Cordilheira Alta

- mais altas médias de Ca, K, Mg, Na, Ti, Cd, Co, Cu, Ge, Sr, Au, Pd
- médias mais baixas de Al, P, S, As, Be, Ce, Cs, Ga, In, La, Li, Mo, Pb, Sb, Sc, Sn, Th, Tl, U, Y, Zr, Ag

Assinatura geoquímica da fácies Campos Novos

- médias mais baixas de Bi e Hf

Assinatura geoquímica da fácies Capanema

- mais altas médias de Fe, S, B, Ba, Ce, Cr, Cs, La, Mn, Ni, Rb, Se, Tl, V, Ag, Hg e Pt
- médias mais baixas de Ti, Ge e Nb

Assinatura geoquímica da fácies Nova Laranjeiras

- mais altas médias de P, Be, Ge, Li, Nb, Y e Zn
- médias mais baixas de Na, S, Cd, Co, Cu, Mn, Se, Te, V, Au, Hg, Pt e Re

Dessas assinaturas são notáveis os seguintes fatos:

1. A Fácies Campo Erê tem assinatura geoquímica de rochas ígneas evoluídas, de composição intermediária a ácida e está expressa tanto no grupo de elementos com médias elevadas, quanto no de médias baixas;
2. Apesar de semelhantes em afloramento, as Fácies Cordilheira Alta e Capanema têm assinaturas geoquímicas diferentes, mas características de rochas básicas.
3. A Fácies Campos Novos, constituída por basaltos que, segundo observações de campo, são praticamente isentos de alteração hidrotermal, tem a assinatura mais simples, comparativamente às demais fácies.
4. A Fácies Nova Laranjeiras tem assinatura geoquímica relativamente complexa, já que inclui nas médias elevadas, elementos característicos de rochas básicas, como o Zn, e de ácidas, como o Nb e Li.

6.6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- a) A elevada densidade de amostras de sedimentos ativos de drenagem possibilitou cobertura confiável

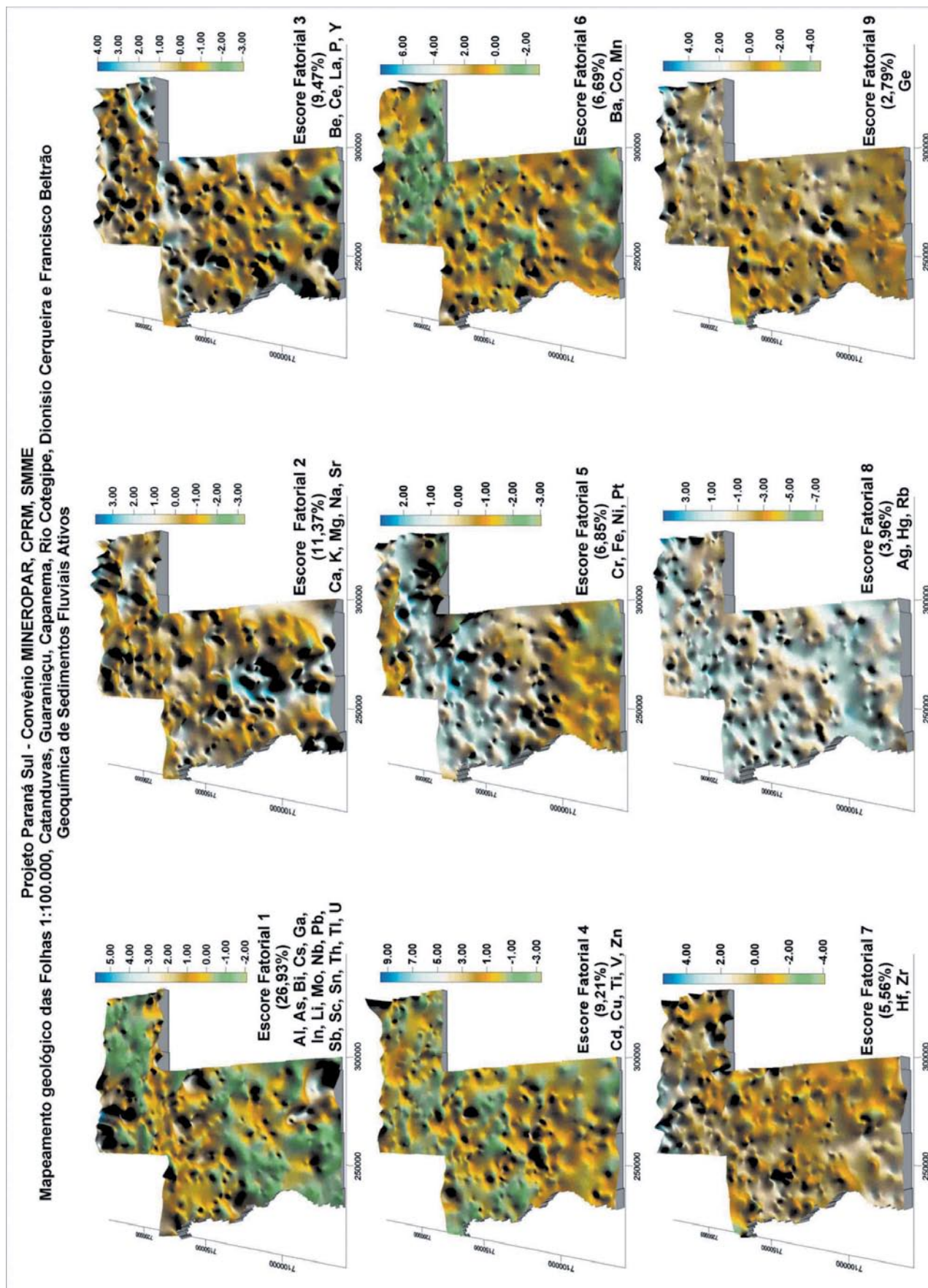


Figura 6.5.8 – Distribuição espacial dos escores fatoriais.

da área do projeto.

b) A geoquímica de sedimentos ativos, tradicionalmente utilizada na exploração mineral, pode ser utilizada como técnica auxiliar de mapeamento geológico.

c) A análise química multielementar com baixos limites de detecção é fundamental na caracterização de fácies e serve de suporte ao mapeamento geológico pela quantidade de variáveis analíticas envolvidas.

d) As anomalias produzidas pelos levantamentos geoquímicos regionais e que serviram de referência para a delimitação da área do projeto, foram reproduzidas pelos valores elevados obtidos no projeto.

e) A análise de componentes principais realizada com os resultados analíticos de sedimentos ativos evidenciou agrupamentos de variáveis analíticas que são compatíveis com os dados de geologia e geofísica do projeto. Alguns agrupamento de variáveis não possuem correlação clara ou explicação conclusiva nos resultados do mapeamento geológico. Entretanto, é recomendável que o método seja aplicado em outros projetos semelhantes, pois variações sutis e de difícil

identificação em campo ficam caracterizadas e podem servir de importante referencial e suporte para o mapeamento geológico.

f) Os teores dos elementos de interesse exploratório evidenciam a associação de alguns valores elevados de ouro, platina e enxofre, agrupados na porção central da área do projeto, no polígono delimitado pelas cidades de Francisco Beltrão, Capanema e Três Barras. Considerando a resolução da técnica de geoquímica de sedimentos fluviais, sob o ponto de vista exploratório, essa é a única região que merece detalhamento, pois é especialmente interessante por estar vinculada à Fácies Capanema, à presença de veios de pirita na localidade de Santo Antônio, a sul de Nova Prata do Iguaçu e pela associação de altos geoquímicos com uma anomalia geofísica magnética.

g) A presença de minerais característicos de terrenos metamórficos em concentrados de bateia merece detalhamento para determinar a proveniência e possível área-fonte, assim como a frequência e abundância de zircão.

Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná

Tabela 6.5.2 - Valores médios de cada fácies mapeada com a indicação das médias mais elevadas (em vermelho) e das mais baixas (em azul).

| Elemento (unidade) | Campo Erê | Cordilheira Alta | Campos Novos | Capanema | Nova Laranjeiras |
|--------------------|----------------|------------------|--------------|-----------------|------------------|
| | N = 8075 | N = 24926 | N = 13836 | N = 8596 | N = 1195 |
| Al (pct) | 4,403 | 3,130 | 3,555 | 3,377 | 3,876 |
| Ca (pct) | 0,218 | 0,294 | 0,272 | 0,266 | 0,271 |
| Fe (pct) | 13,134 | 13,182 | 13,549 | 13,782 | 13,138 |
| K (pct) | 0,034 | 0,050 | 0,045 | 0,044 | 0,042 |
| Mg (pct) | 0,153 | 0,254 | 0,200 | 0,182 | 0,185 |
| Na (pct) | 0,004 | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,004 |
| P (pct) | 0,065 | 0,062 | 0,068 | 0,069 | 0,087 |
| S (pct) | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,008 | 0,005 |
| Ti (pct) | 0,428 | 0,474 | 0,428 | 0,409 | 0,434 |
| As (ppm) | 3,010 | 1,992 | 2,489 | 2,703 | 2,360 |
| B (ppm) | 1,104 | 1,303 | 1,343 | 1,388 | 1,120 |
| Ba (ppm) | 156,990 | 209,878 | 197,341 | 212,375 | 196,252 |
| Be (ppm) | 1,101 | 0,999 | 1,133 | 1,206 | 1,557 |
| Bi (ppm) | 0,209 | 0,117 | 0,140 | 0,148 | 0,143 |
| Cd (ppm) | 0,130 | 0,143 | 0,129 | 0,140 | 0,125 |
| Ce (ppm) | 65,912 | 61,324 | 64,537 | 70,025 | 69,235 |
| Co (ppm) | 56,382 | 76,180 | 66,063 | 69,315 | 49,360 |
| Cr (ppm) | 73,631 | 116,424 | 129,320 | 130,382 | 91,338 |
| Cs (ppm) | 1,970 | 1,336 | 1,865 | 2,135 | 1,789 |
| Cu (ppm) | 259,070 | 296,920 | 248,786 | 244,107 | 214,046 |
| Ga (ppm) | 24,033 | 18,361 | 20,449 | 20,135 | 22,760 |
| Ge (ppm) | 0,101 | 0,112 | 0,102 | 0,090 | 0,112 |
| Hf (ppm) | 0,650 | 0,539 | 0,551 | 0,539 | 0,592 |
| In (ppm) | 0,135 | 0,105 | 0,109 | 0,110 | 0,117 |
| La (ppm) | 22,588 | 22,177 | 23,776 | 25,287 | 24,822 |
| Li (ppm) | 12,455 | 8,891 | 11,293 | 11,618 | 12,812 |
| Mn (ppm) | 2410,939 | 3300,859 | 2902,078 | 3083,754 | 2173,517 |
| Mo (ppm) | 0,988 | 0,741 | 0,770 | 0,783 | 0,805 |
| Nb (ppm) | 0,593 | 0,387 | 0,456 | 0,426 | 0,616 |
| Ni (ppm) | 29,489 | 43,752 | 44,024 | 44,434 | 32,461 |
| Pb (ppm) | 18,382 | 13,636 | 14,768 | 16,090 | 14,419 |
| Rb (ppm) | 5,396 | 7,390 | 7,917 | 9,050 | 6,825 |
| Sb (ppm) | 0,219 | 0,126 | 0,159 | 0,173 | 0,146 |
| Sc (ppm) | 34,346 | 27,328 | 29,136 | 29,131 | 28,013 |
| Se (ppm) | 0,300 | 0,259 | 0,287 | 0,330 | 0,212 |
| Sn (ppm) | 2,186 | 1,488 | 1,652 | 1,693 | 1,967 |
| Sr (ppm) | 16,273 | 23,634 | 21,378 | 20,262 | 22,582 |
| Te (ppm) | 0,012 | 0,006 | 0,006 | 0,007 | 0,003 |
| Th (ppm) | 5,978 | 4,108 | 4,779 | 5,033 | 5,323 |
| Tl (ppm) | 0,184 | 0,158 | 0,165 | 0,184 | 0,160 |
| U (ppm) | 1,358 | 0,898 | 1,077 | 1,166 | 0,943 |
| V (ppm) | 599,652 | 598,308 | 609,320 | 612,708 | 561,218 |
| Y (ppm) | 22,228 | 20,084 | 21,273 | 22,515 | 23,998 |
| Zn (ppm) | 122,583 | 137,844 | 128,451 | 127,411 | 139,329 |
| Zr (ppm) | 31,089 | 26,071 | 27,373 | 26,866 | 29,889 |
| Ag (ppb) | 44,285 | 40,601 | 44,624 | 48,081 | 42,372 |
| Au (ppb) | 3,835 | 4,280 | 3,557 | 3,746 | 1,809 |
| Hg (ppb) | 47,892 | 51,105 | 46,324 | 52,426 | 37,147 |
| Pd (ppb) | 13,191 | 14,984 | 14,830 | 13,940 | 14,748 |
| Pt (ppb) | 7,813 | 11,484 | 12,494 | 14,274 | 6,364 |
| Re (ppb) | 0,906 | 0,904 | 0,769 | 0,711 | 0,660 |

7 GEOFÍSICA

Francisco José Fonseca Ferreira
Maise Bastos Abram

7.1 MÉTODOS

Inicialmente, a área objeto de estudo foi localizada no contexto de duas interpretações do embasamento da Bacia do Paraná (Fig. 7.1) e nos mapas das grandes estruturas da bacia (Figs. 7.2 e 7.3) para verificar suas eventuais continuidades na área pesquisada. Em seguida, os dados do Projeto Rio Iguaçu foram continuados

para uma altura de 1.000 m, para se nivelar à altitude do Projeto Borda Oeste da Bacia do Paraná (Bloco Leste/Sul), sendo posteriormente integrados por meio da rotina *GridKnit*, cedida pela CPRM ao LPGA/UFPR, do pacote *Geosoft Oasis montaj*TM. Os dados foram então interpolados pelo método da curvatura mínima (Briggs, 1974), por meio de malha regular de 750x750 m, do que resultou o Mapa Magnético Integrado da figura 7.4. Posteriormente, os dados foram continuados para as alturas de 2.000 m e 5.000 m, este último representado na figura 6.5, para suprimir os sinais derivados de fontes rasas e ruídos.

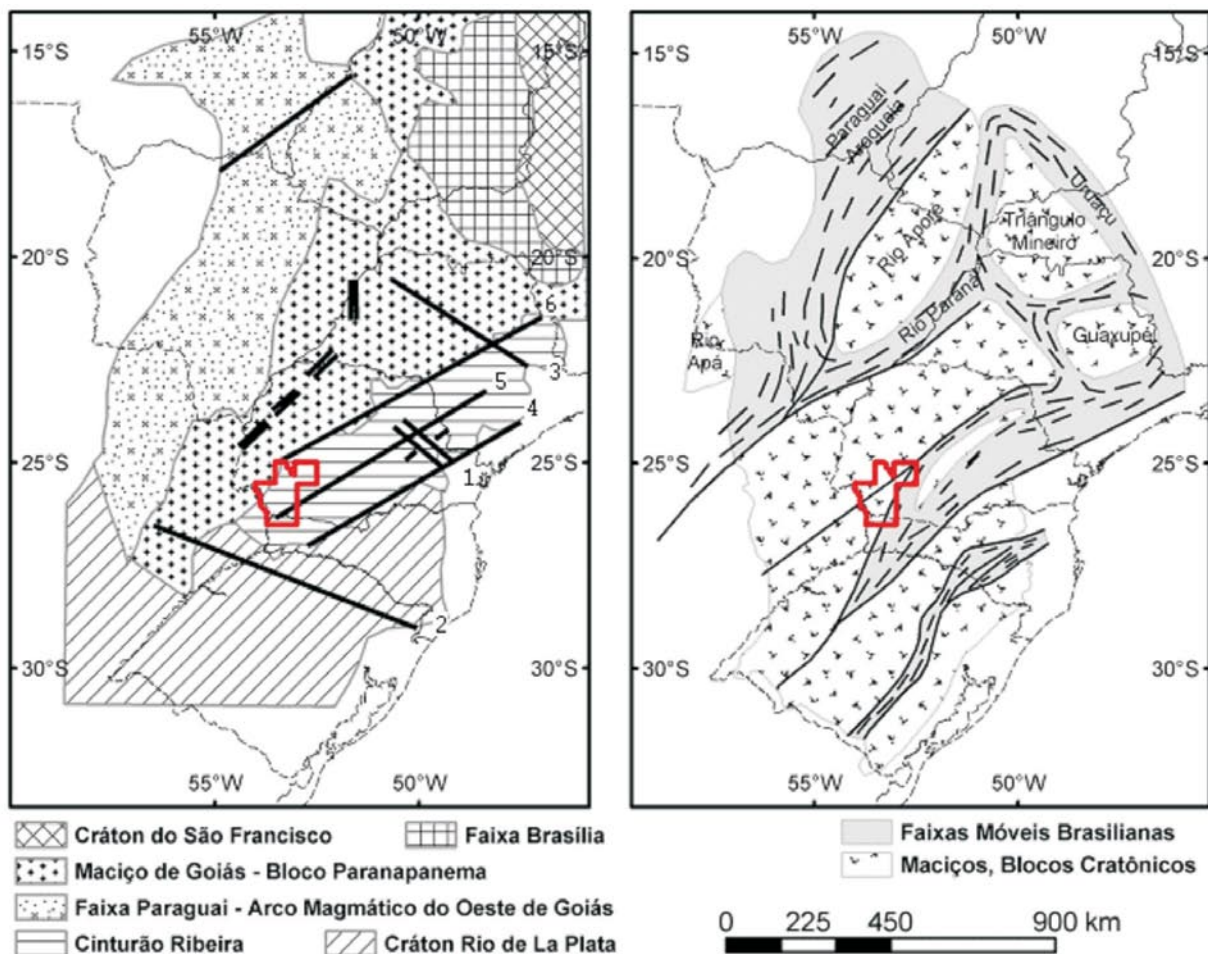


Figura 7.1 – Mapa de localização da área de estudo no contexto de duas interpretações do embasamento da Bacia do Paraná no Brasil (A – Quintas, 1995; B – Milani & Ramos, 1998). 1 – Eixo do Arco de Ponta Grossa; 2 – Sinclinal de Torres; 3 – Flexura de Goiânia; 4 – Zona de Falha da Lancinha; 5 – Zona de Falha de Taxaquara; 6 – Zona de Falha de Jacutinga.

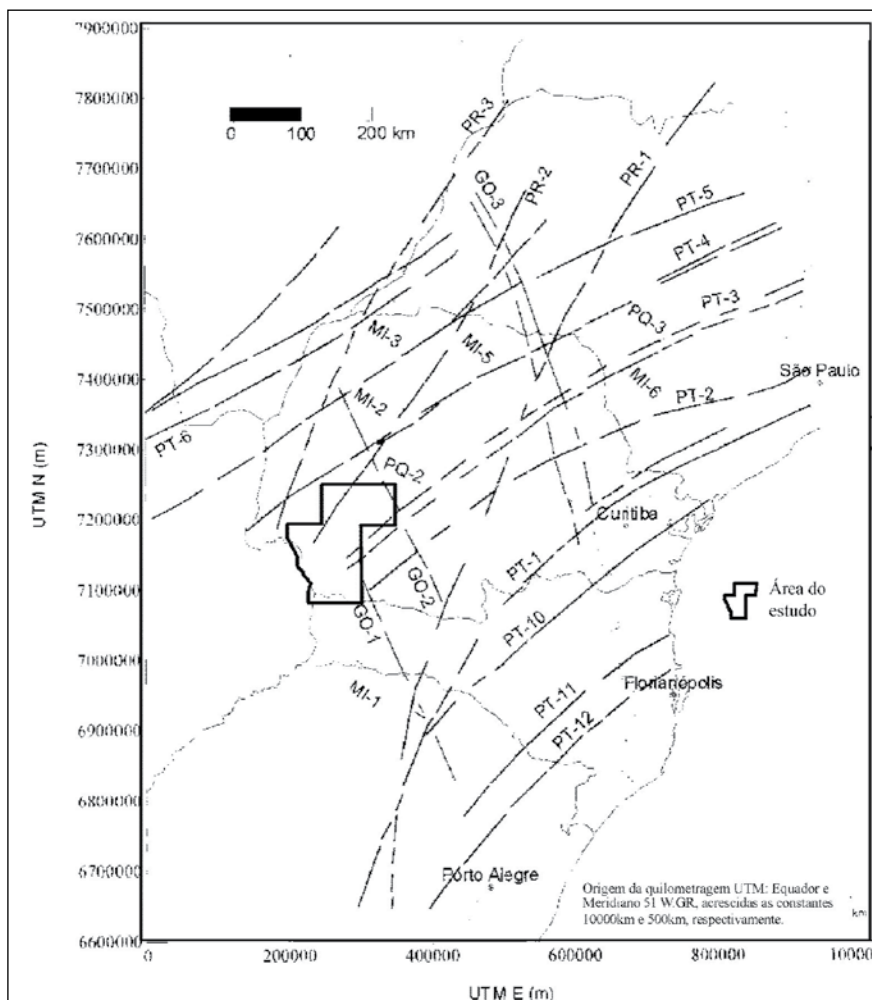


Figura 7.2 – Mapa de localização da área de estudo e as principais faixas estruturais da Bacia do Paraná no Brasil definidas por Soares et al. (1982): GO (Goioxim – N05-20W), Médio Ivaí (MI – N45W), Paraná (PR – N25E), Rio Piquiri (PQ – N70W), todas relacionadas com a área da pesquisa.

Os métodos de realce de anomalias magnéticas, para fins de cartografia estrutural, foram baseados na literatura internacional mais recente e calcados, essencialmente, após vários testes, na malha derivada da continuação do campo magnético para 5.000 m (Fig. 7.5). Tais métodos, listados abaixo e utilizados neste trabalho, complementam, com modificações experimentais (Ferreira, 2006), os procedimentos sugeridos por Fedi & Florio (2001), Verduzco et al. (2004) e Debeglia et al. (2005).

- 1) - Integral Vertical (INTG) – Silva (1996).
Unidade = nT.m;
- 2) - Gradiente Vertical (dT/dz) – Evjen (1936).
Unidade = nT/m;
- 3) - Gradientes Horizontais (dT/dx; dT/dy) – Cordell & Grauch (1985).
Unidade = nT/m;
- 4) - Gradiente Horizontal Total (THDR) – Cordell & Grauch (1985).

$$THDR = [(dT/dx)^2 + (dT/dy)^2]^{1/2}.$$

Unidade = nT/m;

- 5) - Sinal Analítico Simples (AS) - Nabighian (1972, 1974, 1984); Roest et al. (1992).

$$AS = [(dT/dx)^2 + (dT/dy)^2 + (dT/dz)^2]^{1/2}.$$

Unidade = nT/m;

- 6) - Fase do Sinal Analítico (TDR) – Miller & Singh (1994 a,b).

$$TDR = (dT/dz)/[(dT/dx)^2 + (dT/dy)^2]^{1/2}.$$

Unidade = radiano (rad);

- 7) - Fase do Sinal Analítico de segunda ordem (STDR) – este trabalho.

$$STDR = (dTDR/dz)/[(dTDR/dx)^2 + (dTDR/dy)^2]^{1/2}.$$

Unidade = radiano (rad);

- 8) - Gradiente Horizontal Total da Fase do Sinal Analítico (THDR_TDR) Verduzco et al. (2004).

$$THDR_TDR = [(dTDR/dx)^2 + (dTDR/dy)^2]^{1/2}.$$

Unidade = nT/m;

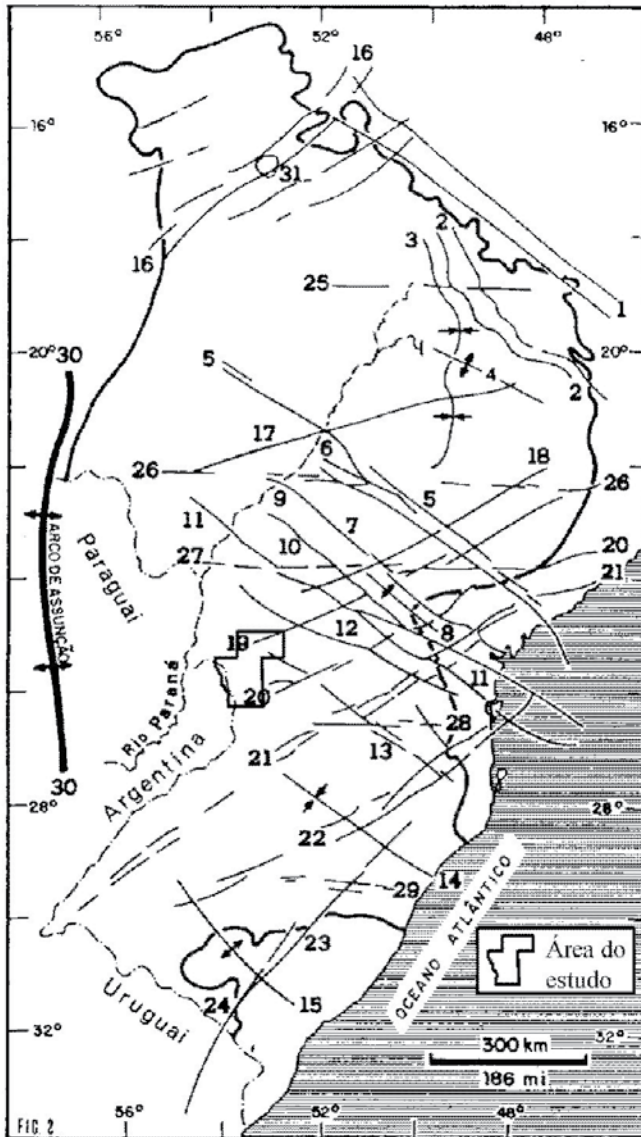


Figura 7.3 - Mapa de localização da área de estudo e o arcabouço tectônico da Bacia do Paraná no Brasil definido por Zalán et al. (1990). Em negrito as estruturas relacionadas com a área da pesquisa. LEGENDA: 1 - Arco do Alto Parnaíba; 2 - Flexura de Goiânia; 3 - Baixo de Ipiacu/Campina Verde; 4 - Alto do Cardoso; 5 - Zona de Falha (Z.F.) de Guapiara; 6 - Falha de Santo Anastácio; 7 - Falha de São Jerônimo-Curiúva; 8 - Arco de Ponta Grossa; 9 - Z.F. de Curitiba-Maringá; 10 - Falha do Rio Alonzo; 11 - Z.F. Cândido de Abreu-Campo Mourão; 12 - Lineamento (Lin.) do Rio Piquiri; 13 - Z.F. Caçador; 14 - Sinclinal de Tôrres; 15 - Arco do Rio Grande; 16 - Lin. Transbrasileiro; 17 - Lin. de Araçatuba; 18 - Falha de Guaxupé; 19 - Falha de Jacutinga; 20 - Z.F. de Taxaquara; 21 - Z.F. da Lancinha; 22 - Z.F. de Blumenau-Soledade; 23 - Falha do Leão; 24 - Falha de Açotea; 25 - Lin. de Cassilândia; 26 - Lin. Mogi-Guaçu-Dourados; 27 - Lin. de São Sebastião; 28 - Lin. de Taquara Verde; 29 - Lin. Bento Gonçalves; 30 - Arco de Assunção; 31 - Domo de Araguainha.

9) - Fase do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (TDR_THDR) – este trabalho.

$$TDR_THDR = (dTHDR/dz)/[(dTHDR/dx)^2 + (dTHDR/dy)^2]^{1/2}$$

Unidade = radiano;

10) - Quadrado do Campo Magnético (QT) - este trabalho. Unidade = nT²;

11) - Fase do Sinal Analítico do Quadrado do Campo Magnético (TDRQT) – este trabalho.

$$TDRQT = (dQT/dz)/[(dQT/dx)^2 + (dQT/dy)^2]^{1/2}$$

Unidade = radiano (rad);

12) - Fase do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total do Quadrado do Campo Magnético (TDR_THDR-QT) – este trabalho.

$$TDR_THDRQT = (dTHDRQT/dz)/[(dTHDRQT/dx)^2 + (dTHDRQT/dy)^2]^{1/2}$$

Unidade = radiano (rad);

13) - Soma dos Valores Absolutos das Derivadas Horizontais (HDSUM) – Pitas (2000).

$$HDSUM = |dT/dx| + |dT/dy|$$

Unidade = nT/m;

14) - Operador de Laplace (LO) – Segunda Derivada Vertical - Pitas (2000).

$$LO = d^2T/dz^2 = - (d^2T/dx^2 + d^2T/dy^2)$$

Unidade = nT/m²

15) - Gradiente Horizontal Total Realçado (EHD) – Fedi & Florio (2001).

$$EHD = [(df/dx)^2 + (df/dy)^2]^{1/2}$$

Unidade = nT/mⁿ.

(f = soma das derivadas verticais de ordem n, onde n = 1,2,3.....n);

16) - Fase do Sinal Analítico de EHD – este trabalho.

$$TDR_EHD = (dEHD/dz)/[(dEHD/dx)^2 + (dEHD/dy)^2]^{1/2}$$

Unidade = radiano (rad);

17) - Sinal Analítico de ordem n(z). [AS_n(z)], onde n(z) = 1,2,3.....n(z) - Hsu et al. (1996, 1998); Debeglia & Coppel (1997).

$$AS_n(z) = \{[(d^nT/dz^n)/dx]^2 + [(d^nT/dz^n)/dy]^2 + [(d^nT/dz^n)/dz]^2\}^{1/2}$$

Unidade = nT/mⁿ.

18) - Sinal Analítico de ordem n(x,y,z). [AS_n(x,y,z)], onde n = 1,2,3.....n(x,y,z) - Hsu et al. (1996); Debeglia & Coppel (1997).

$$AS_n(x,y,z) = \{[(d^nT/dx^n)/dx]^2 + [(d^nT/dy^n)/dy]^2 + [(d^nT/dz^n)/dz]^2\}^{1/2}$$

Unidade = nT/mⁿ.

19) - Sinal Analítico Composto (CAS) – Debeglia et al. (2006).

$$CAS = [(df/dx)^2 + (df/dy)^2 + (df/dz)^2]^{1/2}$$

Unidade = nT/mⁿ

(f = soma das derivadas verticais de ordem n(z), onde n = 1,2,3.....n(z).

7.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A localização da área de estudo no contexto de duas interpretações do embasamento da Bacia do Paraná

no Brasil (Fig. 7.1) mostra que a mesma está segmentada por megaestruturas de direção NE-SW. A comparação das duas concepções indica que o modelo de Quintas (1995) guarda melhor correspondência com as tendências NE-SW, representadas por continuidades das zonas de cisalhamento de Jacutinga, Taxaquara e Lancinha, as quais afloram na porção oriental do embasamento Pré-cambriano. A figura 7.1A também exhibe tendências na direção NW-SE, representadas pela Flexura de Goiânia, eixo do Arco de Ponta Grossa e Sinclinal de Torres. Tais tendências foram interpretadas por Ferreira (1982a,b), Ferreira *et al.* (1984), Fúlfaro *et al.* (1982), Soares *et al.* (1982), Zalán *et al.* (1990), Milani & Ramos (1998), Rostirolla *et al.* (2005), dentre outros, como estruturas que participaram da evolução tectônica da Bacia do Paraná no Brasil, juntamente com as de direção NE-SW, e assim compartimentando-a e condicionando a sedimentação e o magmatismo desde sua implantação até o Cenozóico.

As figuras 7.2 e 7.3 mostram, respectivamente, a localização da área de estudo em relação às grandes estruturas indicadas por Soares *et al.* (1982) e Zalán *et al.* (1990). Na figura 7.2, as faixas estruturais com repercussões na área compreendem as GO-1, GO-2, PT-2, PT-3, PR-2 e PQ-2, enquanto na figura 7.3 destacam-se a Zona de Falha de Caçador, a Falha de Jacutinga e a Zona de Falha de Taxaquara.

Os dezenove procedimentos indicados no item anterior foram testados nas malhas original (1.000 m) e continuadas para 2.000 e 5.000 m, do que resultou a geração de mais de 120 mapas. A comparação entre eles, para um mesmo tema de processamento, mostrou que os melhores produtos para a interpretação magnética-estrutural qualitativa foram os derivados da malha continuada para 5.000 m. Assim, foram selecionados para apresentação apenas os mapas abaixo discutidos, decorrentes do processamento da última malha, com ênfase nos da fase do sinal analítico para diversos temas.

A figura 7.4 mostra o mapa magnético integrado para uma altura de 1.000 m, na qual indica-se os tratos derivados dos projetos Borda Oeste da Bacia do Paraná (Bloco Leste/Sul - A) e Rio Iguacu (B). A figura 7.5 exhibe o mapa magnético continuado para 5.000 m, onde é possível identificar mais claramente três domínios magnéticos (A, B e C) separados por expressivas descontinuidades NW-SE. O Domínio A é caracterizado pelo predomínio de anomalias de baixas amplitudes, ao passo que o Domínio B por amplitudes geralmente intermediárias e o Domínio C por amplitudes freqüentemente elevadas. O limite entre os domínios A e B é dado pelo Alinhamento do Rio Iguacu (Fúlfaro *et al.*, 1982), enquanto a separação entre os domínios B e C é representada pela estrutura aqui denominada Alinhamento Salgado Filho. As figuras 7.6 e 7.7 exibem, respectivamente, os mapas da fase do sinal analítico de primeira e de segunda ordem, respectivamente, do campo continuado para 5.000 m.

A título experimental, a figura 7.8 exhibe o mapa do quadrado do campo magnético, a qual denota a separa-

ção dos domínios antes referidos. As figuras 7.9 e 7.10 representam, respectivamente, os mapas da fase do sinal analítico de primeira ordem e da fase do sinal analítico de primeira ordem da magnitude do gradiente horizontal total, com base no quadrado do campo magnético, nas quais salienta-se as principais tendências estruturais da área.

Apesar de produtos experimentais, ainda em fase de consolidação, sobretudo a figura 7.10 foi a que mais forneceu subsídios para a interpretação magnética-estrutural qualitativa. Observe-se como a separação dos domínios magnéticos se expressa por anomalias estreitas e contínuas, assim como a definição de expressivas tendências NE-SW e NW-SE em todos os domínios magnéticos. Ressalte-se que as anomalias de menor continuidade espacial, aparentemente dispersas nos domínios B e C, também foram importantes para a interpretação quando devidamente correlacionadas.

A figura 7.11, da integral vertical do campo magnético, indica as anomalias mais profundas da área de estudo, com destaque para as contíguas aos limites dos domínios. Já as figuras 7.12 e 7.13, da fase do sinal analítico de primeira e de segunda ordem da integral vertical, respectivamente, ressaltam com clareza a linearidade de tais anomalias profundas.

Com base nos vários produtos gerados, foi concebida a interpretação magnética-estrutural representada na figura 7.14. Nela são indicadas, além dos domínios e estruturas magnéticas, definidas e inferidas, as principais zonas anômalas e os megalineamentos descritos por Soares *et al.* (1982) e Zalán *et al.* (1990), para efeito de comparação.

A figura 7.15 sobrepõe à anterior as falhas extensionais e indiscriminadas. Observe-se que tais lineamentos guardam boa correspondência com as estruturas magnéticas NW-SE. Entretanto, os lineamentos derivados da interpretação de sensores orbitais não exibem relações conspícuas com as direções magnéticas dispostas segundo NE-SW. É notável observar a continuidade da Zona de Falha de Caçador (Zalán *et al.*, 1990), expressa pelos lineamentos interpretados pela CPRM-MINEROPAR (2006). É também digno de nota ressaltar, de maneira geral, a expressão magnética da continuidade de outras grandes estruturas, como a Zona de Falha de Taxaquara (Zalán *et al.*, 1990), e as direções MI-1, PT-2 e PT-3, principalmente, e GO-1, GO-2 e PR-2, secundariamente, todas de Soares *et al.* (1982).

A figura 7.16 mostra a interpretação magnética em correspondência aos lineamentos interpretados com base em imagens de radar. Um dos aspectos mais salientes é a sua concentração, em várias direções, na faixa setentrional do Domínio C e no seu entorno imediato, o que sugere forte controle estrutural desta faixa magnética anômala. A maioria das direções dos lineamentos coincide com as estruturas magnéticas mapeadas. Outro aspecto relevante é que as direções dos lineamentos refletem todas as tendências definidas

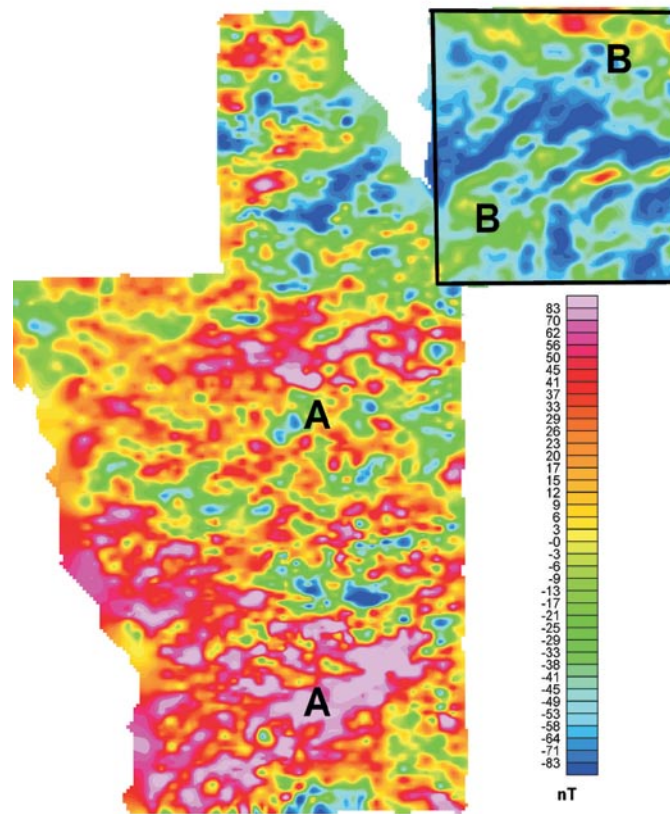


Figura 7.4 – Mapa magnético integrado da área de estudo (continuado e nivelado para 1000 m), indicando os segmentos dos projetos aerogeofísicos Borda Oeste da Bacia do Paraná (A - Bloco Leste/Sul – Petrobras, 1989) e Rio Iguazu (B - Petrobras, 1980).

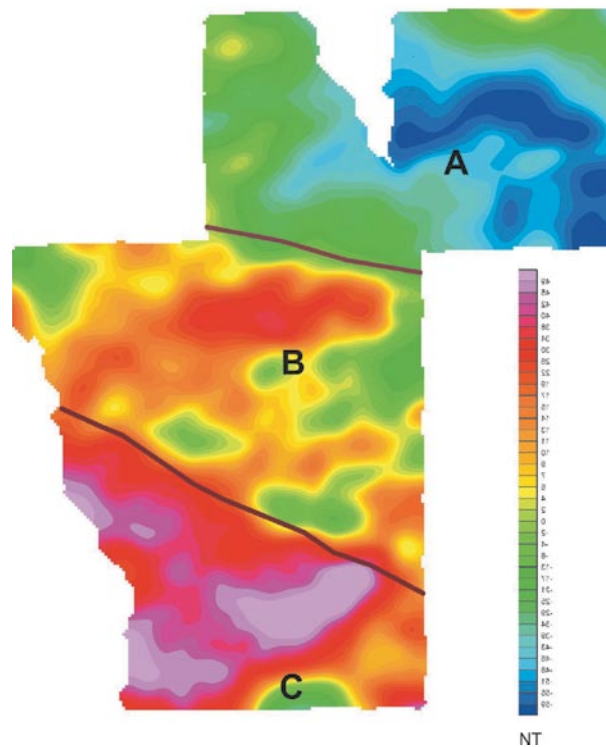


Figura 7.5 - Mapa magnético da área de estudo continuado para 5000 m, com indicação dos domínios A, B e C.

por Soares *et al.* (1982)

Por fim, a figura 7.17 sugere uma série de faixas estruturais, as quais foram nomeadas utilizando modificações da nomenclatura utilizada por Soares *et al.* (1982). Desta forma, foram definidas as direções Goioxim – GO 1 (N05-20W); Piquiri 1 – PQ 1 (N55-60W); Piquiri 2 a,b – PQ a,b (N65-70W); Pitanga 1 – PT 1 (N50-60E) e Pitanga 2,3 – PT2,3 (N40-50E).

Dentre as várias faixas definidas na figura 7.17, as mais importantes são as de direção Piquiri 2 a,b (PQ 2 a,b), por serem fortemente estruturadas e encerrarem anomalias magnéticas expressivas.

7.3 CONCLUSÕES

Os vários métodos de realce de anomalias magnéti-

cas utilizados se mostraram adequados para a interpretação estrutural, com ênfase na fase do sinal analítico para vários temas. A interpretação magnético-estrutural apontou direções compatíveis às tendências definidas na literatura, no contexto da Bacia do Paraná no Brasil. A interpretação magnético-estrutural também mostrou correspondência com as falhas extensionais, falhas indiscriminadas e diques, quando se considera a direção NW-SE, enquanto apenas os lineamentos extraídos de imagens de radar exibiram tendências compatíveis às demais direções magnéticas. Finalmente foi possível propor várias faixas estruturais-magnéticas, destacando-se as de direção N65-70W, denominadas Piquiri 2 (PQ 2a,b), por encerrarem fortes anomalias magnéticas e se caracterizarem pelo elevado grau de fraturamento, o que pode ser importante quando confrontadas com os demais dados geológicos e geoquímicos.

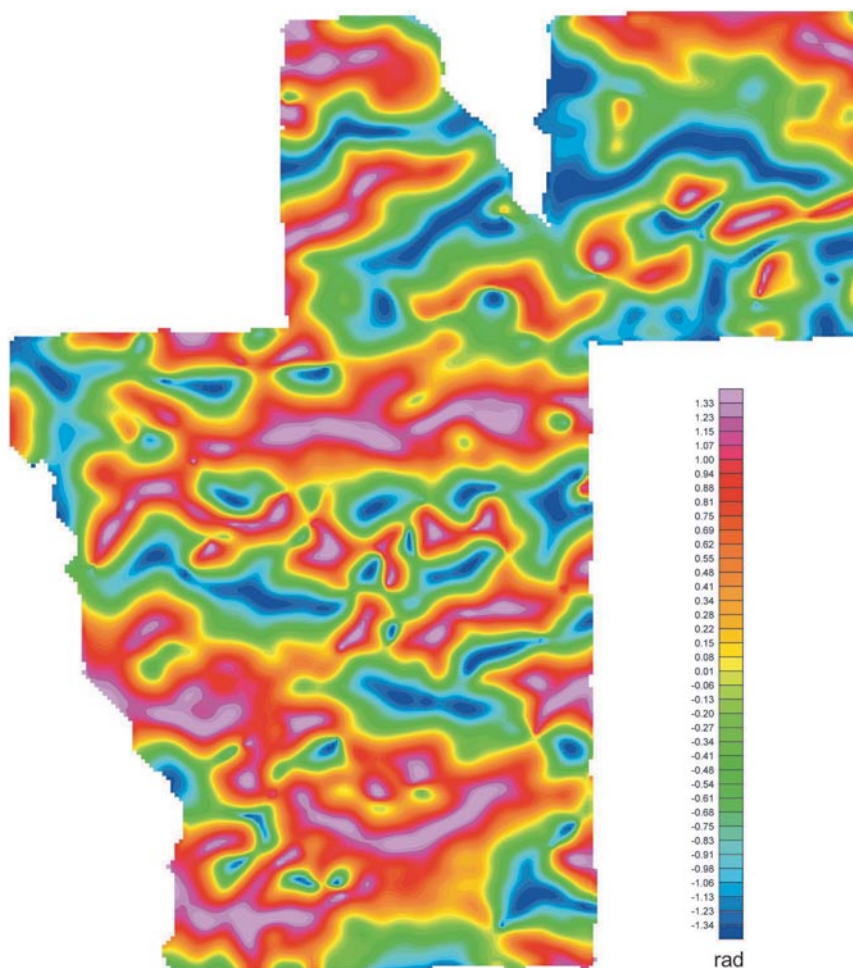


Figura 7.6 – Mapa da fase do sinal analítico de primeira ordem do campo magnético continuado para 5000 metros.

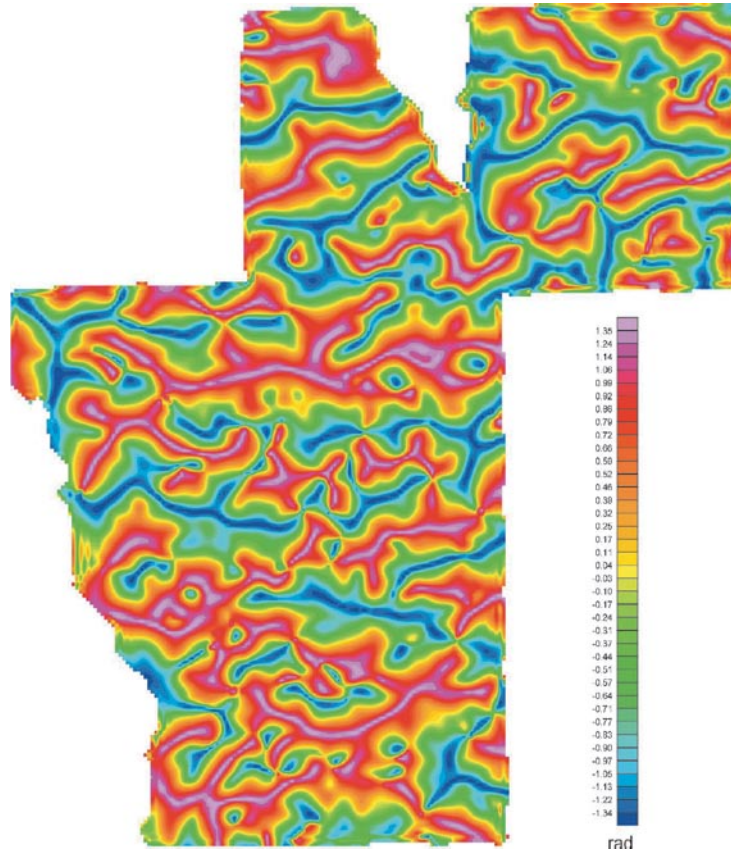


Figura 7.7 - Mapa da fase do sinal analítico de segunda ordem do campo magnético continuado para 5000 metros.

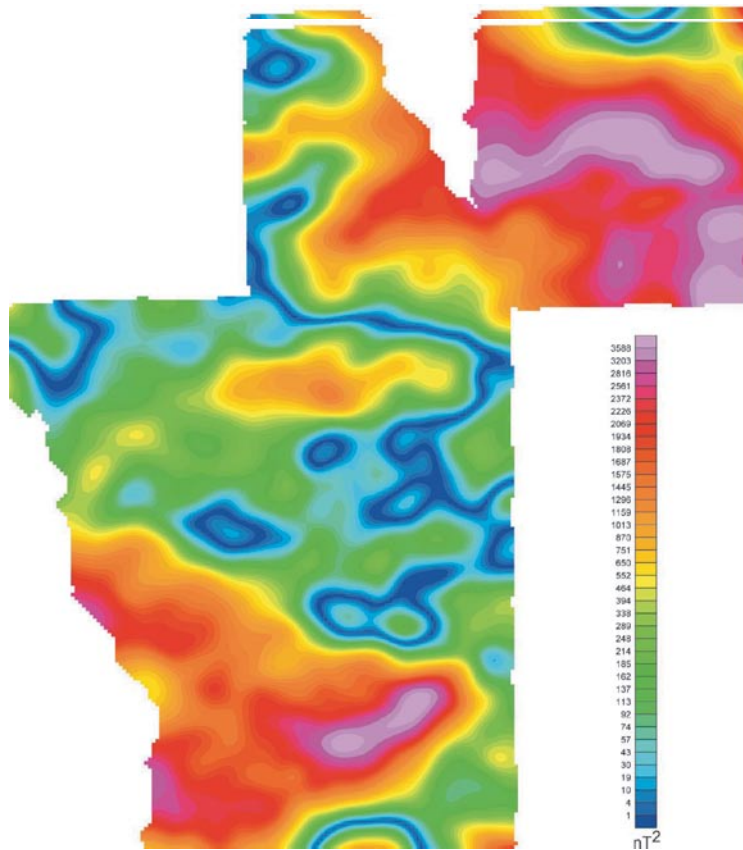


Figura 7.8 - Mapa do quadrado do campo magnético continuado para 5000 metros.

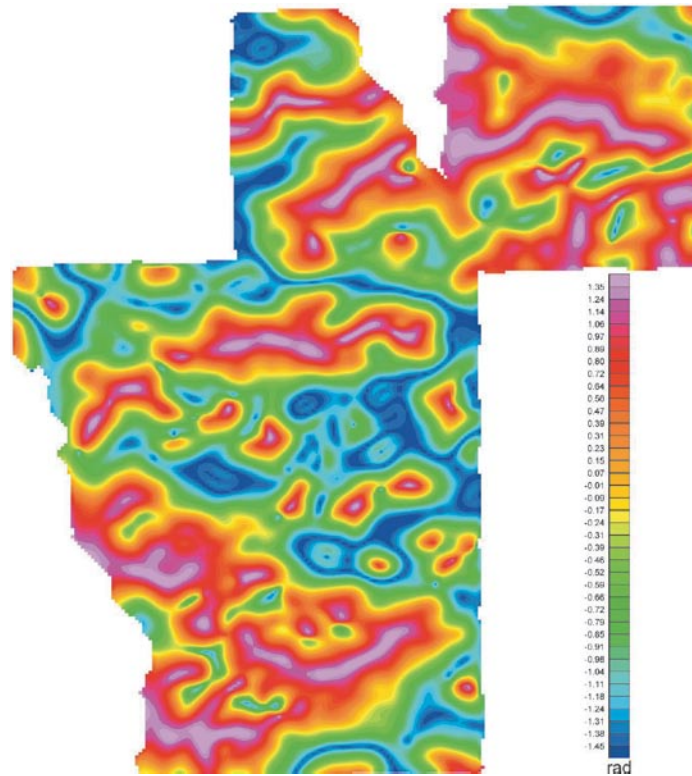


Figura 7.9 - Mapa da fase do sinal analítico de primeira ordem do quadrado do campo magnético continuado para 5000 metros.

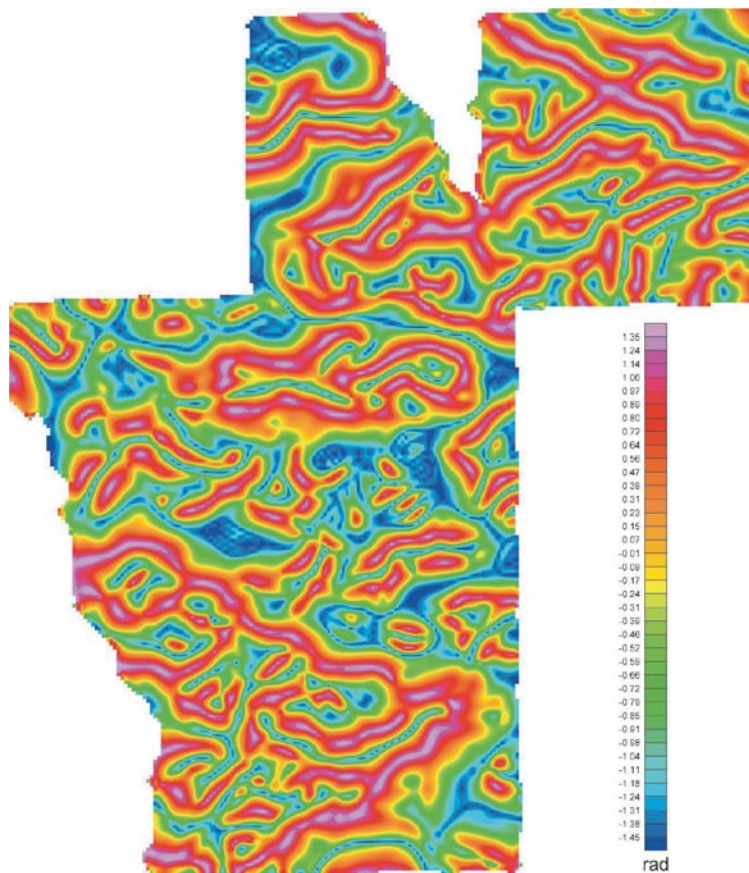


Figura 7.10 - Mapa da fase do sinal analítico de primeira ordem da magnitude do gradiente horizontal total do quadrado do campo magnético continuado para 5000 metros.

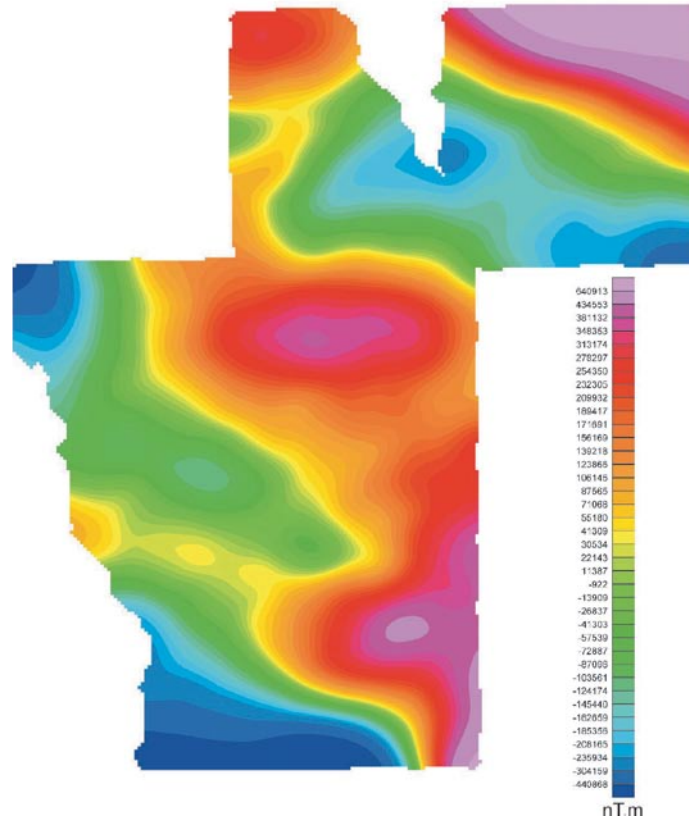


Figura 7.11 – Mapa da integral vertical do campo magnético continuado para 5000 metros.

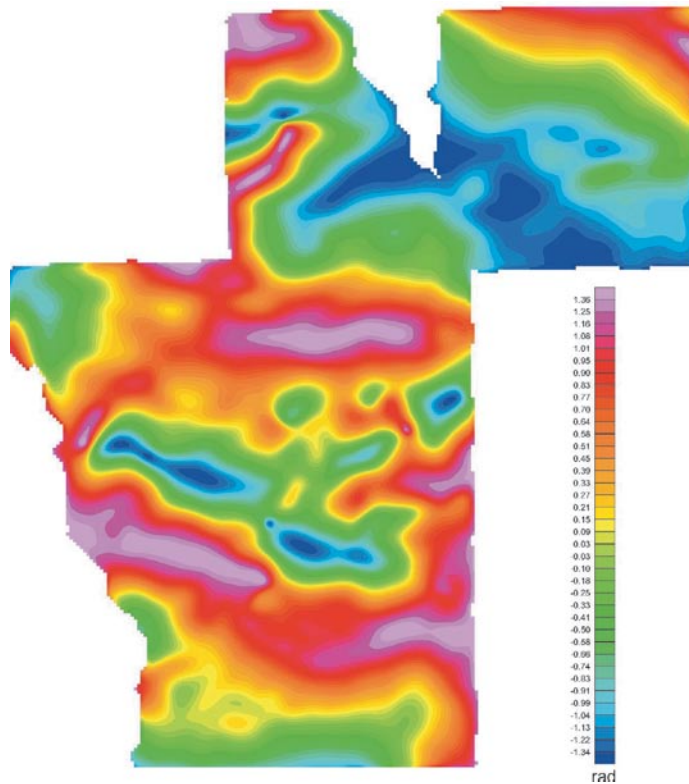


Figura 7.12 - Mapa da fase do sinal analítico de primeira ordem da integral vertical do campo magnético continuado para 5000 metros.

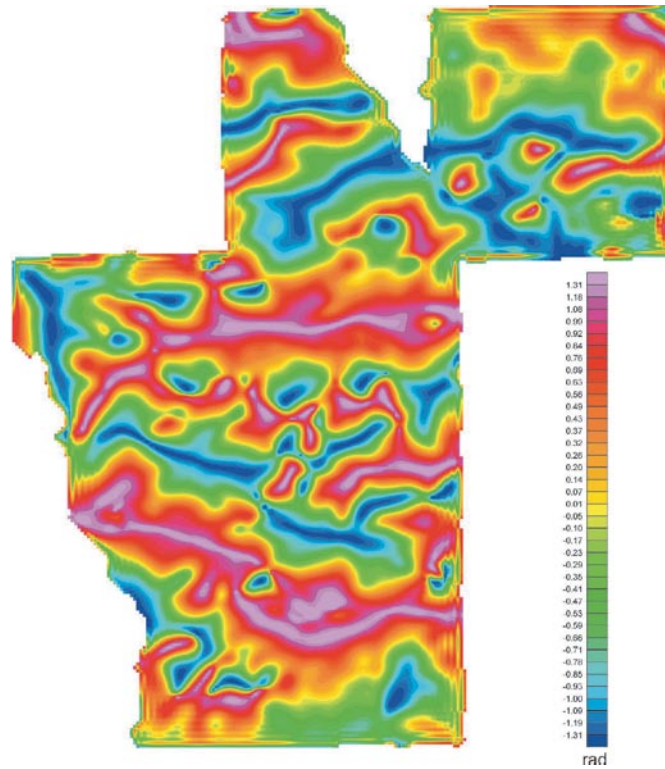


Figura 7.13 - Mapa da fase do sinal analítico de segunda ordem da integral vertical do campo magnético continuado para 5000 metros.

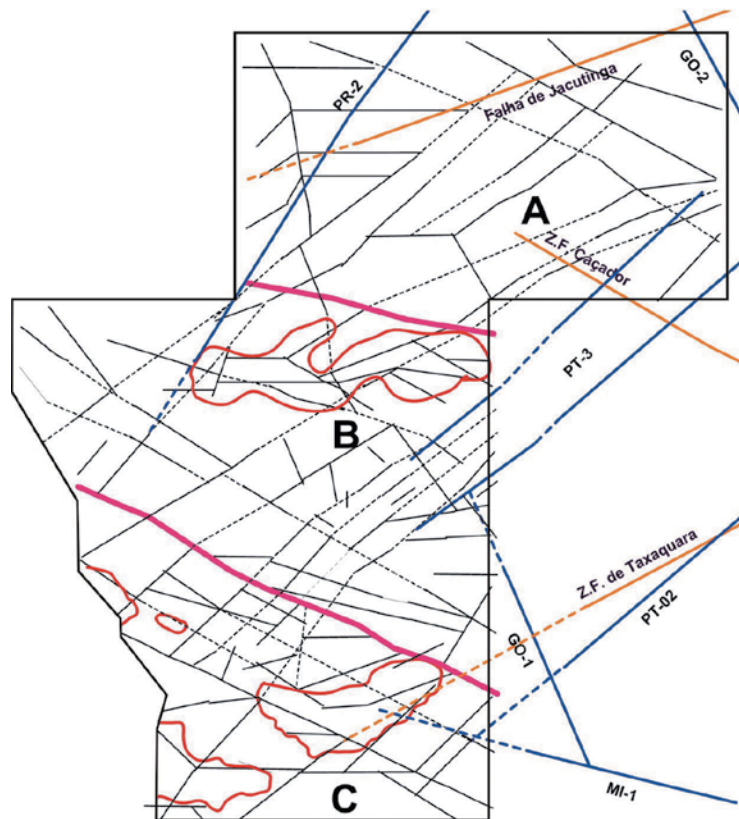


Figura 7.14 - Mapa de interpretação magnética indicando as principais estruturas (definida - linha cheia; inferida - linha tracejada; domínios - A, B, C; principais anomalias - vermelho; estruturas de Soares et al. 1982 - azul; estruturas de Zalán et al. 1990 - laranja).

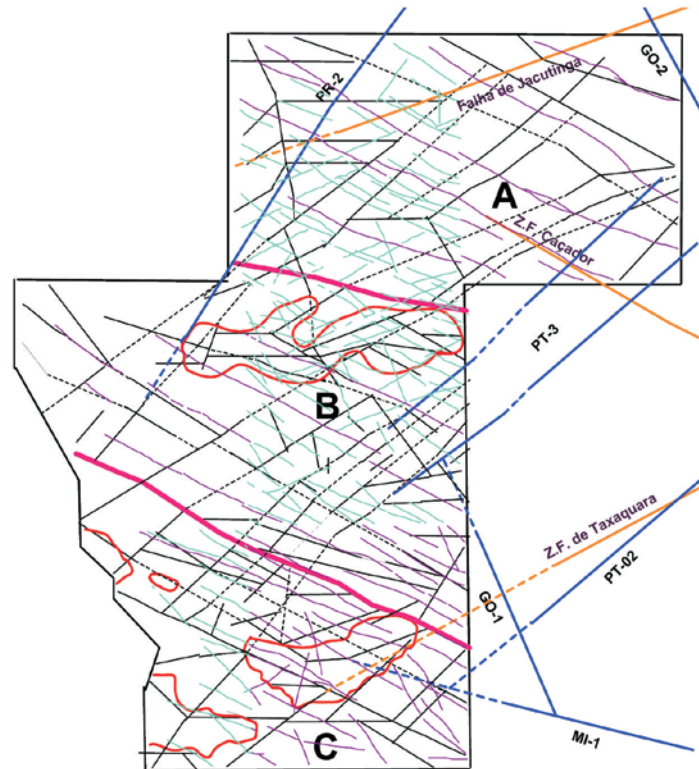


Figura 7.15 - Mapa de interpretação magnética indicando as principais estruturas (definida – linha cheia; inferida – linha tracejada; domínios – A, B, C; principais anomalias – vermelho; estruturas de Soares et al. 1982 – azul; estruturas de Zalán et al. 1990 – laranja; falha extensional – verde; falha indiscriminada – lilás.

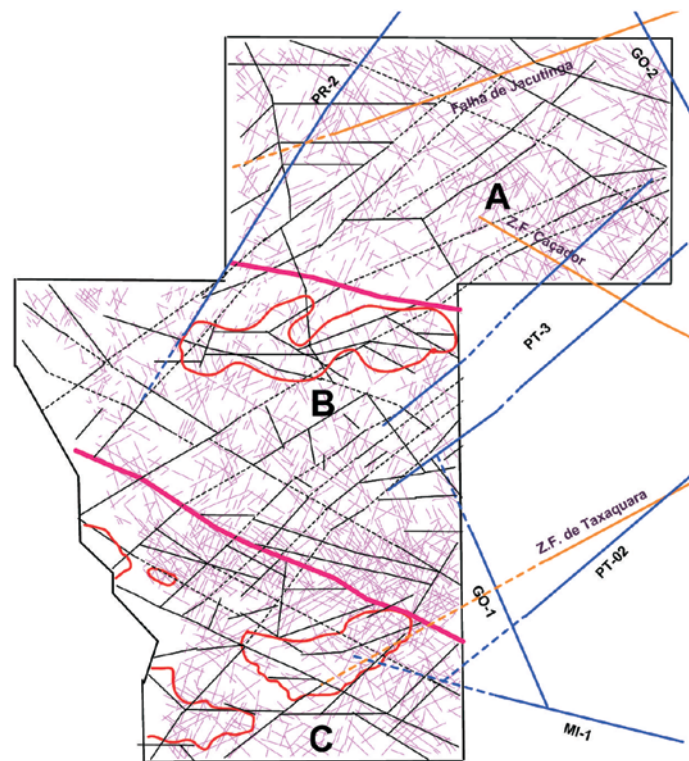


Figura 7.16 - Mapa de interpretação magnética indicando as principais estruturas (definida – linha cheia; inferida – linha tracejada; domínios – A, B, C; principais anomalias – vermelho; estruturas de Soares et al. 1982 – azul; estruturas de Zalán et al. 1990 – laranja; lineamentos – lilás.

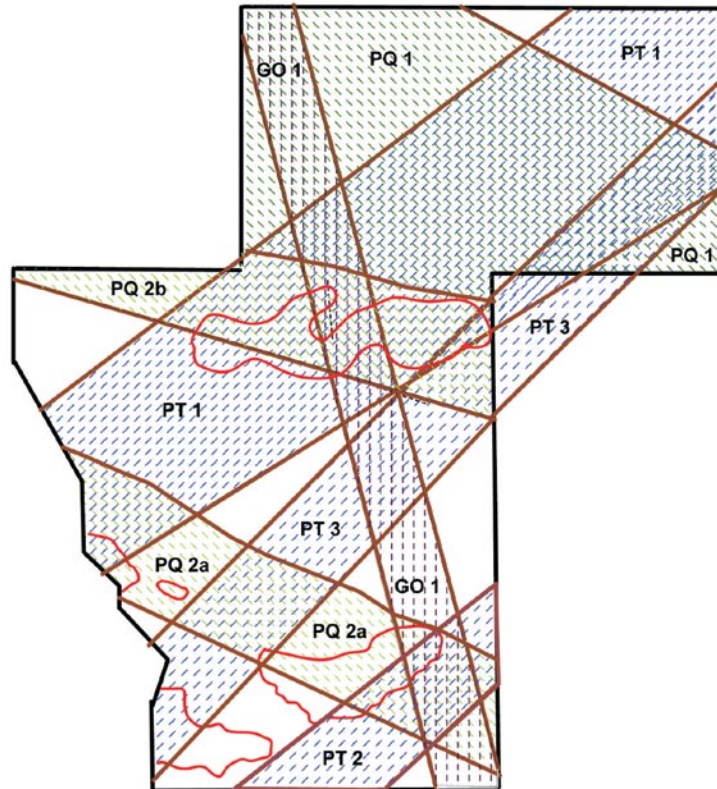


Figura 7.17 - Mapa de interpretação magnética das principais faixas estruturais (marrom), baseadas em Soares et al. (1982), e anomalias magnéticas (A - vermelho): Goioxim (GO 1 - N05-20W) - lilás; Piquiri 1 (PQ 1 - N55-60W) - verde escuro; Piquiri 2 a,b (PQ 2 a,b - N65-70W) - verde claro; Pitanga 1 (PT 1 - N50-60E) e Pitanga 2 e 3 (PT 2,3 - N40-50E)

8 RECURSOS MINERAIS

*Maisa Bastos Abram
Reinaldo Santana Correia de Brito
Vicente Sérgio Costa*

8.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo oferece uma visão geral sobre os principais recursos minerais da da área do Projeto do Sudoeste do Paraná e NW de Santa Catarina, abrangendo as Folhas Catanduvas, Guaraniaçu, Capanema, Rio Cotegipe, Dionísio Cerqueira e Francisco Beltrão, e apresenta um mapa de distribuição dos principais depósitos, ocorrências e garimpos da região. Ao final tece considerações sobre o potencial da área para a ocorrência de depósitos sulfetados de Ni-Cu-EGP.

8.2 RECURSOS MINERAIS

Na área foram cadastrados 93 locais de produção mineral distribuídos em 62 de basalto, 12 de areia, 12 de quartzo, 4 de argila, 2 de saibro e 1 poço de água termal, e 4 ocorrências, sendo 2 de calcedônia, 1 de cobre e 1 de pirita. A figura 8.2.1 mostra a distribuição percentual dos recursos minerais por substância. Durante o cadastramento não foram incluídas as numerosas saibreiras da área. As rochas sedimentares interderrames e os pepertitos da área não têm aproveitamento na região, exceto como material para manutenção de estradas vicinais.

Do total de jazimentos cadastrados, estão em atividade cerca de 40 pedreiras de basalto, com extração e beneficiamento, bem como de outros materiais usados na

construção civil, tais como argila, areia, cascalho e saibro, e um poço de água termal. Nos demais jazimentos a exploração é intermitente ou foi abandonada. Ocorrências de quartzo, calcedônia, pirita e cobre foram ressaltados como importantes durante as etapas de campo e um veio de pirita maciça considerado como de interesse prospectivo para sulfetos de Ni-Cu-EGP na área.

Os jazimentos minerais foram incluídos na base de dados da CPRM (Geobank), a qual contém informações mais detalhadas sobre cada recurso e pode ser consultada pela Internet no endereço <http://geobank.sa.cprm.gov.br>.

Não há dados de reserva, produção e mercado de nenhum dos recursos minerais cadastrados.

8.2.1 DESCRIÇÃO DOS JAZIMENTOS MINERAIS

Dentre os principais recursos minerais da área destacam-se os empregados na construção civil e compreendem basalto, areia, argila, saibro e quartzo. Calcedônia, cobre, pirita, água termal e ouro são apenas ocorrências.

BASALTO

Os derrames de basalto da área têm larga aplicação na construção civil, onde são empregados na forma de chapas, blocos e brita, quer como material de revestimento quer como agregado de concreto. Este bem mineral representa a maior atividade de exploração na área do projeto. Foram cadastradas cerca de 62 locais de extração de basalto para produção de brita

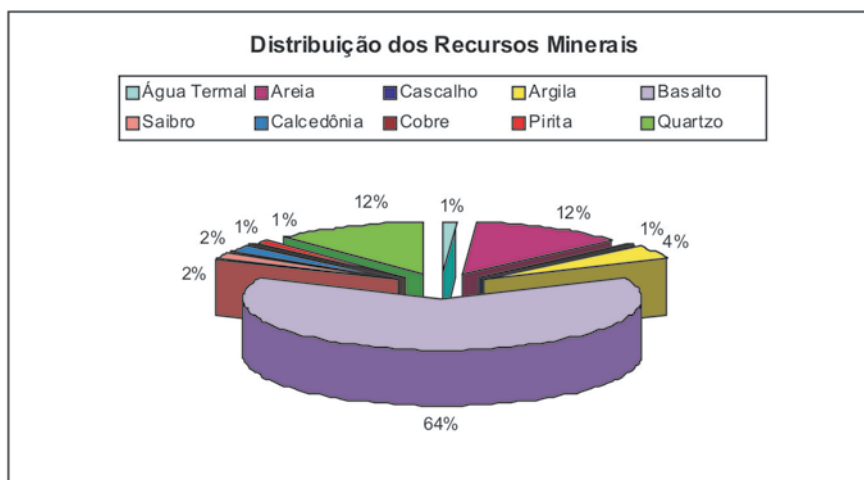


Figura 8.2.1. Distribuição dos recursos minerais por substância no Sudoeste do Paraná.

e pedra de talhe. Ademais, em quase todas as sedes municipais da área há uma atividade exploratória de cascalho de basalto destinada à conservação de estradas secundárias, brita para agregado de cimento e pedra de talhe para pavimentação urbana. Destaque-se que as melhores exposições e espessuras para produção de pedra de talhe e de brita situam-se nas cotas de 400-600m. Dentre as fácies de basalto mapeadas, as da Cordilheira Alta, Campo Erê e Campos Novos são as que apresentam as melhores características de aproveitamento.

Os basaltos da fácies Cordilheira Alta apresentam características físicas que permitem o aproveitamento tanto para brita quanto para blocos irregulares. A disjunção grossa, seu caráter isotrópico e a textura fanerítica favorecem a obtenção de brita de boa qualidade e blocos maciços, centimétricos a decimétricos.

Os basaltos da fácies Campo Erê possuem características físicas semelhantes aos da fácies Cordilheira Alta, exceto pela presença de disjunção mais cerrada e irregular, dada por juntas de espaçamento centimétrico a decimétrico, irregularmente transversais a juntas de espaçamento métrico a decamétrico. Isto resulta em blocos muito irregulares e com faces curvas, o que prejudica o seu aproveitamento como pedra de talhe. Em virtude disto, os basaltos desta fácies são empregados exclusivamente na produção de brita e pedras irregulares, usadas na pavimentação urbana e vicinal.

Os basaltos da fácies Campos Novos se caracterizam pela regularidade e isotropia estrutural, disjunção métrica e de faces excepcionalmente planas. A cor cinza-escuro a negra, homogênea (Foto 8.2.1) contribui para o seu aproveitamento na produção de pedras de talhe de valor unitário mais elevado o que viabiliza o fornecimento a distâncias que alcançam dezenas de quilômetros. Embora esta variedade também seja adequada para a pavimentação irregular, a sua ocorrência mais restrita na área é responsável por uma aplicação mais seletiva e de valor de mercado maior.

AREIA, ARGILA E CASCALHO

Estes bens minerais são geralmente explorados nas várzeas e leitos de rios da região estudada. Foram cadastradas 12 ocorrências de areia que correspondem a portos de areia, onde a extração é feita por meio de dragas flutuantes. São depósitos terciários, originados por deposição fluvial e cujo material extraído é utilizado quase que totalmente na indústria de cimento.

A argila, embora de exploração pouco conhecida na região, ocorre amplamente nas nascentes de pequenos cursos d'água, em geral no leito de antigas lagoas, hoje representados por áreas de banhados.

O cascalho, extraído tanto de derrames intemperizados quanto das aluviões do rio Iguazu, constitui material utilizado na pavimentação e melhoria de estradas.

QUARTZO E CALCEDÔNIA

Imediatamente a leste da área do projeto, na



Foto 8.2.1 - Blocos de basalto para pedra de talhe, em pedra em atividade da Fácies Campos Novos

região de Chopinzinho, há ocorrências de ametista e quartzo hialino em geodos da fácies Nova Laranjeiras em exploração. Na área do projeto, registrou-se a presença de duas ocorrências de quartzo hialino, uma no piso do Sangradouro da Barragem de Salto Osório (afloramento WW-27) e outra junto à ponte do Rio Chopim (afloramento WW-25), em garimpo abandonado. Em geral, estas ocorrências se restringem a quartzo hialino, subordinadamente ametista de baixa qualidade.

COBRE

No município de Realeza, ocorrem alguns bolsões de brechas cimentadas por crisocola e malaquita, com teores de cobre da ordem de 20%. Descobertas em 1968 por Derli Pinheiro de Oliveira, as ocorrências foram estudadas pelo engenheiro Josef Kapuscinski, que fundou a Metalúrgica Universal Ltda., em Ponta Grossa, para extrair o cobre lá existente. Naquele mesmo ano, a empresa extraiu 400 toneladas de minério, com 43% de sulfato e 23% de carbonato. Foram produzidos no total 1.762,5 kg de cobre metálico.

Um estudo desenvolvido por Castro et al. (1983) cobriu uma área de 16 km² e que abrangeu as ocorrências de Realeza. A seqüência investigada envolve quatro derrames, mapeados na escala de 1:10.000, execução de perfis geológicos, sondagem geoeletrica pelo método Schlumberger com emprego de eletro-resistividade e potencial espontâneo, abertura de poços, amostragem de minérios e determinação dos teores de cobre. As brechas analisadas contêm cobre nativo, crisocola, cuprita e azurita com teores de 38% a 98%, em função da composição mineralógica, e perfazendo uma reserva indicada de 75,419 toneladas.

Orcioli et al. (1983) reaperentaram os dados obtidos em Realeza, acrescentando que o formato da brecha é de chaminé em cone invertido, com diâmetro máximo de aproximadamente 50 m na cota 410 m, e mínimo de aproximadamente 25 m na cota 390 m. A espessura de 20 m, de desenvolvimento da brecha,

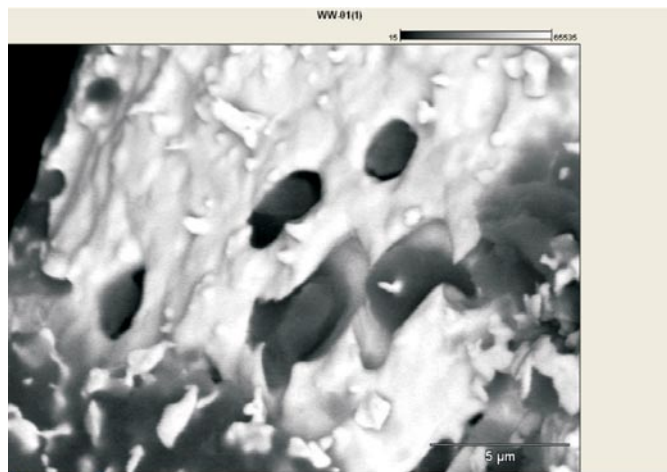


Foto 8.2.2 – Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do fragmento de Au encontrado em concentrado de bateia de amostra de sedimento de corrente coletada na localidade de Jacutinga, oeste de Francisco Beltrão

corresponde à zona amigdalóide do derrame. Os autores concluem que, apesar dos teores elevados de cobre, o corpo não é minério, mas recomendam o seu aproveitamento como rocha ornamental, mediante polimento.

Os autores registram que técnicos norte-americanos estudaram as ocorrências, desinteressando-se pela sua exploração. Da mesma forma, a empresa Sandel, de São Paulo, executou escavações de pesquisa e amostragem, suspendendo os trabalhos aparentemente em função de resultados negativos.

PIRITA

Durante o projeto registrou-se uma ocorrência de pirita maciça em veio de 15 a 35 cm de largura, hospedado em uma falha que corta basaltos junto ao rio Santo Antônio, a sudeste da cidade de Nova Prata do Iguçu.

ÁGUA TERMAL

Água termal ocorre em surgências de água mineral e em furos de sondagem de até 1.000 m de profundidade, como na região de Francisco Beltrão.

OURO

A presença de ouro (Foto 8.2.2) na área foi registrada apenas em uma localidade, em concentrado de bateia de um ponto de coleta de sedimento de corrente situado a oeste de Francisco Beltrão, na localidade de Jacutinga. Desconhece-se, no entanto, a sua proveniência.

8.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE POTENCIAL PARA DEPÓSITOS DE NI-CU-EGP

8.3.1 INTRODUÇÃO

Durante a história evolutiva do Globo Terrestre, a crosta continental tem sido submetida, periodicamen-

te, a rifteamento de grande escala. Em alguns casos, este processo atingiu o estágio de completa ruptura e separação de blocos continentais e desenvolvimento de bacias oceânicas, em contraste com outros, onde o rifteamento foi menos extremo e abortado nos estágios iniciais. Em ambos casos, as fases iniciais de ruptura são caracterizadas pela despressurização do manto, extensiva fusão parcial do mesmo e injeção de volumes consideráveis de magmas máficos, os quais, não raro, também se manifestam por vulcanismo, como no caso da Bacia do Paraná. A interação entre estes magmas e a crosta terrestre pode resultar na formação de depósitos minerais, particularmente da associação de sulfetos de Ni-Cu-EGP.

Dentre as várias províncias de vulcanismo máfico associado a regimes de rifteamento, duas contêm importantes depósitos de Ni-Cu-EGP associados a intrusões relacionadas a derrames de basaltos continentais e que compreendem as mineralizações de 1,1 Ga do Complexo Duluth, Minnesota, nos Estados Unidos e as do Triássico Inferior de Noril'sk-Talnakh, na Sibéria. A estes se soma o depósito sub-econômico do Triássico-Cretáceo do Complexo Insizwa (Waterfall Gorge), Província Ígnea do Karro, na África.

A investigação detalhada da favorabilidade em depósitos de Ni-Cu-EGP do magmatismo máfico regional da Formação Serra Geral deve-se a Mincato (1994), Nakamura *et al.* (2002) e Mincato (2004). Neste capítulo se discute a potencialidade de ocorrências de mineralizações sulfetadas de Ni-Cu-EGP na área do projeto do Sudoeste do Paraná, a partir dos fatores que condicionam mineralizações desta natureza nos depósitos da Sibéria, Estados Unidos e África, da interpretação dos dados geofísicos, geoquímicos e geológicos levantados e/ou reprocessados durante o projeto e de indícios da presença de sulfetos na área.

8.3.2 CONTROLES DE MINERALIZAÇÕES DE NI-CU-EGP EM PROVÍNCIAS DE BASALTOS CONTINENTAIS

Concentrações econômicas de sulfetos magmáticos não são uma conseqüência normal do magmatismo máfico-ultramáfico, exceto as ricas em Elementos do Grupo da Platina. A formação destes depósitos requer fatores adicionais, indispensáveis para a segregação de sulfetos a partir destes magmas. A análise dos depósitos de Ni-Cu associados a basaltos continentais de Noril'sk e Duluth, mostra que o rifteamento intracontinental condicionou a condução dos magmas através da crosta, a sua contaminação com enxofre crustal e conseqüente segregação de sulfetos (Naldrett & Macdonald, 1980). Em vista disto, grandes zonas de rifteamento continentais, particularmente nas que foram acompanhadas de sedimentação sob condições redutoras precedentes ao magmatismo máfico, são regiões importantes do ponto de vista da exploração. A Bacia do Paraná preenche esta condição pelo seu caráter intracratônico e magmatismo da Formação Serra Geral precedido de eventos de sedimentação redutora, como registrado, por exemplo, nos depósitos de carvão da Formação Rio Bonito e nos folhelhos oleígenos da Formação Iratí. A esta condição fundamental, os fatores de formação de depósitos de

Ni-Cu-EGP de Noril'sk e Duluth discutidos por Naldrett (1989), extensivos a Insizwa (Lightfoot *et al.*, 1984), aplicáveis na avaliação da Província do Paraná compreendem metalotectos regionais e locais.

Os metalotectos regionais se caracterizam por (1) fases iniciais de magmatismo, em geral as mais primitivas e, portanto, mais ricas em Ni e EGP; (2) sua associação aos estágios de desenvolvimento de estruturas de rifteamento continental iniciais; (3) regiões da província que evoluíram sob condições de manto termicamente anômalo e que correspondem à posições de plumas mantélicas; (4) produção de grande diversidade de litotipos vulcânicos e (5) regiões de reativação de falhas do embasamento cristalino antigo. Por outro lado, os metalotectos locais compreendem a presença de (1) magmatismo tholeiítico de baixo Ti; (2) de intrusões diferenciadas; (4) de magmas empobrecidos em elementos calcófilos (Ni, Cu e EGP) devido à segregação de sulfetos e (5) de magmas contaminados com elementos da crosta e conseqüente enriquecimento em elementos litófilos incompatíveis.

Com a aplicação dos metalotectos regionais à província do Paraná, Mincato (1994, 2004) conclui que a borda leste da mesma contém o contexto mais favorável para a ocorrência de possíveis mineralizações de Ni-Cu-EGP, pois esteve mais diretamente vinculado à evolução primordial do Rift Sul-Atlântico. A aplicação de metalotectos locais levou o autor a sugerir que a potencialidade relativa decresce de sul para norte e a definir que o Complexo Básico de Lomba Grande, próximo à cidade de Gravataí no Rio Grande do Sul, domínio dos basaltos de baixo Ti, como um alvo a merecer investigação detalhada.

8.3.3 A REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E MINERALIZAÇÕES DE NI-CU-EGP

Os dados de mapeamento, combinados com a interpretação de imagens Landsat e Radar mostram que a região do vale do Rio Iguazu, orientada segundo NW-SE, foi palco de densa injeção de diques máficos e que Soares *et al.* (1992) atribuem à reativação de estruturas do embasamento. O alinhamento do Rio Iguazu, por seu turno, coincide com o limite entre dois domínios magnéticos contrastantes, marcados como A e B na figura. 6.5. A intensa atividade intrusiva na região deste lineamento não apenas sugere possíveis condutos alimentadores de derrames basálticas quanto também a possibilidade da presença de corpos máfico-ultramáficos maiores, ocultos, e com possibilidade de hospedar mineralizações sulfetadas.

Entretanto, o contexto geológico da região do projeto e sua influência sobre a existência de corpos máfico-ultramáficos mineralizados em Ni-Cu-EGP não é dos mais favoráveis. As intrusivas máficas mapeadas, nas quais se esperariam corpos mineralizados, compreendem diques e soleiras de textura microfanerítica e ofítica, isentos de textura cumulática e diferenciação magmática. A despeito da semelhança de ambiente geotectônico com as províncias de Noril'sk, Duluth e Insizwa, o conjunto de características geológicas, litoló-

gicas, geofísicas e geoquímicas da região estudada não favorece o investimento imediato em exploração mineral para mineralizações sulfetadas de Ni-Cu-EGP.

INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GEOQUÍMICOS DE SEDIMENTO DE CORRENTE E CONCENTRADOS DE BATEIA

Com vistas a averiguar a potencialidade para mineralizações de Ni-Cu-Pt, considerou-se apenas a distribuição destes elementos na área mapeada (Figs. 8.3.1 a 8.3.3), a partir dos dados de geoquímica de amostras de sedimentos ativos de drenagem. As concentrações destes elementos são, em geral, muito baixas, com teores máximos de 73 ppm de Ni, 718 ppm de Cu e 23 ppb de Pt, o que, em parte, resulta em mapas geoquímicos de pouca definição prospectiva frente a escala de mapeamento. A análise comparada das figuras 8.3.1, 8.3.2 e 8.3.3 registra que há pouca coincidência de anomalias de Ni e Cu, mas certa coincidência entre Ni e Pt. As áreas mais anômalas em Ni e Pt se concentram no interior do vale do Rio Iguazu, com continuidade em um rosário de anomalias para nordeste, ao passo que as de Cu se concentram nas proximidades e sobre o divisor de águas de sul. Isto sugere que as anomalias de Ni e Cu respondem às características composicionais das fácies mapeadas. Assim, o Ni ocorre em teores maiores na área de exposição das fácies Nova Lanranjeiras, Capanema, Campos Novos e Cordilheira Alta, ao passo que o Cu é mais anômalo na área da Fácies Campo Erê, onde ocorre na forma nativa, mas em parte se projeta para o interior da área de ocorrência das fácies Campos Novos e Cordilheira Alta, talvez como halos anômalos produzidos pela dissolução de cobre nativo da Fácies Campo Erê e sua dispersão.

Chama, no entanto, a atenção a ocorrência de anomalias coincidentes, mais pontuais, de Ni e Cu no interior do vale do Rio Iguazu, alinhadas segundo NW-SE na porção norte do vale, interior da zona de enxame de diques máficos. Teores anômalos de Pt são, em parte, coincidentes com os de Ni e Cu neste setor.

A superfície dos escores fatoriais de Cr, Fe, Ni e Pt (Fig. 8.3.4) obtida por estatística multivariada mostra que os valores mais elevados coincidem com o vale do Rio Iguazu e se projetam para nordeste, a exemplo do comportamento do Ni e da Pt.

A análise mineralógica qualitativa dos concentrados de bateia não revela resultados animadores sobre resíduos de EGP e possíveis corpos mineralizados aflorantes. Entretanto, amostras de dois pontos (CB-B-41 e CB-B-67) continham calcopirita, das quais a CB-B-41 foi coletada próximo de uma anomalia magnética, abaixo detalhada. Adicionalmente, na mesma área ocorre um veio de pirita maciça (ver Tabela 8.3.1), com cerca de 35 cm de largura (Fotos 8.3.1A e B), hospedado por falha que desloca a anomalia magnética mencionada.

RESULTADOS DE INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS

A reinterpretação de dados aerogeofísicos permitiu separar domínios magnéticos, delimitar algumas anomalias e caracterizar faixas estruturadas. Como mostra o mapa magnético continuado para 5000 m da figura 7.5,

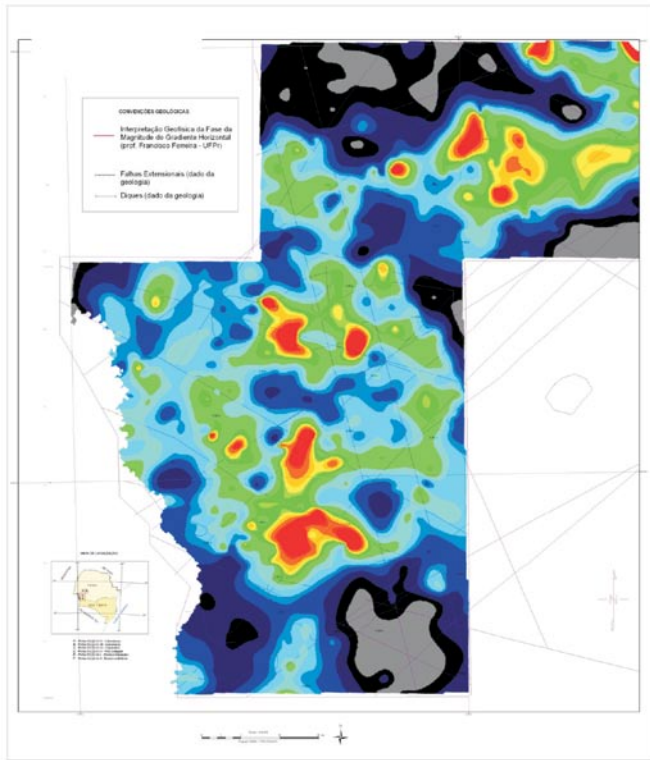


Figura 8.3.1 - Mapa geoquímico de distribuição espacial do Ni.

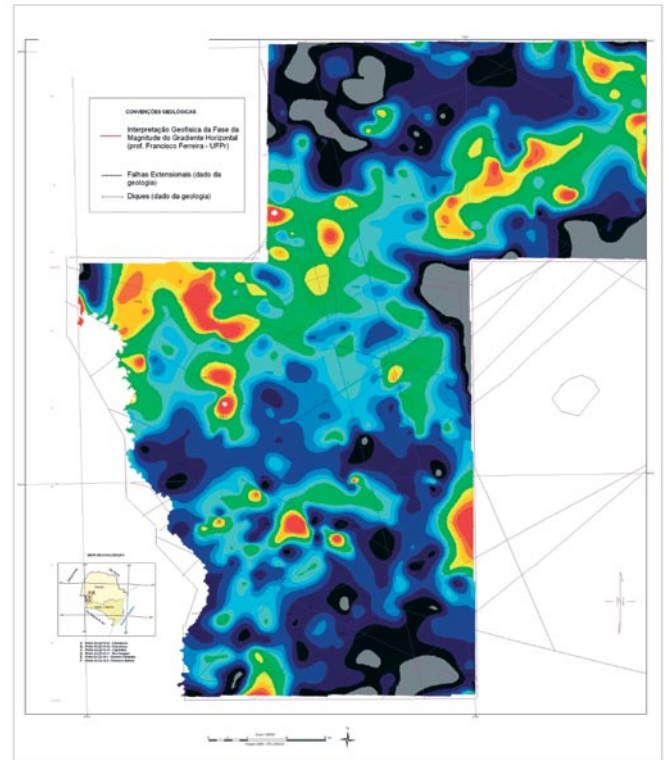


Figura 8.3.3 - Mapa geoquímico de distribuição espacial da Pt.

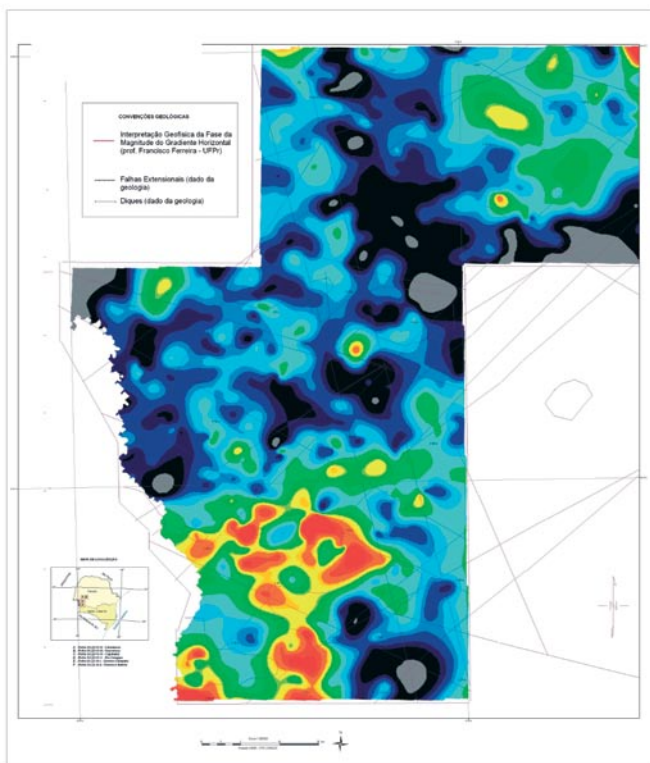


Figura 8.3.2 - Mapa geoquímico de distribuição espacial do Cu.

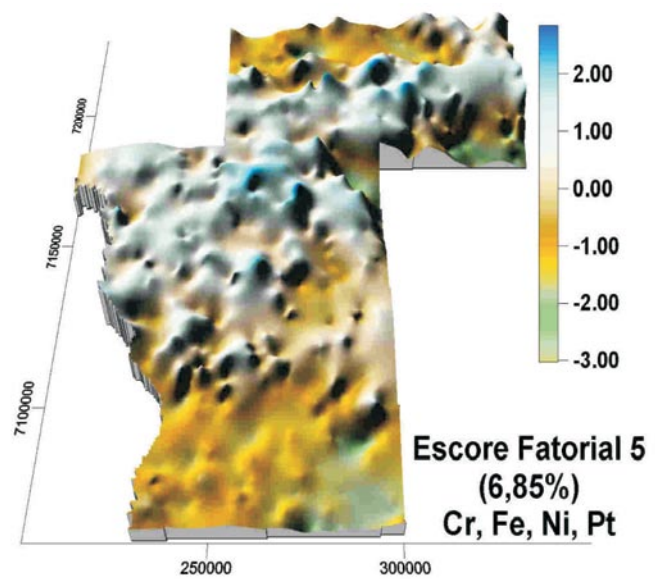


Figura 8.3.4 - Superfície dos escores fatoriais de geoquímica de sedimentos fluviais ativos. Valores de escore fatorial (em azul) mais elevados para a área magnética anômala do Domínio B.



Foto 8.3.1 – A - Veio de sulfeto maciço (seta) da região de Nova Prata do Iguaçu. B - Detalhe do sulfeto maciço.

Tabela 8.3.1 – Resultado analítico por ICP-MS de amostra do veio de pirita maciça.

| Elemento | Unidade | Valor |
|----------|---------|--------|
| S | % | 49,3 |
| Fe | % | 43,5 |
| Ag | ppm | 2 |
| As | ppm | 87 |
| Au | ppm | <0.001 |
| Bi | ppm | <20 |
| Cd | ppm | <10 |
| Co | ppm | 20 |
| Cu | ppm | 60 |
| Mo | ppm | 80 |
| Ni | ppm | 90 |
| Pb | ppm | 100 |
| Pd | ppm | 0,007 |
| Pt | ppm | 0,011 |
| Sb | ppm | <50 |
| Zn | ppm | 100 |

a área do projeto pode ser subdividida em três domínios. O domínio A é caracterizado por amplitudes magnéticas freqüentemente baixas, ao passo que o domínio B por amplitudes geralmente intermediárias e o domínio C pelo predomínio de anomalias de elevadas amplitudes. Os limites entre os domínios A e B e entre B e C têm direção NW-SE e são paralelos ao alinhamento do Rio Iguaçu, o que sugere que podem ser atribuídos também a lineamentos controladores dos diques NW-SE.

No mapa de fase do sinal analítico de primeira ordem da magnitude do gradiente horizontal total do quadrado do campo magnético (Fig. 8.3.5) se reconhece que nos domínios A e C predominam anomalias razoa-

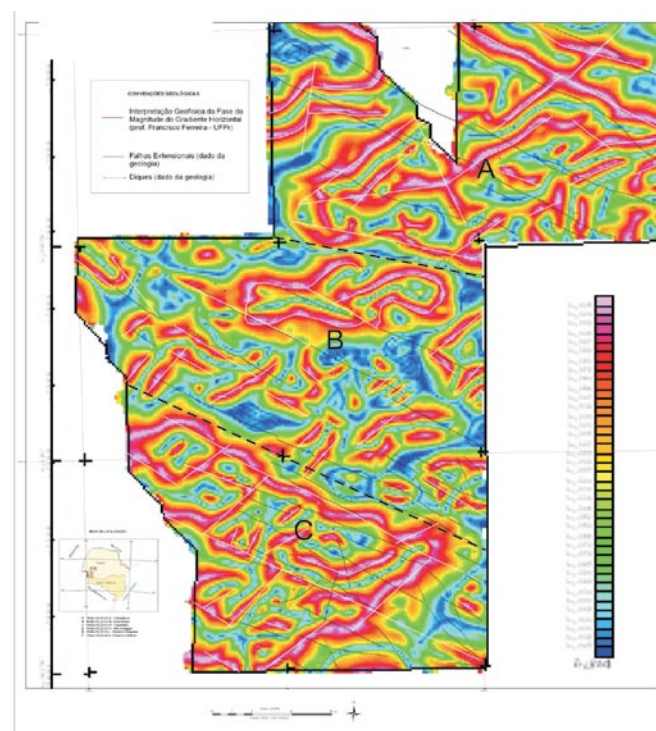


Figura 8.3.5 - Mapa Magnético da fase do sinal analítico de primeira ordem da magnitude do gradiente horizontal total do quadrado do campo magnético.

velmente lineares dispostas segundo NW-SE e SW-NE, e que podem ser atribuídas às principais direções de lineamentos regionais da Bacia do Paraná nesta área (Fig. 8.3.6). Isto indica que, nestes domínios, a orientação das anomalias têm forte controle estrutural.

Em contraste, o padrão magnético do domínio B é caracterizado por anomalias que, apenas localmente, se orientam segundo NW-SE e NE-SW, mas as principais aparentam padrão elíptico. Dados de campo mostram que este domínio coincide com uma faixa com alta densidade de injeções de diques máficos e, portanto, caracterizada por

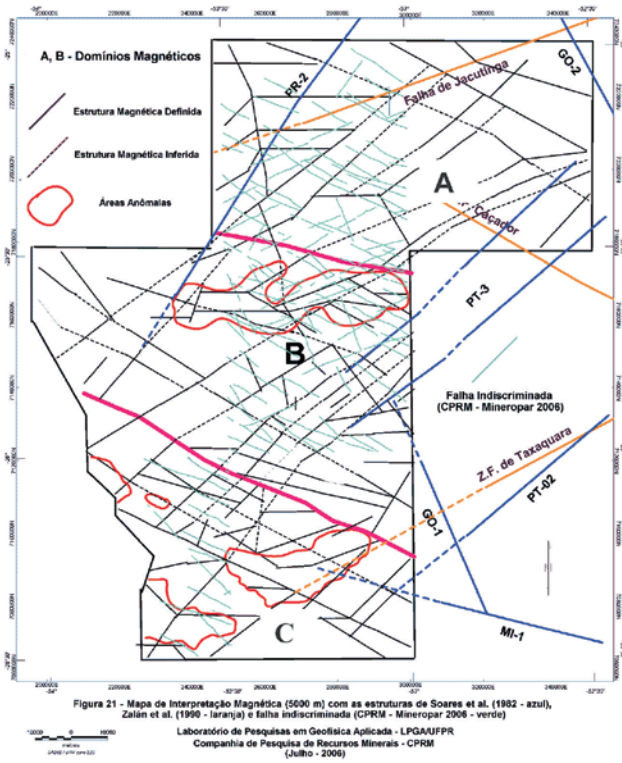


Figura 8.3.6 – Disposição dos principais lineamentos da área mapeada, com base em Soares et al. (1982), em azul, Zalán et al. (1990), em laranja, dados de campo, falha estensional, em verde, e interpretação geofísica (estrutura definida = linha cheia, em preto; estrutura inferida = linha tracejada, em preto; domínios magnéticos = A, B e C; principais anomalias em vermelho).

denso fraturamento crustal. Apesar da orientação preferencial dos diques segundo NW-SE, a resposta magnética não corresponde à orientação dos diques, apenas localmente e anomalias NE-SW são subordinadas. Neste domínio, no entanto, chamam a atenção, em particular, as anomalias de configuração elíptica, a maior orientada segundo EW e as menores segundo NW-SE e NE-SW. A ausência de correlação entre a densidade e orientação dos diques e as anomalias magnéticas nesta faixa sugere que estas podem ser devidas a intrusões maiores não aflorantes.

Dentre estas, uma anomalia em particular, aqui denominada de anomalia Nova Prata-Boa Esperança do Iguçu, foi detalhada com o emprego de mapa da fase do sinal analítico de primeira ordem de magnitude do gradiente horizontal total (Fig. 8.3.7), para melhor conhecer seus limites e sua geometria. A anomalia tem cerca de 50 km de comprimento e 17 km de largura e está deslocada por falha transversal NW-SE a qual, por dados de campo, é uma falha normal, com alto mergulho para NE e de bloco leste abatido e oeste soerguido. Por outro lado, a anomalia se aproxima do, e se alinha ao curso do Rio Iguçu e, portanto, emerge no eixo da depressão elaborada por aquele curso d'água. Considerando as características litológicas da Formação Serra Geral e a atividade tectônica distensiva responsável pela densa injeção de diques máficos neste domínio, a geometria da anomalia sugere a existência de um corpo ultramáfico em profundidade. A sistemática presença desta anomalia nos vários mapas magnéticos das figuras 7.5 a 7.13 indica que a mesma possui raiz profunda. É interessante mencionar que a ordem de grandeza da anomalia é compatível com a dimensão dos corpos diferenciados da região de Noril'sk, injetados ao longo ou adjacentes à falha Noril'sk-Kharaelakh, de caráter profundo (Naldrett e Macdonald, 1980).

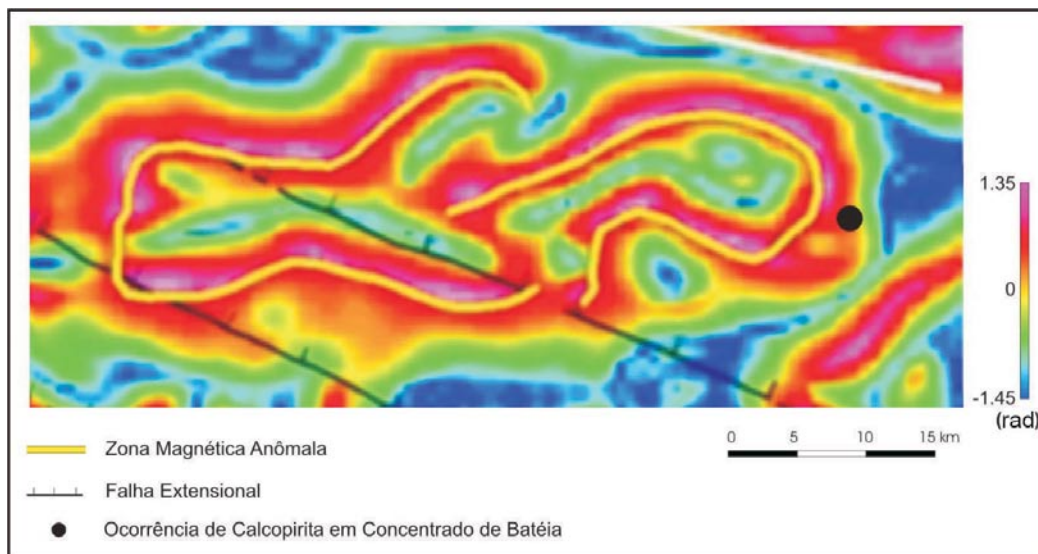


Figura 8.3.7 - Detalhe da zona anômala no mapa da fase do sinal analítico de primeira ordem da magnitude do gradiente horizontal total do quadrado do campo magnético, com a localização do ponto que revelou a presença de calcopirita em concentrado de bateia.

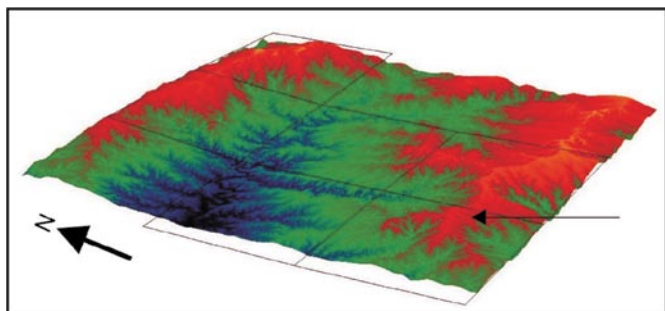


Figura 8.3.8 – Modelo Digital do Terreno em 3D, mostrando a distribuição das bacias de drenagem. A seta indica a região com zonas magnéticas anômalas do Domínio C.

Por outro lado, se compararmos os mapas magnéticos com os de geoquímica de sedimentos de corrente (Figs. 8.3.1 a 8.3.3) se constata a coincidência, no domínio B, das anomalias geofísicas mencionadas com as anomalias pontuais de Ni e Cu e, em parte, também de Pt. As maiores concentrações de Ni e Cu se situam ao longo da estrutura que aparentemente desloca a anomalia magnética elíptica maior, detalhada na figura 8.3.7. Isto sugere que as anomalias geoquímicas podem resultar de possível transferência destes elementos ao longo da falha (*leakage*), a partir do provável corpo profundo para a superfície.

No domínio A, as anomalias geoquímicas de Ni e Pt se sobrepõem a anomalias magnéticas lineares NE-SW. A anomalia mais extensa de Cu coincide com anomalia magnética NW-SE e a anomalia pontual, mais a sul, está deslocada da resposta magnética. Por outro lado, no domínio C, os teores mais elevados de Ni, Cu e Pt não possuem correspondência com respostas magnéticas.

Considerando a provável dispersão devido ao modelado da topografia, à mobilidade dos elementos e à distribuição das bacias hidrográficas (Figs. 8.3.8 e 8.3.9), observa-se que o Ni, o Cu e a Pt apresentam médias mais elevadas nas bacias hidrográficas adjacentes às zonas magnéticas anômalas.

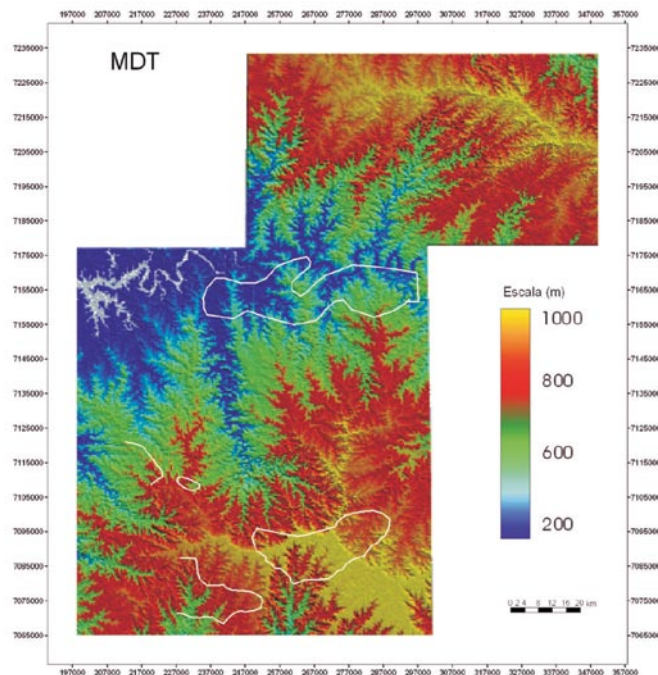


Figura 8.3.9 – Imagem SRTM da área do projeto, extraída do Mosaico do Modelo Digital de Elevação da América do Sul elaborado pelos profs. Carlos Roberto de Souza Filho e Álvaro P. Crosta, com as áreas magnéticas anômalas destacadas por contorno em branco.

8.4 MODELAGEM EM SIG COM A LÓGICA FUZZY

Com vistas a aprimorar a verificação da possibilidade das concentrações geoquímicas máximas de Ni, Cu, Pt, Pd, Co, Cr, Ti e V nas amostras de sedimento de corrente serem devidas a anomalias de vazamento ao longo de falhas extensionais, aplicou-se método de modelagem em SIG com a lógica fuzzy. O método é uma extensão da lógica Booleana a qual considera os valores como “verdadeiro” e “falso”, enquanto a lógica

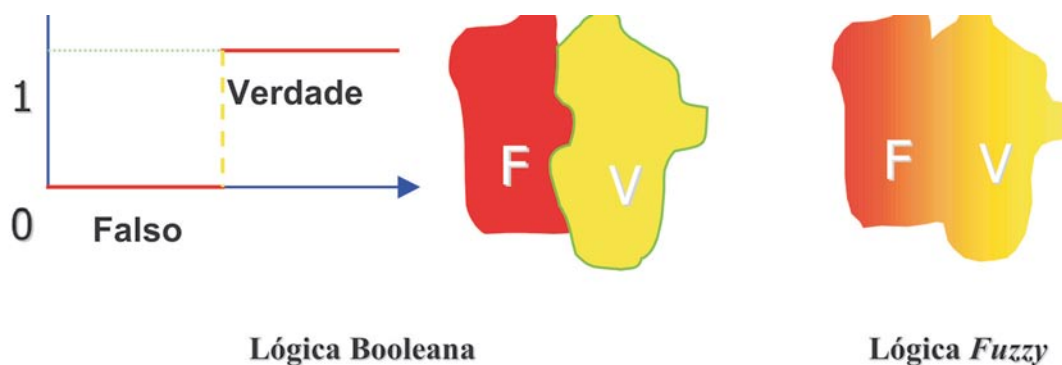


Figura 8.4.1. – Comparação entre graus de verdade das lógicas Booleana e Fuzzy. Fonte: Silva (1999) modificada por Guimarães et al. (2005).

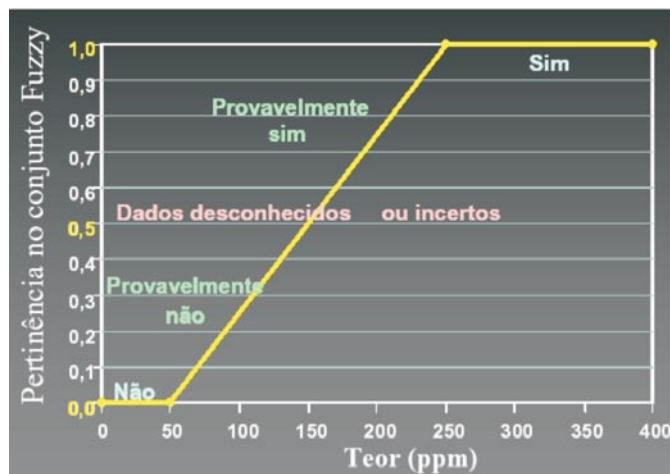


Figura 8.4.2 – Exemplo de função de pertinência fuzzy, em relação a um dado de teor. Fonte: Bonham-Carter (1994), modificado por Franca-Rocha (2001).

fuzzy entende os valores como entre “completamente verdadeiro” e “completamente falso” (Fig. 8.4.1). Para o melhor entendimento teórico, adotamos a descrição da lógica fuzzy como descrita por Silva (1999). Segundo o autor, os valores que pertencem estritamente a uma classe assumem pertinência igual a um (1). Na medida em que os membros se afastam do valor central, a pertinência tende a zero, como exemplificado na figura 8.4.2.

Assim, o emprego da lógica fuzzy para indicar áreas potenciais para os elementos selecionados, é realizado a partir da interação de temas de evidência (litoestratigrafia, controle estrutural, dados geofísicos, etc.). Para cada tema, gerado a partir de fatores geológicos, geoquímicos e geofísicos diversos que favorecem a hipótese, realiza-se a fuzzyficação, a qual consiste em atribuir a cada item do tema pesos que variam entre 0 e 1, conforme a maior ou menor possibilidade de correspondência com o modelo. Os temas de evidência são então combinados entre si por meio de diversos operadores matemáticos fuzzy, como OR, AND, SUM, PRODUCT e GAMMA. Os operadores podem se comportar de tal forma que permitem potencializar o peso para as áreas, a exemplo de OR e SUM. Outros operadores, tais como AND e PRODUCT, podem restringir os valores de peso. O operador GAMMA atua como fator de ponderação. O produto final dessas combinações são os Mapas de Favorabilidade.

O primeiro passo neste trabalho foi realizar a fuzzyficação dos temas segundo a sua importância no modelo de mineralização do tipo Noril’sk, como mostra a Tabela 8.4.1. O processo consistiu em atribuir pesos a algumas das propriedades do modelo. A seguir foram feitas combinações entre os temas, mediante o ordenamento lógico das características do depósito e emprego de operadores fuzzy, como ilustrado na figura 8.4.3, e de acordo com os seguintes passos:

1. Geração de um tema resultante do agrupamento das zonas de concentrações máximas de Ni, Cu, EGP,

Tabela 8.4.1 - Fuzzyficação dos temas de evidência da região do Sudoeste do Paraná tendo por modelo o depósitos de Ni-Cu-EGP do tipo Noril’sk.

| Tema | Membro Fuzzy |
|--|--------------|
| Geoquímica de Sedimentos de Corrente – Ni | |
| Concentração em Ni inferior a 59,3 ppm. | 0,1 |
| Concentração em Ni superior a 59,3 ppm. | 0,9 |
| Geoquímica de Sedimentos de Corrente – Cu, Pt, Pd, Co | |
| Concentrações em Cu, Pt, Pd, Co inferiores a 455,62 ppm, 20 ppb, 32 ppb, 105,5 ppm, respectivamente. | 0,1 |
| Concentrações em Cu, Pt, Pd, Co superiores a 455,62 ppm, 20 ppb, 32 ppb, 105,5 ppm, respectivamente. | 0,8 |
| Geoquímica de Sedimentos de Corrente – Cr, Ti, V | |
| Concentrações em Cr, Ti, V inferiores a 174,7 ppm, 0,704%, 776 ppm, respectivamente. | 0,1 |
| Concentrações em Cr, Ti, V superiores a 174,7 ppm, 0,704%, 776 ppm, respectivamente. | 0,7 |
| Estruturas Definidas em Trabalhos de Campo | |
| Fora da Zona de Influência das estruturas extensionais | 0,2 |
| Dentro da Zona de Influência das estruturas extensionais. | 0,9 |
| Zonas de Influência de Estruturas Interpretadas por Aeromagnetometria | |
| Fora da Zona de Influência das estruturas. | 0,2 |
| Dentro da Zona de Influência das estruturas. | 0,9 |

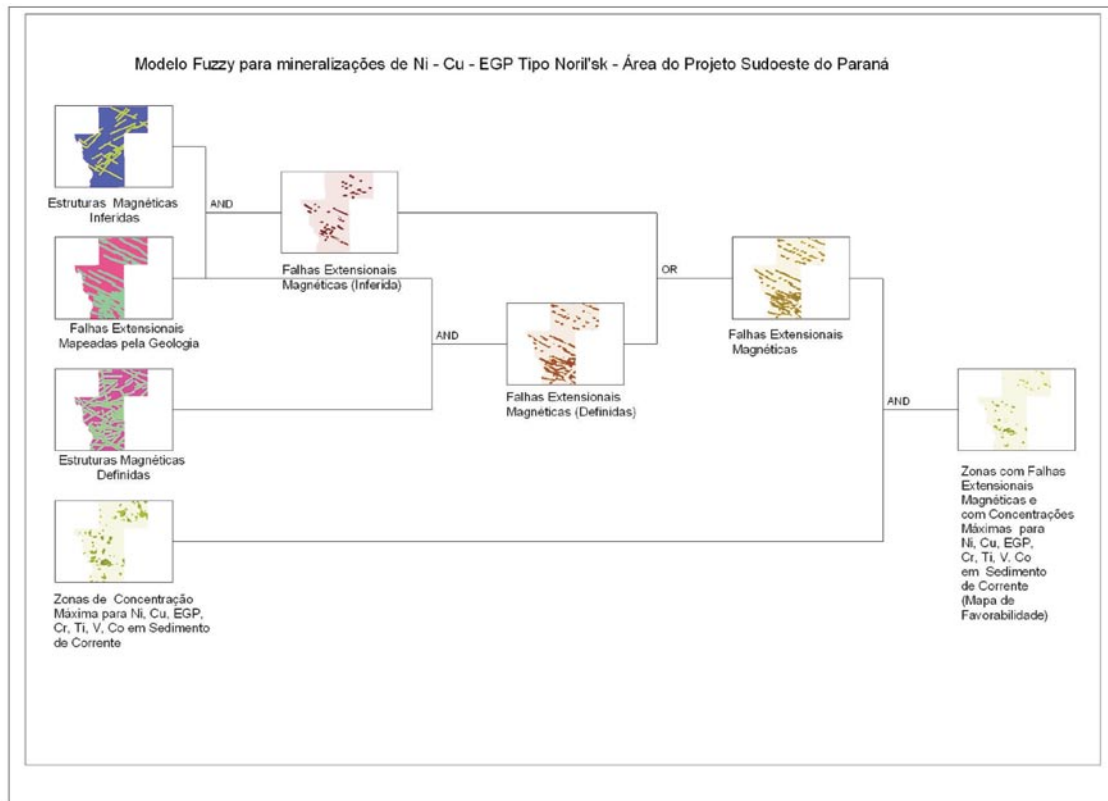


Figura 8.4.3 – Modelo fuzzy para mineralizações de Ni-Cu-EGP do tipo Noril'sk aplicado à região do Projeto do Sudoeste do Paraná.

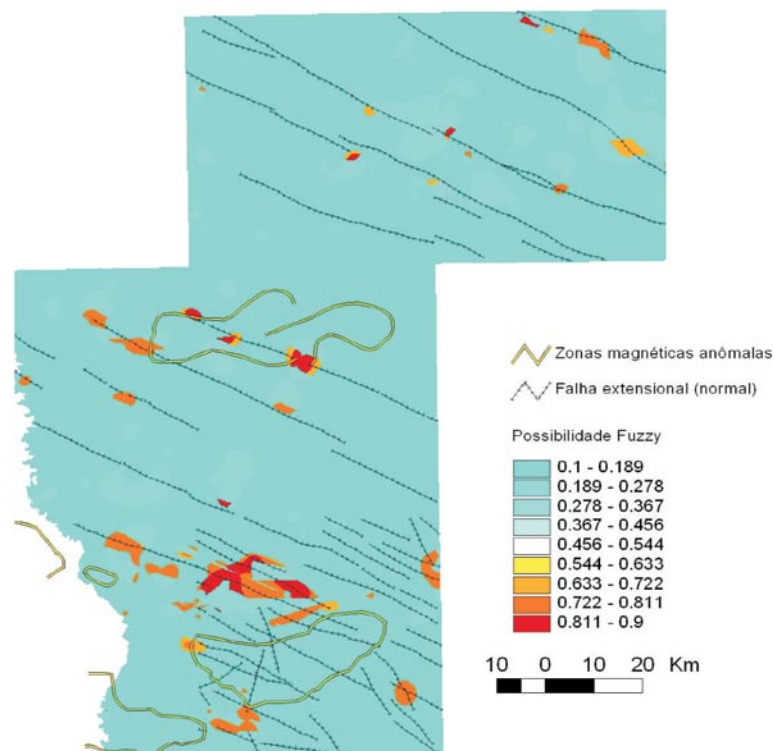


Figura 8.4.4 - Resultado da modelagem fuzzy para a combinação das estruturas magnéticas, estruturas extensionais definidas pela geologia e os dados de concentrações máximas para Cu, Ni, Co, EGP, Cr, Ti, V em sedimentos de corrente. Mostra a favorabilidade para mineralizações sulfetadas na área em vermelho.

Cr, Co, Ti e V em amostras de sedimento de corrente, mediante o operador OR;

2. Combinação das estruturas extensionais com as estruturas magnéticas e destaque das estruturas mais importantes no modelo geológico, com emprego do operador AND;

3. Obtenção de um tema final pela combinação do resultado dos dados geoquímicos com os estruturais, mediante um operador AND.

O mapa de favorabilidade resultante (Fig. 8.4.4) ressalta as áreas importantes para investigação futura de mineralização sulfetada, possivelmente relacionadas a corpos máfico-ultramáficos ocultos, associados a zonas de falhas extensionais. Os mapas ressaltam a importância das estruturas, particularmente a anomalia magnética do domínio B e as situadas ao longo do limite entre os domínios B e C.

8.5 MAPA DE RECURSOS E POTENCIAL MINERAL

O mapa mostra a distribuição espacial dos registros cadastrais do potencial mineral da área do projeto sobre a base geológica e evidencia os resultados mais importantes do reprocessamento dos dados geofísicos e da prospecção geoquímica, ressaltando a potenciali-

dade da área para a produção de pedra de talhe e brita a partir dos basaltos e para a prospecção de sulfetos de Cu, Ni e EGP. Nele estão representadas as concentrações máximas de elementos de interesse prospectivo para sulfetos em corpos máfico-ultramáficos, registradas em sedimentos de corrente, confrontadas com zonas magnéticas anômalas importantes na área.

8.6 CONCLUSÕES

Considerando a inexistência de indícios mais consistentes da possível presença de corpos máfico-ultramáficos mineralizados, os dados de geoquímica de superfície e geofísicos sugerem a necessidade de trabalhos futuros para detalhamento das anomalias apontadas. Estes devem incluir mapeamento geológico em escala da ordem de 1:50.000 a 1:25.000, levantamentos magnetométricos e gravimétricos terrestres de malha densa, adensamento da amostragem de sedimentos de corrente, tanto para confirmar a efetiva presença e geometria das anomalias geoquímicas e geofísicas e modelar a profundidade dos possíveis corpos. Áreas prioritárias para a realização destes trabalhos são indicadas com os resultados alcançados pelo escore da modelagem Fuzzy.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. Grupo São Bento. **Boletim IGG**, v. 42, p. 85-100, 1964.
- ALMEIDA, J.; WOLFRAM, T.; HEILBRON, M.; VALENTE, S.; MOTOKI, A.; RUBIM, I., DUTRA, T. Magmatismo toleítico neocomiano no Cabo de Búzios e Cabo Frio: registros da tectônica de quebra do Gondwana e da evolução da margem continental sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Roteiro de Excursão**. Rio de Janeiro: SGB. Núcleo RJ/ES, 2005. 21 p.
- ALONSO, M.T.A. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil**: região sul. Rio de Janeiro, 1977. v. 5, p. 81-109.
- ATTALLA, L.T.; CIVETTA, L.; INNOCENTI, F.; MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S.; SOUSA, M.A. de. 1982. Geochemistry of Paraná plateau basalts (Southern Brazil). Abstracts: Generation of major basalt types, **IAVCEI-IAGC Scientific Assembly**, August 15-22, No. 62, Reykjavik, Iceland.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M. Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 25, p. 579-618, 1984b.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A. J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. Continental flood basalts from the central-western regions of the Paraná plateau (Paraguay and Argentina): petrology and petrogenetic aspects, **Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlung** 154, 111-139, 1986.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A. J.R.; ROISENBERG, A. High- and low-Ti flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlung**, Stuttgart, v. 150, p. 272-306, 1984a.
- BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ottawa, Pergamon, 1994. 398 p. (Computer Methods in Geosciences, 13).
- BUDKEWITSCH, P.; ROBIN, P.Y. Modelling the evolution of columnar joints. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 219-239, Jan. 1994.
- CASHMAN, K.V.; STURTEVANT, B.; PAPALE, P.; NAVON, O. Magmatic fragmentation. In: SIGURDSSON, H. (Ed). **Encyclopedia of Volcanoes**. San Diego: Academic Press, 2000. p. 13-52.
- CASTRO, D.D. de; GUIMARÃES, M.A.G. e GOLDBACH, M. Investigações geológicas em Realeza, PR. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, **Relatório de Estágio**, 1983.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; VELÁZQUEZ, V.F.; GOMES, C.B. **Plumes beneath the Paraná Basin, eastern Paraguay: fact or fiction?** Disponível em: <<http://www.mantleplumes.org/Parana.html>>. Acesso em: 26 out. 2006.
- CORDELL L., GRAUCH V.J.S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: HINZE W.J. (Ed.), **The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps**. Society of Exploration Geophysicists, p. 181-197, 1985.
- DEBEGLIA, N.; CORPEL, J. Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. **Geophysics** 62, 87-96, 1997.
- DEBEGLIA, N.; MARTELET, G.; PERRIN, J.; TRUFFERT, C.; LEDRU, P.; TOURLIÈRE, B. Semi-automated structural analysis of high resolution magnetic and gamma-ray spectrometry airborne surveys. **Journal of Applied Geophysics**, Amsterdam, v 58, n. 1, p. 13-28. 2005.
- DEBEGLIA, N.; MARTELET, G.; PERRIN, J.; TRUFFERT, C.; LEDRU, P.; TOURLIÈRE, B. Semi-automated structural analysis of high resolution magnetic and gamma-ray spectrometry airborne surveys. **Journal of Applied Geophysics** 58, 13-28, 2006.
- DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES L.S.; BERTRAND, H. New time constraints on dyke swarms related to the Paraná-Etendeka magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1-2, p. 67-83, Jan. 1998.
- ERLANK, A.J.; DUNCAN, A.R.; MARSH, J.S.; SWEENEY, R.S.; HAWKESWORTH, C.J.; MILNER, S.C.; MILLER, R.; ROGERS, N.W. A laterally extensive geochemical discontinuity in the sub-continental Gondwana lithosphere. In: CONFERENCE ON GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST, 1988, Poços de Caldas, Brazil. **Abstracts volume**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1988. p. 1-9.
- ERNESTO, M.; HIODO, F.Y.; PACCA, I. G. Paleomagnetic study of a sequence of basaltic flows of the Serra Geral Formation I Santa Catarina. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 51, p. 327-332, 1979.

- ERNESTO, M.; PACCA, I.G. Palaeomagnetism of the Paraná basin flood volcanics, southern Brazil. In: PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. (Ed.). **The Mesozoic flood volcanism of the Parana Basin**: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/USP, 1988. p. 229-255.
- EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. Rare earth abundance in chondritic meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v. 42, n. 8, p. 1199 - 1212. Aug. 1978.
- EVJEN H.M. The place of the vertical gradient in gravitational interpretations. **Geophysics**, 1, 127-136, 1936.
- FEDI, M.; FLORIO, G. Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method. **Geophysical Prospecting**, Oxford, v. 49, p. 40-58, 2001.
- FERREIRA, F.J.F. 2006. **Métodos de realce de fontes magnéticas aplicados à cartografia geológica-estrutural** (em elaboração).
- FERREIRA, F.J.F. Alinhamentos estruturais-magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. In: **Geologia da Bacia do Paraná: reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos**. São Paulo: IPT, p. 143-166, 1982b.
- FERREIRA, F.J.F. **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa**. 1982. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982a.
- FERREIRA, J.F.F.; DAITX, E.C.; MORAES, M.C. Nova manifestação do magmatismo mesozóico associada ao arco de Ponta Grossa: o complexo gabróide Barra do Estrela. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. p. 1693-1704.
- FODOR, R.V.; CORWIN, C.; ROISENBERG, A. Petrology of Serra Geral (Paraná) Continental flood Basalts Southern Brazil: crustal contamination, source material and South Atlantic magmatism. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, Berlin, v. 91, p. 54-65, 1985b.
- FODOR, R.V.; CORWIN, C.; SIAL, A.N. Crustal signatures in the Serra Geral flood basalt province, southern Brazil: O- and Sr-isotope evidence. **Geology**, Boulder, v. 13, n. 11, p. 763-765, Nov. 1985a.
- FRANCA-ROCHA, W.J.S. **Modelagem Metalogenética na Bacia de Irecê (Ba) através de Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 350 pgs., 2001.
- FREITAS, M.A.; CAYE, B.R.; MACHADO, J.L.F. (ORG.). **Projeto Oeste de Santa Catarina - PROESC: Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do Oeste do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: CPRM, 2002. 1 Cd-Rom. (Convênio CPRM; Governo do Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Secretaria de Estado do Desenvolvimento e Extensão Rural e Agricultura; EPAGRI.)
- FÚLFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.; VIANNA, R.B. Compartimentação e evolução tectônica da bacia do Paraná. In: **Geologia da Bacia do Paraná: reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos**. São Paulo: IPT, 1982. p. 75-115.
- GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C.J. Mantle plumes, continental magmatism and asymmetry in the South Atlantic. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v.123, n. 1-3, p.105-117, 1994.
- GALVÃO, M.V. Regiões bioclimáticas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 3-36, 1967.
- GARLAND F.; TURNER, S.; HAWKESWORTH, C. Shifts in the source of the Paraná basalts through time. **Lithos**, Amsterdam, v. 37, n. 2-3, p. 223-243, 1996.
- GOMES, M.E.B. **Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná - região de Frederico Westphalen (RS - Brasil)**. 1996. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- GUIMARÃES, D. A província magmática do Brasil meridional. Rio de Janeiro, **Boletim do Serviço Geológico Mineiro Brasileiro**, 64, pgs. 1-70, 1933.
- GUIMARÃES, J.T., MARTINS, A.A.M., ANDRADE FILHO, E.L., LOUREIRO, H.S.C.V., ARCANJO, J.B. A., NEVES, J.P., ABRAM, M.B., SILVA, M.G., BENTO, R.V. **Projeto Ibitiara-Rio de Contas: Estado da Bahia**. Salvador, CPRM, 2005.
- HANSON, R.E.; WILSON, T.J. Large-scale rhyolite peperites (Jurassic, southern Chile). **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Amsterdam, v. 54, n.3-4, p. 247-264, Jan. 1993.
- HAWKESWORTH, C.; GALLAGHER, L.A.; KIRSTEN, M. S. M.; MANTOVANI, D.W.; PEATE, O.; TURNER, S.P. Tectonic controls on magmatism associated with continental break-up: an example from the Paraná-Etendeka province. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v.179, n. 2, p. 335-349, Jun. 2000.
- HAWKESWORTH, C.; GALLAGHER, L.A.; KIRSTEN, M.S.M.; MANTOVANI, D.W.; PEATE, O.; TURNER, S.P. Tectonic controls on magmatism associated with continental break-up: an example from the Paraná-Etendeka province. **Earth and Planetary Science Letters**, v.179, p. 335-349, 1992.
- HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M.S.M.; PEATE, D.W. Lithosphere remobilisation during Parana CFB Magmatism. **Journal of Petrology, Special Lithosphere Issue**, p. 205-223, 1988.
- HINTZE, J.L. **Number Cruncher Statistical System**. Kaysville, Utah: [s.n.], 2004.
- HON, K.; KAUAHIKUA, J.; DENLINGER, R.; MACKAY, K. Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows:

- observations and measurements of active lava flows on Kilauea volcano, Hawaii. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v.106, n. 3, p. 351-370, Mar. 1994.
- HOOPER, P. R. The Columbia River flood basalt province: current status. In: MAHONEY, J. J.; COFFIN, M. F. (Ed.). **Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood basalt volcanism**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1997. p. 1-27. (Geophysical Monograph Series, v. 100).
- HOWARTH, R. J.; SINDING-LARSEN, R. Multivariate analysis. In: HOWARTH, R.J. (Ed.). **Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting**. Amsterdam: Elsevier, 1983. Cap. 6, p. 207-289. (Handbook of Exploration Geochemistry, v. 2).
- HSU, S.; COPPENS, D.; SHYU, C. Depth to magnetic source using the generalized analytic signal. **Geophysics**, Tulsa, v. 63, p. 1947-1957, 1998.
- HSU, S.; SIBUET, J.C.; SHYU, C. High-resolution detection of geologic boundaries from potential field anomalies: an enhanced analytic signal technique. **Geophysics**, Tulsa, v. 61, p. 373-386, 1996.
- JAGLA, E. A.; ROJO, A.G. Sequential fragmentation: the origin of columnar quasi-hexagonal patterns. **Physical Review E, Statistical**, Melville, N.Y., v. 65, n. 2, p. 026203.1- 026203.7, Feb. 2002.
- JERRAM, D.; MOUNTNEY, N.; HOLZFORSTER, F.; STOLLHOFEN, H. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia : understanding the onset of flood volcanism. **Journal of Geodynamics**, Amsterdam, v. 28, n. 4-5, p. 393-418, 1999.
- JERRAM, D.A.; STOLLHOFEN, H. Lava-sediment interaction in the desert setting; are all peperite like textures the result of magma-water interaction? **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, Amsterdam, v. 114, n. 1-2, p. 231-249, May 2002.
- JERRAM, D.A.; WIDDOWSON, M. The anatomy of continental flood basalt provinces: geological constraints on the processes and products of flood volcanism. **Lithos**, Amsterdam, v. 79, n. 3-4, p. 385-405, Feb. 2005.
- KINGSTON, D.R.; DISHROON, C.P.; WILLIAMS, P.A. Global basin classification system. **AAPG Bulletin**, v. 67; n. 12, p. 2175-2193, Dec. 1983.
- KLEMME, H.D. Petroleum basins: classifications and characteristics. **Journal of Petroleum Geology**, Beaconsfield, U.K., v.3, n. 2, p. 187-207, Oct. 1980.
- LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STREICKEISEN, A.; ZANETTIN, B.A. chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 745-750, Jun. 1986.
- LE MAITRE, R.W. The chemical variability of some common igneous rocks. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 589-598, Nov. 1976.
- LICHT, O.A.B. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental**: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil. Curitiba, 236p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001b.
- LICHT, O.A.B. **Atlas geoquímico do Estado do Paraná**. Curitiba, MINEROPAR, 2001a.
- LICHT, O.A.B.; ARIOLI, E.E. **Programa de Desenvolvimento da Indústria Mineral Paranaense: Projeto de Prospecção Mineral no Terceiro Planalto**: relatório interno. Curitiba: MINEROPAR, 2000.
- LIGHTFOOT, P.C., NALDRETT, A.J., AND HAWKESWORTH, C.J. The geology and geochemistry of the Waterfall Gorge section of the Insizwa complex with particular reference to the origin of nickel sulfide deposits. **Economic Geology**, 79:1857-1879, 1984
- LUCHETTI, A.C.F.; MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; SQUIZATO, E.; OLIVEIRA, M.A.F. de. Litogeoestratigrafia e litogeoquímica das rochas vulcânicas ácidas associadas ao vulcanismo Serra Geral. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3, 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...** Cabo Frio, RJ: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. v.1. p., 277-282.
- LUDWIG K.R. Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center **Special Publication** 4:71. 2000.
- MANTOVANI, M.S.M.; CORDANI, U.G.; ROISENBERG, A. Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná e implicações genéticas associadas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 1, p. 61-65, 1985a.
- MANTOVANI, M.S.M.; FREITAS, S.R.C.; SHUKOWSKY, W. Tidal gravity anomalies as a tool to measure rheological properties of the continental lithosphere: application to the South America Plate. **Journal of South America Earth Sciences**, Amsterdam, n. 1, v.14, p. 1-14, Apr. 2001.
- MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S.; SOUSA, M.A.; CIVETTA, L.; ATALLA, L.T.; INNOCENTI, F. Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State (Southern Brazil). **Journal of Petrology**, v. 26, n. 1, p. 187-209, 1985b.
- MANTOVANI, M.S.M.; PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J. Geochemical stratigraphy of the Paraná continental flood basalts: a contribution from borehole samples. In: PICCIRILLO E. M.; MELFI, A. J. (Ed.). **Mesozoic flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil)**: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/ USP, p.15-24, 1988.
- MANTOVANI, M.S.M.; STEWART, K.; TURNER, S.; HAWKESWORTH, C.J. Duration of Parana magmatism and implications for the evolution and source regions of continental flood basalts. **ANAI DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS**, Brasil, v. 67, n. 2, p.

163-169, 1995.

MARIMON, M.P.C.; AYALA, L.; MOREIRA, M.L.O. Formação Serra Geral no Sul do Brasil, rochas básicas e ácidas: sua distribuição, petrografia e litoquímica. XXXII Congr. Bras. Geol., Salvador. **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia. 1982.

MARQUES, A., ZANOTTO, O.A., FRANÇA, A.B., ASTOLFI, M.A.M. & PAULA, O.B. **Compartimentação tectônica da Bacia do Paraná**. Curitiba: PETROBRAS/NEXPAR, 87p. 1993 (relatório interno).

MARQUES, A.; ZANOTTO, O.A.; FRANÇA, A.B. ; ASTOLFI, M.A.M. ; PAULA, O.B. **Compartimentação tectônica da bacia do Paraná**. Curitiba: PETROBRAS/NEXPAR, 1993. 87p.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R. Geological and magmatic aspects of the Parana basin: an introduction. In: PICCIRILLO E. M.; MELFI, A. J. (Ed.). **The Mesozoic flood volcanism of the Parana basin (Brazil):** petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/ USP, 1988. p.1-14.

MILANI, E.J. ; FRANÇA, A.B. ; SCHNEIDER, R.L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1995.

MILANI, E.J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: VIRGINIO MANTESSO NETO; ANDREA BARTORELLI; CELSO DAL RÉ CARNEIRO; BENJAMIM BLEY DE BRITO NEVES. (Org.). **GEOLOGIA DO CONTINENTE SUL-AMERICANO: EVOLUÇÃO DA OBRA DE FERNANDO FLÁVIO MARQUES DE ALMEIDA**. São Paulo: Beca Editora, 2004, v. , p. 265-279.

MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 255p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E.J.; RAMOS, V.A.. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v.28, n. 4, p.473-484, dez. 1998.

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

MILLER, H.G., SINGH, V. Semiquantitative techniques for the identification and removal of directional trends in potential field data. **Journal of Applied Geophysics** 32, 199-211, 1994a.

MILNER, S.C., DUNCAN, A.R.; WHITTINGHAM, A.M.; EWART, A. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic units within the Paraná-Etendeka igneous province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 69, n. 3-4, p.137-157, 1995.

MINCATO, R.L. **Avaliação do potencial da província ígnea continental do Paraná para mineralizações de Ni-Cu-EGP, a partir dos modelos Noril'sk e Insi-**

zwa. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 124 pg., 1994

MINCATO, R.L. **Metalogenia dos Elementos do Grupo da Platina com base na estratigrafia e geoquímica da província ígnea continental do Paraná**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 172 pg., 2004

MOREIRA, A.A.N.; LIMA, G.R. Relevô. In: IBGE. **Geografia do Brasil:** região Sul. Rio de Janeiro, n. 5, p.1-34, 1977.

MORGAN, W.J. Convection plumes in the lower mantle. **Nature**, v.230, p.41-43, Mar. 1971.

MORGENTAL, A., KIRCHNER, C.A. Síntese do mapa provisional do distrito de fluorita de Santa Catarina. In: SBG, Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1, Porto Alegre, **Atas**, 294-306, 1983

MORRISSEY, M.M.; ZIMANOWSKI, B.; WOHLLETZ, K.; BUETTNER, R. Phreatomagmatic fragmentation. In: SIGURDSSON, H. (Ed.). **Encyclopedia of Volcanoes**. San Diego, Academic, 2000. 1417 p. Part IV.

NABIGHIAN, M.N. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. **Geophysics**, Tulsa, v.39, p.85-92, 1974.

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

NABIGHIAN, M.N. Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. **Geophysics**, Tulsa, v.49, p.780-786. 1984.

NAKAMURA, K., SHIBUYA, A., MASUTA, K., MURAKAMI, T., WILDNER, W., DIAS, A.A., KIRCHNER, C.A.; LESSA, N. **Mineral exploration in the Paraná Basin area, the Federal Republic of Brazil, phase I**. Rio de Janeiro, Metal Mining Agency of Japan – MMAJ; CPRM - Geological Survey of Brazil, 2002.

NAKAMURA, K., SHIBUYA, A., MASUTA, K., MURAKAMI, T., WILDNER, W.; ROMANINI, S. **Mineral exploration of the Cu-Ni PGE deposits in the Paraná basin Southern Brazil:** phase II. Japan Mining Engineering Center for International Cooperation – JMEC; CPRM - Geological Survey of Brazil, 2003.

NALDRETT, A . K. **Magmatic sulphide deposits**. NEW York, Oxford University Press, 1989.

NALDRETT, A.K., MACDONALD, A.J. Tectonic settings of Ni-Cu sulphide ores: their importance in genesis and exploration. In: D.W. Strangway (Ed.). The continental crusty and its mineral deposits. **Geological Association of Canada, Special Paper** 20, pp. 633-657, 1980

NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. Litoestratigrafia da Formação Serra Geral. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos**. Rio de Janeiro, SBG, 2001. p. 77.

- NIMER, E. Clima. In: IBGE. **Geografia do Brasil: região Sudeste**. Rio de Janeiro, v.3, p. 51-89, 1977.
- O'CONNOR, J.M.; DUNCAN, R.A. Evolution of the Walvis Ridge and Rio Grande rise hotspot system – implications for African and South America plate motions over plumes. **Journal of Geophysical Research**, Richmond, V. A., v.95, n. B11, p.17475-17502, 1990.
- ORCIOLI, P.R.A.; GUIMARÃES, M.A.G.; CASTRO, D.D. de e GOLDBACH, M. Mineralizações cupríferas em brechas vulcanoclásticas no município de Realeza, PR. In: SBG-Núcleo São Paulo, SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo, **Atas...** p. 367-377, 1983.
- PACCA, I.G.; HIODO, F.Y. Paleomagnetic analysis of Mesozoic Serra Geral basaltic lava flows in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.48, p. 207-214, 1976.
- PEATE, D.W. **The Paraná - Etendeka province**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1997. p. 217-245. (Geophysical Monograph, 100).
- PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J. Lithospheric to asthenospheric transition in Low-Ti flood basalts from southern Paraná, Brazil, **Chemical Geology**, v. 127, p. 1-24, 1996.
- PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M.. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, Berlin, v. 55, n.1-2, p.119-139, Dec. 1992.
- PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M.; ROGERS, N.W.; TURNER, S.P. Petrogenesis and stratigraphy of the High-Ti/Y Urubici magma type in the Paraná flood basalt province and implications for the nature of 'Dupal'-type mantle in the South Atlantic region. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 451-473, Apr. 1999.
- PEDREIRA, A.J.; LOPES, R. DA C.; VASCONCELOS, A.M.; BAHIA, R.B.C. Bacias sedimentares paleozóicas e mesoceno-zóicas interiores. In: BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, Carlos; VIDOTTI, Roberta Mary; GONÇALVES, João Henrique (Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. 692 p.
- PETRINI, R.; CIVETTA, L.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J. Mantle heterogeneity and crustal contamination in the genesis of low-Ti continental flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): Sr-Nd isotopes and geochemical evidence. **Journal of Petrology**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 701-726, 1987.
- PETROBRAS. **Projeto Aerogeofísico Borda Oeste da Bacia do Paraná: bloco Leste/Sul**. [S.l.], 1989.
- PETROBRAS. **Projeto Aerogeofísico Rio Iguaçu**. [S.l.], 1980. Consórcio CESP/IPT, Paulipetro.
- PICCIRILLO, E.M.; L. CIVETTA; R. PETRINI; A. LONGINELLI; G. BELLINI; P. COMIN-CHIARAMONTI; L.S. MARQUES; A.J. MELFI. Regional variations within the Paraná flood basalts (southern Brazil): evidence for subcontinental mantle heterogeneity and crustal contamination, **Chemical Geology** 75, 103-122, 1989.
- PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: IAG/USP, 1988. 600 p.
- PICHLER, E. Diques de arenito em Salto Grande, Rio Parapanema. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v1, n1, pp. 20-21, 1952
- PITAS, I. **Digital Image Processing Algorithms and Applications**. John Wiley & Sons. 2000.
- POMPEAU, G., SOLIANI JR., E.; KAWASHITA, K., BAITELLI, R., BERBERT, M., E CESAR, M.F. Um perfil geocronológico (K/Ar – traços de fissão) leste-oeste no Escudo Sul-Riograndense. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2. Florianópolis, 1985. **Anais...** Florianópolis, Sociedade Brasileira de Geologia, 1985, p. 219-237.
- QUINTAS, M.C.L. **O embasamento da bacia do Paraná: reconstrução geofísica de seu arcabouço**. 1995. 213p. Tese (Doutorado em Geofísica)-Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- REIDEL, S.P., HOOPER, P.R. (Eds.) Volcanism and tectonism in the Columbia River flood-basalt province, Washington. **Geological Society of America Special Paper**, 239, 1989, 386p.
- RENNE, P.; ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; COE, R.S.; GLEN, J.M.; PRÉVOT, M.; PERRIN, M. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, [S.l.], v. 258, n. 5084, p. 975-979. Nov. 1992.
- RENNE, P.R. Geochronology of the Paraná-Etendeka igneous province. In: SOUTH-AMERICA SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 1997, Campos do Jordão. [**Extended abstracts**]. Campos do Jordão: [s.n.], 1997. p. 20-23.
- REX, D.C., GUISE, P.G. Evaluation of argon standards with special emphasis on time scale measurements. Phanerozoic Time Scale. G. S. Odin. Paris, Bull. Liais. Inform. **IUGS Subcom. Geochronol.**, 13:21-23, 1995.
- REZENDE, W.M. DE. Post Paleozoic geotectonics of South America related to plate tectonics and continental drift. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. **Anais...** Belém: SBG – Núcleo Norte, 1972. v.3, p. 205-210.
- ROEST, W.R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics** 57, 116-125, 1992.
- ROISENBERG, A. **Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido Mesozóico da província meridional da bacia do Paraná**. 1989. 285p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- ROSTIROLLA, S.P.; MANCINI, F.; RIGOTI, A. Reativação de megalineamentos na evolução fanerozóica da Placa Sul-Americana. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS

- TECTÔNICOS, 10., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG-Núcleo Paraná, 2005. v. 1, p. 290-293.
- SCHERER, C.M. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, Southern Brazil. **Sedimentology**, Oxford, v. 49, n.1, p. 97-116, 2002.
- SCHNEIDER, A.W. Vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná: perfil Foz do Iguaçu - Serra da Esperança. XXIV Congr. Bras. Geol. Brasília. **Anais...** SBG - Núcleo Centro-Oeste. 1970
- SELF, S.; THORDARSON, T.; KESZTHELYI, L. **Emplacement of continental flood basalts flows**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1997. p.1-4. (Geophysical Monograph Series, 100).
- SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, UNICAMP, 1999.
- SILVA, J.B.C. 2-D Magnetic interpretation using the vertical integral. **Geophysics** 61, 387-393, 1996.
- SIVIERO, R. S.; RAMAGE, L.; MENEGAT, R.; MIZUSAKI, A.M.P. Caracterização dos ignimbritos da Formação Serra Geral na região de Sananduva, terra indígena de Ligeiro, RS. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...** Cabo Frio, RJ: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. v. 3. p. 271-276.
- SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; CSORDAS, S.M.; MATOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; MENESES, P.R. Lineamentos em imagens Landsat e Radar e suas implicações ao conhecimento tectônico da bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2, 1982, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: INPE, 1982. v. 2, p. 143-156.
- STANLEY, C.R. An interactive computer program to fit mixtures of normal (or log-normal) distributions with maximum likelihood optimization procedures - version 1.0: instruction manual for PROBLOT. **Association of Exploration Geochemistry**, [S.l.], Special Volume 14, 1987.
- STEWART, K., TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.J.; KIRSTEIN, L.; MANTOVANI, M.S.M. 40 Ar-39 Ar Geochronology in the Paraná continental flood basalt province. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v.143, p. 95-109, 1996.
- SZUBERT, E.C.; GRAZIA, C.A.; SHINTAKU, I. **Projeto Cobre em Itapiranga**: relatório final. Porto Alegre, CPRM/SUREG PA, 1979. 2 v.
- TEIXEIRA, W. Folha SH. 22/Porto Alegre, SI.22/Lagoa Mirim e SH.21/Uruguaiana. Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica. In: **PROJETO RADAMBRASIL**. Florianópolis: DNPM, 1982. Relatório Inédito.
- TOLAN, L.T.; REIDEL, S.P.; HOOPER, M.H.; BESSON, M.H.; ANDERSON, J.L.; FECHT, K.R.; SWANSON, D.A. Revision to the estimates of the areal extend ad volume of the Columbia River Basalt Group. **Special Paper Geological Society of America**, Boulder, Co., 239, p.1-20, 1989.
- TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, K.; MANTOVANI, M.S.M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40Ar-39Ar geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**. Amsterdam, v.121, n. 3-4, p.333-348, 1994.
- UMANN, L.V.; LIMA, E.F.L.; SOMMER, C.A.; LIZ, J.D. Vulcanismo ácido da região de Cambará do Sul - RS Litoquímica e discussão sobre a origem dos depósitos. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 31, n.3, p. 357-368, set. 2001.
- VAIL, P.R.; MITCHUM, R.M.; THOMPSON, S. **Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal on lap**. Tulsa: AAPG, 1977. p. 63-81. (AAPG Memoir 26).
- VALENTE, S.; DUARTE, B.P.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H.; VALLADARES, C.S.; GUEDES, E.; WOLFRAM, T.; LOBO, J.; CORVAL, A.; DUTRA, T.; SOARES, L.H.; SOUZA, F.M.; VINHA, J.; FAMELLI, N. Mapa do enxame de diques da Serra do Mar, RJ. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...**Cabo Frio, RJ: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 207-211.
- VASCONCELLOS, E.M.G.; LICHT, O.A.B.; BRAGA, L.S.; BITTENCOURT, A.V.L. Gabros da bacia do Paraná: aspectos petrográficos e geoquímicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8., 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2001.
- VERDUZCO, B.; FAIRHEAD, J.D.; GREEN C.M. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. **The Leading Edge**, Tulsa, v. 23, n. 2, p. 116-119, 2004.
- VIDOTTI, R.M.; EBINGER, C.J.; FAIRHEAD, J.D. Gravity signature of the western Parana basin, Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v.159, n. 3/4, p.117-132, 1998.
- WAICHEL, B.L.; LIMA, E.F.; LUBACHESKY, R.; SOMMER, C.A. Peperitos da Formação Serra Geral: um exemplo da porção oeste do Estado do Paraná, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais...** Cabo Frio, RJ, Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 213-217.
- WHITE, I.C. **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1908. Parte I, p.1-300; Parte II, p. 301-617.
- WHITE, J.D.L.; MCPHIE, J.; SKILLING, I.P. Peperite: a useful genetic term. **Bulletin of Volcanology**, Berlin, v.62, n.1, p.65-66, 2000.
- WILDNER, W.; SANDER, A.; ROMANINI, S.J. Texturas e estruturas dos lagos de lava Serra Geral. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2., 2002, Belém. **Boletim de Resumos**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002.