UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA
ANÁLISE DE FAVORABILIDADE PARA
MINERALIZAÇÕES DE CHUMBO, ZINCO E COBRE
NAS FOLHAS CERRO AZUL E APIAÍ, VALE DO
RIBEIRA, (SP E PR)**

CARLOS CÉSAR DE ARAÚJO

Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome
Presidente:	Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo
Examinadores:	Prof. Dr. Elias Carneiro Daitx
	Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

Assinatura

SÃO PAULO
1999

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004526

**APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DE
FAVORABILIDADE PARA MINERALIZAÇÕES DE CHUMBO, ZINCO E
COBRE NAS FOLHAS CERRO AZUL E APIAÍ, VALE DO RIBEIRA,
(SP E PR).**

Carlos César de Araújo

Orientador: Prof. Dr. Arlei Benedito Macedo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

**São Paulo
1999**

*A Orbélia, minha mãe.
Ao Marcos, meu irmão e amigo.*

Agradecimentos

Este trabalho foi possível somente com o apoio da Fapesp, por intermédio de bolsa de mestrado e auxílio pesquisa (processos **97/04664-6** e **97/04272-0**).

Várias pessoas e instituições me ajudaram durante o período de desenvolvimento deste trabalho. Cito aqueles que contribuíram diretamente, se deixo de citar alguém é porque a memória me trai mas fica meu agradecimento a todos.

Agradeço ao Instituto de Geociências da USP pelo apoio institucional.

Agradeço ao professor Arlei Benedito Macedo, orientador, pelo estímulo ao trabalho, discussão dos assuntos abordados e minuciosa revisão do texto que muito ajudou para o êxito desta dissertação.

Meu agradecimento ao professor Elias Carneiro Daitx o qual contribuiu significativamente através de suas opiniões a respeito do trabalho.

Ao professor Ginaldo Adhemar da Cruz Campanha pela constante atenção e presteza nos assuntos relacionados ao projeto e pela ajuda na compilação do mapa geológico, parte essencial deste trabalho.

Do mesmo modo agradeço à CPRM pela cessão dos dados geoquímicos, de ocorrências minerais e aerogeofísicos, em especial a José Ribamar Bezerra, e a Ídio Lopes Jr. Agradeço também à Mônica Mazzini Perrotta pela revisão do texto e discussão sobre os temas de geoprocessamento, sua contribuição foi significativa ao trabalho. Agradeço à Mineropar pelos dados geoquímicos em especial ao geólogo Otávio Augusto Boni Licht. Agradeço ao Duílio Rondinelli pelas discussões a respeito de tratamento de dados geoquímicos.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná, em especial ao professor Francisco José Fonseca Ferreira, pela orientação no tratamento dos dados aerogeofísicos. Meu agradecimento a Francisco Valdyr da Silva e a Maximilian Forlin pelo auxílio no processamento dos dados aerogeofísicos. Também agradeço à doutoranda, na Unicamp, Sílvia Rolim, pelas discussões e sugestões a respeito do tratamento dos dados aerogeofísicos.

Agradeço aos professores Jorge Kazuo Yamamoto, Jorge Silva Bettencourt e Fábio Taioli, sempre prontos a dar sua atenção e conselhos, em relação aos assuntos desta dissertação.

Agradeço ao professor Aledir Barbour a respeito das discussões sobre os modelos de mineralização.

Agradeço ao professor João Batista Moreschi pela atenção dada ao trabalho na forma de discussões acerca das mineralizações. Minha admiração ao exemplo que é, como excelente professor de geologia.

Agradeço à professora Gianna Maria Garda pelas sugestões para o *abstract*.

Ao aluno de iniciação científica Sérgio Nobuo Godoy Saito pelo auxílio no tratamento dos dados geoquímicos e preparação de figuras. Sua ajuda foi de grande valia no desenvolvimento do projeto.

Agradeço à amizade demonstrada pelo Hélio Shimada desde meus tempos de graduação, agora na forma de revisão atenta do texto e sugestões de artigos.

Agradeço ao colega Sérgio Luís Fabris de Matos, suas opiniões e incentivo sempre positivos ajudaram muito na tomada de decisões no trabalho. E à mestrandia Márcia Mika Saito pela ajuda na montagem dos volumes

Agradeço ao colega Alexandre Carnier Nunes da Silva pelo apoio demonstrado durante o trabalho na forma de discussões sobre geoprocessamento.

Agradeço Marcos Sousa Campos por ceder os dados geoquímicos de sua dissertação de mestrado.

Agradeço aos funcionários do departamento, João Victor Maschi e Vera Lúcia Tardelli, Priscilla Godoy e Pedro Carlos Poccioti pela ajuda sempre pronta, nos trabalhos do dia a dia.

Aos funcionários da biblioteca do Instituto de Geociências, em especial à Brenda Maria Mascarenhas e Maria Aparecida Bezerra, pelo profissionalismo e pontualidade.

A Rita Parisi Conde pela ajuda com a utilização da estação SUN. Sem esta ajuda, este trabalho não seria possível.

Às secretárias da seção de pós-graduação Ana Paula Cabanal Pentagna e Magali Poli Fernandes Rizzo, pela solicitude para resolver o trabalho burocrático com muita simpatia e bom humor.

Agradeço à amiga Veridiana Teixeira de Souza Martins pela minuciosa e paciente revisão do texto e discussões sempre positivas a respeito do trabalho.

Agradeço ao colega Marcelo Monteiro da Rocha, pela constante ajuda e conselhos com os assuntos da dissertação não medindo esforços nem tempo.

Um especial agradecimento ao velho e bom amigo, Sérgio Vicente Liotte, companheiro de trabalho, que com seu bom senso e bom humor contribuiu não só com as discussões a respeito dos aspectos técnicos do trabalho mas também com sua amizade e presteza.

E sem dúvida agradeço aqueles que são a base da minha vida, sem eles eu não teria conseguido chegar até aqui: meu irmão, Marcos, minha mãe, Orbélia e meu pai, José. Um agradecimento especial para minha querida Vanessa, seu companheirismo e carinho foram fundamentais durante este trabalho.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Objetivos e métodos.....	1
1.3 Localização	2
2. DADOS ANTERIORES.....	3
2.1 Geologia.....	3
2.1.1 Litoestratigrafia	6
2.1.2 Evolução tectônica.....	14
2.2 Mineralizações sulfetadas no Vale do Ribeira.....	15
2.2.1 Introdução.....	15
2.2.2 Tipo Perau.....	15
2.2.2.1 Observações genéticas e descritivas gerais.....	15
2.2.2.2 Observações genéticas e descritivas - casos no Vale do Ribeira	18
2.2.2.3 Modelo descritivo adotado	22
2.2.2.4 Parâmetros de prospecção para depósitos tipo Perau aplicados em geoprocessamento.....	24
2.2.3 Tipo Panelas.....	26
2.2.3.1 Observações genéticas e descritivas gerais.....	26
2.2.3.2 Observações genéticas e descritivas - casos no Vale do Ribeira	27
2.2.3.3 Modelo descritivo adotado	37
2.2.3.4 Parâmetros de prospecção para depósitos tipo Panelas aplicados em geoprocessamento.....	39
2.3 Análise de favorabilidade por geoprocessamento - casos de aplicação	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 Sistemas de Informação Geográfica	45
3.1.1 Definições.....	45
3.1.2 Análise em sistemas de informação geográfica	47
3.1.2.1 Método lógico booleano.....	50
3.1.2.2 Método de índices	51
3.1.2.3 Método lógico fuzzy	52
3.1.2.4 Avaliação de favorabilidade a partir de critérios múltiplos por geoprocessamento.....	54
3.2 Dados levantados e coleta das informações.....	59
3.2.1 Digitalização da topografia e da rede de drenagem.....	59
3.2.2 Dados geoquímicos	60
3.2.3 Dados geofísicos	61
3.2.4 Dados de ocorrências minerais.....	64
3.2.5 Compilação do mapa geológico.....	64

3.3 Tratamento e método de análise dos dados.....	65
3.3.1 Geração de modelo numérico de terreno.....	65
3.3.2 Dados geoquímicos de sedimentos de corrente.....	68
3.3.3 Dados aerogeofísicos magnetométricos.....	72
3.3.4 Dados aerogeofísicos gamaespectrométricos.....	74
3.3.5 Dados de ocorrências minerais.....	76
3.3.6 Dados de fraturamento.....	77
4. RESULTADOS OBTIDOS.....	81
4.1 Dados geoquímicos.....	81
4.2 Dados aerogeofísicos.....	85
4.2.1 Magnetometria.....	85
4.2.2 Gamaespectrometria.....	89
4.3 Dados de ocorrências minerais.....	93
4.4 Dados de fraturamento.....	96
5. INTEGRAÇÃO DE DADOS E SELEÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS.....	101
5.1 Definição dos pesos aos parâmetros prospectivos.....	101
5.2 Construção dos fatores.....	104
5.3 Análise Booleana.....	106
5.4 Análise por combinação linear ponderada.....	110
5.5 Análise por média ponderada ordenada.....	117
5.6 Comparação entre as análises por combinação linear ponderada e média ponderada ordenada.....	124
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
6.1 Conclusões.....	130
6.2 Recomendações.....	132
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134

Índice de quadros

Quadro 1:Esquema estratigráfico da área de estudo.....	4
--	---

Índice de tabelas

Tabela 1: Fator litológico - Perau.....	25
Tabela 2: Fator estratigráfico - Perau.....	25
Tabela 3: Fator geoquímico - Perau.....	25
Tabela 4: Fator estrutural - Perau.....	25
Tabela 5: Fator litológico - Painelas.....	40
Tabela 6: Fator estratigráfico - Painelas.....	41
Tabela 7: Fator geoquímico - Painelas.....	41
Tabela 8: Fator estrutural - Painelas.....	41
Tabela 9: Exemplo de combinação linear ponderada.....	56
Tabela 10: Exemplo de média ponderada ordenada.....	57
Tabela 11: Exemplo de média ponderada ordenada - inversão dos pesos de ordenação.....	58
Tabela 12: Exemplo de média ponderada ordenada - pesos de ordenação iguais.....	58
Tabela 13: Cartas topográficas digitalizadas.....	59
Tabela 14: Erros de digitalização com captura contínua de pontos.....	60
Tabela 15: Relação de levantamentos geoquímicos da Mineropar no Vale do Ribeira.....	61
Tabela 16: Características técnicas do projeto Serra do Mar Sul.....	61
Tabela 17: Características técnicas do projeto São Paulo - Rio de Janeiro.....	62
Tabela 18: Dados utilizados na compilação do mapa geológico.....	64
Tabela 19: Parâmetros de redução ao polo dos dados magnéticos.....	73
Tabela 20: Recurso Geológico "in situ" - Depósitos tipo Perau.....	93
Tabela 21: Recurso Geológico "in situ" - Depósitos tipo Painelas.....	93
Tabela 22: Parâmetros prospectivos - fator litológico - Painelas.....	102
Tabela 23: Parâmetros prospectivos - fator estratigráfico - Painelas.....	102
Tabela 24: Parâmetros prospectivos - fator geoquímico - Painelas.....	102
Tabela 25: Parâmetros prospectivos - fator estrutural - Painelas.....	102
Tabela 26: Parâmetros prospectivos - fator litológico - Perau.....	103
Tabela 27: Parâmetros prospectivos - fator estratigráfico - Perau.....	103
Tabela 28: Parâmetros prospectivos - fator geoquímico - Perau.....	103
Tabela 29: Parâmetros prospectivos - fator estrutural - Perau.....	103
Tabela 30: Reclassificação do fator litológico - Painelas.....	105
Tabela 31: Reclassificação do fator litológico - Perau.....	105
Tabela 32: Fator estratigráfico - Painelas/Perau.....	105
Tabela 33: Reclassificação do fator geoquímico - Painelas/Perau.....	105
Tabela 34: Reclassificação do fator estrutural - Painelas.....	105
Tabela 35: Reclassificação do fator estrutural - Perau.....	105
Tabela 36: Fatores e classes - análise booleana Painelas.....	106
Tabela 37: Fatores e classes - análise booleana Perau.....	107
Tabela 38: Tabulação cruzada - análise booleana Painelas.....	107
Tabela 39: Tabulação cruzada - análise booleana Perau.....	107
Tabela 40: Pesos dos fatores - Painelas.....	110
Tabela 41: Pesos dos fatores - Perau.....	110
Tabela 42: Escala de pesos - Idrisi.....	111
Tabela 43: Pesos de compensação obtidos a partir do módulo WEIGHT para a análise Painelas.....	111
Tabela 44: Pesos de compensação obtidos a partir do módulo WEIGHT para a análise Perau.....	111
Tabela 45: Quadro resumo simplificado - análise por combinação linear - Painelas.....	112
Tabela 46: Quadro resumo simplificado - análise por combinação linear - Perau.....	113
Tabela 47: Tabulação cruzada - Painelas - análise por combinação linear ponderada.....	113
Tabela 48: Tabulação cruzada - Perau - análise por combinação linear ponderada.....	113
Tabela 49: Pesos de ordenação - Painelas.....	117
Tabela 50: Pesos de ordenação - Perau.....	117
Tabela 51: Tabulação cruzada - Painelas - análise por média ponderada ordenada.....	118
Tabela 52: Tabulação cruzada - Perau - análise por média ponderada ordenada.....	118
Tabela 53: Quadro resumo simplificado - análise por média ponderada ordenada - Painelas.....	120
Tabela 54: Quadro resumo simplificado - análise por média ponderada ordenada - Perau.....	121
Tabela 55: Tabulação cruzada proporcional - tipo Painelas.....	124
Tabela 56: Tabulação cruzada proporcional - tipo Perau.....	125

Índice de figuras

Figura 1: Localização da área de estudo	2
Figura 2: Articulação das folhas Cerro Azul e Apiaí	2
Figura 3: Esboço geológico da área de estudo	5
Figura 4: Mineralização submarina exalativa, hipotética, de sulfetos e barita hospedados em sedimentos	16
Figura 5: Modelo genético interpretativo das mineralizações epigenéticas de chumbo do Vale do Ribeira	33
Figura 6: Correlação entre ocorrências minerais do tipo Panelas e distância dos granitos	40
Figura 7: Operadores lógicos booleanos	50
Figura 8: Funções de pertinência <i>fuzzy</i>	53
Figura 9: Esquema do modelo numérico de terreno TIN	66
Figura 10: Modelo Numérico de Terreno - integração IHS com relevo sombreado, iluminação a partir de N45W com inclinação de 45°	67
Figura 11: Exemplo de gráfico do programa Probplot aplicado a população de dados de um levantamento geoquímico	69
Figura 12: Fluxograma com as principais etapas para traçar bacias de drenagem automaticamente no ArcInfo 7.1 a partir dos pontos de amostragem de sedimentos de corrente	71
Figura 13: Bacias anômalas de cobre	82
Figura 14: Bacias anômalas de chumbo	83
Figura 15: Bacias anômalas de zinco	84
Figura 16: Integração IHS - magnetometria reduzida ao polo com primeira derivada vertical da magnetometria	86
Figura 17: Integração IHS entre primeira derivada vertical da magnetometria e magnetometria sem tratamento	87
Figura 18: Lineamentos magnéticos	88
Figura 19: Mapas de distribuição de teores em ppm dos canais aerogeofísicos: Tório, Urânio, Potássio e razão Th/K	91
Figura 20: Mapas de distribuição de valores das razões U/K, U/Th, Th/K e parâmetro F	92
Figura 21: Tonelagens dos depósitos sedimentar exalativos	94
Figura 22: Teores de zinco em depósitos de Zn - Pb sedimentar exalativo	95
Figura 23: Teores de prata em depósitos sedimentar exalativos	95
Figura 24: Teores de chumbo em depósitos sedimentar exalativos	96
Figura 25: Roseta das feições lineares de drenagem	97
Figura 26: Feições lineares interpretadas da rede de drenagem	98
Figura 27: Figura com mapas de isofrequência de zonas de fraturamento segundo as direções: N60W, N30W, NS, N45E e N70E com tolerância de 10 graus	99
Figura 28: Interpretação das áreas com maior frequência de zonas de fraturamento	100
Figura 29: Mapa de favorabilidade - Análise booleana Panelas	108
Figura 30: Mapa de favorabilidade - Análise booleana Perau	109
Figura 31: Fluxograma do processo de análise por combinação linear ponderada	114
Figura 32: Mapa de favorabilidade - Análise por combinação linear ponderada - Panelas	115
Figura 33: Mapa de favorabilidade - Análise por combinação linear ponderada - Perau	116
Figura 34: Fluxograma do processo de análise por média ponderada ordenada	119
Figura 35: Mapa de favorabilidade - Análise por média ponderada ordenada - Panelas	122
Figura 36: Mapa de favorabilidade - Análise por média ponderada ordenada - Perau	123
Figura 37: Áreas coincidentes entre as análise de favorabilidade por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada para o tipo Panelas, com índices de favorabilidade (1-10)	126
Figura 38: Áreas coincidentes entre as análise de favorabilidade por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada para o tipo Perau, com índices de favorabilidade (1-10)	127
Figura 39: Detalhe das análises por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada, para o tipo Perau, na área da Fm. Perau	128
Figura 40: Detalhe das análises por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada, para o tipo Panelas, na área região de Adrianópolis	129

Resumo

Neste trabalho é descrita a aplicação de técnicas de geoprocessamento na avaliação da favorabilidade de mineralizações de metais básicos, na área das folhas Cerro Azul e Apiaí (SG.22-X-B-IV e SG.22-X-B-V), escala 1:100.000, Vale do Ribeira (SP e PR).

O método utilizado baseia-se na seleção e ponderação de parâmetros prospectivos e aplicação destes segundo técnicas de geoprocessamento em um banco de dados digitais, o qual é composto por dados geológicos, geoquímicos, aerogeofísicos e de ocorrências minerais.

A seleção dos parâmetros prospectivos e as análises foram feitas com base em dois modelos de mineralização: o tipo Panelas, filonar hidrotermal encaixado em rochas carbonáticas, e o tipo Perau, sedimentar-exalativo.

A sobreposição dos níveis de informação, gerados a partir dos parâmetros prospectivos e do banco de dados foi efetuada pelos seguintes métodos: booleano, combinação linear ponderada e média ponderada ordenada.

O método booleano não foi considerado adequado para análise de favorabilidade nos casos estudados. Os métodos por combinação linear ponderada e média ponderada ordenada mostraram-se adequados para este tipo de análise, na área de estudo, com resultados semelhantes entre si.

A análise por média ponderada ordenada definiu os melhores resultados, com os mapas de favorabilidade obtidos mostrando um maior número de classes em pequenas áreas. Em comparação, a análise por combinação linear ponderada apresentou resultados coerentes, mas sem detalhar as áreas menores.

Os parâmetros prospectivos desenvolvidos mostraram-se adequados qualitativamente e quantitativamente, tanto para o tipo Perau quanto para o tipo Panelas.

Conclui-se que o método utilizado é adequado à seleção de áreas para pesquisa geológica em detalhe a baixos custos, podendo ser aplicado em áreas semelhantes à estudada.

Abstract

This work describes the use of GIS techniques in the evaluation of base-metal mineralizations favorability. The target area comprises Cerro Azul and Apiaí quadrangles (SG.22-X-B-IV and V, scale 1:100.000), Vale do Ribeira, São Paulo and Paraná States.

The applied method is based on selection, weighting and application of prospective parameters using GIS techniques to a digital database, which is composed of geological, geochemical and airborne geophysics data and mineral occurrences.

The exploration parameters selection and analysis were made based on two mineralization models: Panelas type, vein-type carbonate hosted, and Perau type, sedimentary-exhalative.

The layers overlay, generated from prospective parameters and from the database was done by means of the boolean, weighted linear combination and ordered weighted averaging methods.

The boolean method was not considered suitable for favorability analysis whereas the weighted linear combination and ordered weighted averaging methods proved to be suitable for the studied area, yielding similar results.

The ordered weighted averaging analysis defined the best results, the favorability maps presenting a large number of classes in the minor areas. In comparison, the weighted linear combination analysis showed more coherent results, but without detailing the minor areas.

The developed prospective parameters were considered suitable for both Perau and Panelas types.

It is concluded that the methods used are suitable for selection of prospecting areas during detailed geological survey, keeping low cost, and can be applied to similar areas as the studied one.

1. Introdução

1.1 Considerações iniciais

O Vale do Ribeira é uma região cuja geologia tem sido estudada há décadas devido ao seu potencial mineral para minérios metálicos, especialmente sulfetos de metais como chumbo, zinco e cobre dos quais conhecem-se numerosas mineralizações.

Os trabalhos de prospecção mineral realizados na área fizeram o levantamento de uma grande quantidade de informações como mapeamentos geológicos, dados geoquímicos e geofísicos, além da compilação de ocorrências minerais.

A organização destes dados é fator importante no processo de avaliação da favorabilidade para mineralizações de chumbo, zinco e cobre na região e o êxito do trabalho é fortemente condicionado pelos modelos de mineralização empregados para a manipulação e interpretação dos dados levantados em campo.

A busca de técnicas e ferramentas adequadas para a manipulação e interpretação dos dados e modelos conduz ao uso de sistemas digitais de informação geográfica.

1.2 Objetivos e métodos

Este trabalho tem por objetivo a análise de favorabilidade mineral para metais básicos numa área do Vale do Ribeira, utilizando-se técnicas de geoprocessamento. Desta forma, busca-se: definir as áreas mais favoráveis as mineralizações de chumbo, zinco e cobre; a avaliação dos métodos de análise por geoprocessamento empregados; a avaliação dos mapas de favorabilidade resultantes e a verificação da adequação dos modelos prospectivos empregados quando aplicados por geoprocessamento.

Esta análise de favorabilidade tem enfoque em dados geológicos visando a priorização de alvos para prospecção.

O método utilizado baseia-se no desenvolvimento de modelos de prospecção segundo técnicas de geoprocessamento aplicadas a um banco de

dados geológicos, geoquímicos, geofísicos e de ocorrências minerais, digitalizados e espacialmente registrados. Tem como base a ponderação de parâmetros prospectivos, segundo sua importância relativa e absoluta atribuída por peritos.

1.3 Localização

A área investigada localiza-se no sul do estado de São Paulo e nordeste do estado do Paraná, na região denominada Vale do Ribeira de Iguape (figura 1). Abrange uma área de aproximadamente 5.800 km², que corresponde às folhas Cerro Azul e Apiaí, escala 1:100.000. É delimitada pelos paralelos 24°30'S e 25°00'S, e pelos meridianos 48°30'W e 49°30'W. A articulação das folhas 1:100.000 em relação a folha Itararé, 1:250.000 é apresentada na figura 2.

Figura 1: Localização da área de estudo.

Figura 2: Articulação das folhas Cerro Azul e Apiaí (o quadro em vermelho corresponde a folha Itararé, 1:250.000).

2. Dados anteriores

2.1 Geologia

Segundo (Campanha *et al.*, 1996) no Vale do Ribeira, dentro da área de estudo, predominam rochas supracrustais de grau metamórfico fraco a médio, reunidas no Supergrupo Açungui (Mesoproterozóico a Neoproterozóico). Este é subdividido nos Grupos Itaiacoca, Votuverava (Subgrupos Ribeira e Lajeado), Setuva e Formações Água Clara e Capiçu. O embasamento dessas supracrustais é constituído por rochas gnáissico-migmatíticas, com núcleos charnockíticos e intercalações de metassedimentos, representado pelo complexo Gnáissico Migmatítico (Paleoproterozóico). Granitos do Neoproterozóico, corpos alcalinos do Cretáceo e diques básicos do Mesozóico cortam as seqüências metassedimentares e seu embasamento. Acompanhando os principais rios ocorrem depósitos quaternários aluvionares e coluvionares.

As principais unidades litoestratigráficas da área são apresentadas na figura 3 e o mapa geológico é apresentado no anexo II. Ainda segundo Campanha *et al.* (1996), uma possível organização das unidades litoestratigráficas da área de estudo seria o apresentado no esquema do quadro 1.

Quaternário

Aluviões e coluviões.

Cretáceo

Suítes e corpos alcalinos.

Jurássico - Cretáceo

Intrusivas básicas.

Triássico - Jurássico

Corpos gábricos

Neoproterozóico a Cambro - Ordoviciano

Suítes e corpos graníticos pós-tectônicos.

Neoproterozóico

Suítes e corpos graníticos sin- a tardi-tectônicos.

Complexos granitóides.

Gabro de Apiaí.

Mesoproterozóico à Neoproterozóico

Supergupo Açungui

Paleoproterozóico

Complexo gnássico-migmatítico.

Baseado em Campanha (1991 e informação verbal)

Quadro 1: Estratigrafia da área de estudo

Figura 3: Principais unidades litoestratigráficas da área de estudo.

2.1.1 Litoestratigrafia

Descreve-se a geologia da área de estudo, com ênfase na composição litológica dos pacotes estratigráficos (mapa geológico no anexo II). O texto apresentado é baseado em Campanha *et al.* (1996). A divisão estratigráfica apresentada é baseada nas propostas de Campanha *et al.* (1987), Campanha (1991) e Campanha *et al.* (1996 e informação verbal).

a. Paleoproterozóico

a.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico

Na área de estudo afloram rochas do Paleoproterozóico que correspondem ao Complexo Gnáissico-Migmatítico (Campanha *et al.*, 1996), composto por migmatitos embrechíticos e nebulíticos, granito-gnaisses, migmatitos estromalíticos com paleossomas de anfibólio-biotita, biotita-hornblenda gnaisses predominantes, mica-quartzo xistos, ultrabasitos, metabasitos e anfibolitos subordinados, ortognaisses (a biotita, biotita-hornblenda, hornblenda e muscovita) de composição diorítica a granodiorítica, com intercalações de quartzitos, anfibolitos, metabasitos e metaultrabasitos. Afloram principalmente na região sudeste da área de estudo, tendo uma disposição SW-NE. Essas rochas constituem o embasamento cristalino ao sul da faixa metassedimentar.

b. Mesoproterozóico a Neoproterozóico

b.1 Supergrupo Açungui

b.1.1 Grupo Setuva

O Grupo Setuva foi definido originalmente por Bigarella & Salamuni (1956a,b, 1958a,b).

Segundo Campanha *et al.* (1996), o Grupo Setuva engloba todas as unidades metassedimentares aflorantes no Anticlinal do Setuva subjacentes à Formação Capiru.

As litologias do grupo Setuva, aflorantes na área, são compostas basicamente por metapelitos (filitos e xistos finos) com presença de mármore, quartzito e quartzitos. Ocorrem raras intercalações de metabasitos.

b.1.2 Formação Capiu

A Formação Capiu foi definida por Bigarella & Salamuni (1956a). Segundo Campanha *et al.* (1996), essa Formação, da mesma forma que o Grupo Itaiacoca, corresponde a uma seqüência plataformar de águas rasas e litorâneas, com alternâncias de pacotes carbonáticos, psamíticos e pelíticos.

A Formação Capiu é composta por filitos, metassiltitos, filitos grafitosos, metarritmitos e ardósias, mármore dolomíticos e dolomitos com finas intercalações de *metachert*, quartzitos, metarenitos, metarcóseos e hornfels. Destaca-se a presença nos mármore dolomíticos de estruturas indicativas de águas rasas, tais como estromatólitos e oólitos.

b.1.3 Mármore da Tapagem

Segundo Campanha (1991) são mármore finos, brancos, isótropos, homogêneos e dolomíticos. Ocorrem intercalações de cálcio xistos, mica-quartzito xistos e quartzitos.

Campanha (1991) levanta a hipótese de que o Mármore da Tapagem seja correlato aos mármore da Formação Capiu e embora não se encontrem estruturas primárias, como estromatólitos, sua posição estratigráfica e aspectos composicionais sugerem esta correlação.

b.1.4 Grupo Votuverava

Definido originalmente como Formação Votuverava (Bigarella e Salamuni, 1958b) teve sua elevação a Grupo proposta por Campanha (1991) e Campanha *et al.* (1996). É subdividido nos Subgrupos Ribeira e Lajeado.

b.1.4.1 Subgrupo Ribeira

O Subgrupo Ribeira, segundo Campanha *et al.* (1996), é composto por metarritmitos, predominantemente metassiltitos finos, ardósias e filitos com intercalações de quartzito filitos, quartzitos, carbonato filitos, metassiltitos, meta-argilitos maciços, clorita filitos, xistos verdes, filitos grafitosos, metaconglomerados oligomíticos, mármore, *metacherts*, formações ferríferas e metatufos, com expressivas intercalações de rochas metabásicas, representadas por anfibolitos, epidoto-actinolita fels e clorita-carbonato fels.

b.1.4.1.1 Formação Perau

Foi definida por Pierkarz (1981) e Takahashi *et al.* (1981)

Segundo Campanha *et al.* (1996), a coluna estratigráfica proposta por Takahashi *et al.* (1981) na sua área-tipo inclui a Seqüência Química Superior, a Seqüência Clastoquímica e a Seqüência Química Inferior de Schöll *et al.* (1982). A primeira corresponde a um nível carbonático impuro, que abriga a mineralização da Mina do Perau e outras correlatas. A segunda corresponde a um espesso pacote de quartzitos, por vezes interpretados como *metacherts*, o qual delimita algumas grandes estruturas antiformais, como a da Anta Gorda. O conceito adotado por Campanha *et al.* (1996) é mais restrito do que o proposto por Fritzons Jr *et al.* (1982) e Biondi *et al.* (1983) sendo mais próximo do conceito original de Pierkarz (*op. cit.*) e Takahashi (*op. cit.*).

Daitx (1996) adota a nomenclatura de Complexo Perau numa área que engloba a Formação Perau e parte do Subgrupo Ribeira, apresentados neste trabalho. Daitx (1996) descreve três conjuntos litológicos principais no Complexo Perau:

- Seqüência inferior ou quartzítica – composta principalmente por quartzitos, que representam a principal camada-guia do Complexo Perau.
- Seqüência intermediária ou carbonática/pelítico-carbonática – formada por mármore dolomíticos e, subordinadamente, calcíticos.

- Sequência superior ou pelítico-aluminosa/anfibolítica – este conjunto litológico é composto por dois litotipos principais: metassedimentos siltico-argilosos e anfibolitos/anfibólio xistos.

A Formação Perau, aqui adotada, é composta por quartzo-muscovita-biotita xistos, com intercalações locais de quartzitos, xistos com plagioclásio, granada, anfibólio e magnetita, alternância de mármore dolomíticos e mica xistos com tremolita, quartzitos finos, carbonato xistos com intercalações de mármore, metavulcânicas básicas a ácidas, incluindo anfibolitos, epídoto-actinolita fels, clorita-carbonato fels e prováveis metatufos.

b.1.4.1.2 Formação Iporanga

Foi definida por Leonardos (1934), ocorrendo no canto nordeste da área de estudo, numa faixa de direção SW-NE, ao sul do Lineamento Ribeira. Ocorre também no Paraná sempre a sul do Lineamento Ribeira.

A Formação Iporanga é composta por metarritmitos, metassiltitos, filitos e ardósias, com intercalações de metaconglomerados e metabrechas polimíticas com matriz filítica, metarenitos (por vezes conglomeráticos), metarcóseos, metarenitos e metaconglomerados polimíticos de matriz arcoseana, quartzitos com intercalações de metassiltitos e hornfels.

b.1.4.2 Subgrupo Lajeado

Denominação proposta por Campanha *et al.* (1986) tem sua divisão estratigráfica interna reconhecida desde Barbosa (1941). Trata-se de uma sequência plataformal de águas rasas, porém não litorâneas (Petri & Suguio, 1969) constituída pela alternância de pacotes relativamente espessos de composição carbonática e psamo-pelítica. Hasui & Oliveira *et al.* (1984) propuseram uma coluna estratigráfica formal, a qual foi modificada por Campanha *et al.* (1986) e adotada neste trabalho. Abaixo estão descritas as unidades desta coluna (da base para o topo as formações: Betari, Bairro da Serra, Água Suja, Mina de Furnas, Serra da Boa Vista, Passa Vinte e Gorutuba).

b.1.4.2.1 Formação Betari

A Formação Betari, unidade basal do Subgrupo Lajeado, é formada por metassiltitos e filitos, com intercalações de metarenitos finos, na parte SW da área, transformados para quartzo-biotita-muscovita xistos e na base da Formação ocorrem lentes de metaconglomerados oligomíticos, em meio a metarenitos arcoseanos, metarenitos com grânulos e metassiltitos.

b.1.4.2.2 Formação Bairro da Serra

Trata-se de uma unidade de natureza carbonática. Encontram-se mármore finos (metacalcários), cinza-escuros a médios, homogêneos, localmente bandados, em geral calcíticos com intercalações de filitos e xistos carbonáticos, filitos e metassiltitos.

b.1.4.2.3 Formação Água Suja

Ocorrem filitos, quartzo-biotita-muscovita xistos, clorita-quartzo-muscovita xistos e quartzo-grafita-muscovita xistos. Na proximidade do granito Itaoca, as rochas apresentam-se fortemente afetadas por metamorfismo de contato.

b.1.4.2.4 Formação Mina de Furnas

Constituída essencialmente por mármore impuros, margosos, localmente bandados, calcíticos com intercalações de filitos carbonáticos, metarenitos e xistos. Suas características morfológicas, litotipos e estruturas são semelhantes às da Formação Bairro da Serra.

b.1.4.2.5 Formação Serra da Boa Vista

Caracteriza-se pela presença de metarenitos bandados, localmente microconglomeráticos com intercalações de filitos, metassiltitos, e localmente muscovita-biotita xistos e mica xistos.

b.1.4.2.6 Formação Passa Vinte

É constituída por mármore em geral bandados, cinza-escuro a claros e dolomíticos, por vezes impuros. Observam-se localmente esteiras algálicas.

b.1.4.2.7 Formação Gorutuba

Segundo Campanha (1991), a característica mais marcante desta unidade é a alternância rítmica de lâminas e estratos centimétricos e milimétricos. Predominam os metapelitos, ocorrendo cálcio-silicáticas (informalmente Gorutubitos, Geoffrey & Santos, 1942, *apud* Campanha, 1991). De modo geral, encontram-se metassedimentos rítmicos, incluindo metassiltitos, filitos carbonáticos, mármore e filitos cálcio-silicáticos.

b.1.4.2.8 Gabro de Apiaí

Trata-se de uma intrusão de gabros nos metassedimentos do Subgrupo Lajeado. Esta unidade mostra relações de contato discordantes, além de metamorfismo de contato sobre as rochas da Formação Gorutuba (Campanha, 1991). É constituído por rochas isotrópicas de granulação média, escuras, textura variando de ofítica a subofítica com presença de plagioclásio e augita.

b.1.5 Formação Água Clara

Definida, originalmente, por Marini *et al.* (1967), corresponde a uma sequência carbonática impura, com posição estratigráfica provável no topo do Supergrupo Açungui, situação esta controversa em trabalhos posteriores.

É composta por rochas cálcio-silicáticas, cálcio xistos, carbonato xistos, mármore e intercalações de quartzitos, mica xistos, metabasitos, metaultramáficas, filitos e paragneisses, mármore, mica xistos, anfibólio xistos, quartzitos, granada-clorita-biotita xistos, metacherts, metatufos básicos e

intermediários, metabasitos e cornubianitos, orto-anfibolitos, carbonato-anfibolitos e ortognaisses parcialmente migmatizados.

b.1.6 Grupo Itaiacoca

Corresponde a uma seqüência plataformal de águas rasas e litorâneas (Petri & Suguio, 1969), com espessos pacotes carbonáticos, psamíticos e pelíticos, definido por Almeida (1956) como formação.

É composto por filitos, sericita xistos, metassiltitos, metargilitos, filitos grafitosos, ardósias e metarritmitos. Subordinadamente, metarenitos, quartzitos, mármore dolomíticos e clorita xistos, mármore dolomíticos com estruturas estromatolíticas e raras oolíticas e pisolíticas. Ocorrem intercalações de *metacherts*, metapelitos e xistos carbonosos subordinadamente.

c. Neoproterozóico

c.1 Complexos Granitóides

Rochas Granitóides, de composição e texturas diversas, englobando desde granitóides porfiróides a granitóides pós-tectônicos e, possivelmente, também porções do embasamento.

c.2 Suítes e Corpos Graníticos Sin- a Tardi-Tectônicos

Compostos por biotita-hornblenda-granitos e granodioritos, porfiríticos e/ou equigranulares, cinza, com enclaves de microgranitos, quartzo dioritos e gnaisses. Ortognaisses predominantes, com migmatitos, granitos de anatexia e milonito gnaisses porfiroblásticos subordinados.

d. Neoproterozóico a Cambro-Ordoviciano

d.1 Suítes e Corpos Graníticos Pós-Tectônicos

Formados por granitóides intrusivos, normalmente equigranulares, róseos, de composição alcáli-feldspato granito e quartzo sienito.

e. Triássico-Jurássico

e.1 Corpos Gábricos

Os corpos são formados por olivina gabros, quartzo monzogabros, gabros subofíticos, diabásios e essexitos.

f. Jurássico - Cretáceo

f.1 Intrusivas básicas

Ocorrem intrusivas básicas e presença de diabásios, lamprófiros e gabros.

g. Cretáceo

g.1 Suítes e corpos alcalinos

Na área, afloram ijolitos, foiaítos, malignitos, essexitos, jacupiranguitos, piroxenitos, peridotitos, fonólitos, tinguaítos, álcali sienitos, pulaskitos e gabros alcalinos, associados aos maciços de Tunas, Barra do Itapirapuã, Itapirapuã, Mato Preto e Banhadão.

h. Quaternário

h.1 Depósitos aluvionares

Os depósitos aluvionares são constituídos por areias de granulação variada, cascalhos, siltes e argilas. Ocorrem terraços e depósitos associados à rede de drenagem.

2.1.2 Evolução tectônica

Campanha (1991), baseado em dados estruturais, geocronológicos e petroquímicos, propõe a seguinte seqüência de eventos tectônicos na região:

- 1,8 a 1,7 Ga - abertura de um rifte continental;
- 1,7 a 1,5 Ga - instalação de abertura oceânica, com vulcanismo básico da Formação Perau. Talvez a deposição das plataformas carbonáticas do Itaiacoca e Capiçu;
- 1,4(?) a 1,3(?) Ga - fraturamento da margem continental, desenvolvimento de subducção, para NW, arco magmático no Itaiacoca, e talvez uma bacia frontal a arco (Lajeado?);
- 0,8 Ga - distensão de retroarco, provocando ascensão de magma básico (Gabro de Apiaí);
- 0,75 a 0,63 Ga - colisão de blocos continentais (maciços de Joinville e "Cráton do Paraná"), produzindo o principal evento metamórfico;
- 0,63 a 0,45 Ga - desenvolvimento do sistema transcorrente (por tectônica de "escape", ou ajuste de blocos continentais) e instalação de bacias *pull-apart*, com deposição das seqüências molassóides. Magmatismo granitóide "tardi-" e "pós-" tectônico. Resfriamento regional final.

Segundo Campanha & Sadowski (1998), os sedimentos de origem marinha na área, comprimidos entre o Cráton do Paraná e o fragmento cratônico Luís Alves (Maciço de Joinville), mostram tanto características de margens ativas quanto de passivas e são, provavelmente, o resultado de uma história que ocorreu durante a abertura e o fechamento de um oceano Mesoproterozóico, entre 1,8 e 1,1 Ga. Os aspectos essenciais, utilizados por Campanha & Sadowski (1998) para formular o modelo tectônico, estão baseados na presença destes dois blocos cratônicos consolidados antes de 1,8 Ga; e numa assembléia de margens continentais, aproximadamente simétricas, representadas pelo Grupo Itaiacoca a noroeste e a Formação Capiçu a sudeste, e um domínio central com evidência de um gradual aprofundamento da plataforma carbonática (Subgrupo Lajeado, Grupo Votuverava) passando a leste para seqüências turbidíticas distais, com a presença de magmatismo de assoalho oceânico e/ou arco de ilha imaturo (Subgrupo Ribeira, Grupo Votuverava).

2.2 Mineralizações sulfetadas no Vale do Ribeira

2.2.1 Introdução

As principais mineralizações de sulfetos de metais básicos, na área de estudo, podem ser agrupadas em dois tipos principais: tipo Perau e tipo Panelas (Fleischer, 1976). O tipo Perau compreende mineralizações estratiformes de origem exalativa hospedadas em sedimentos carbonáticos marinhos. O tipo Panelas compreende mineralizações filonares de origem hidrotermal hospedadas em rochas carbonáticas marinhas.

2.2.2 Tipo Perau

2.2.2.1 Observações genéticas e descritivas gerais

As mineralizações tipo Perau são compostas por sulfetos maciços estratiformes hospedados em sedimentos. Um grande número de depósitos, mundialmente, relaciona-se a esta classe. Sawkins (1976) sugeriu o nome de tipo Sullivan para depósitos deste tipo, mas devido à grande variabilidade verificada em diferentes depósitos, é preferível utilizar, de uma maneira abrangente, a definição de Large (1980) como "depósitos de sulfetos maciços hospedados em sedimentos". Alguns autores (R.B. Silva *et al.*, 1982, Macedo, 1986, Daitx, 1996) incluem estas mineralizações do Vale do Ribeira no tipo sedimentar exalativo (*sedex*) devido às suas características locais. Este trabalho adota esta classificação no desenvolvimento da análise de favorabilidade.

Segundo Lydon (1990), um modelo de depósito mineral pode ser composto por: um modelo descritivo, o qual trata de feições do conjunto geológico, tais como morfologia, quimismo, mineralogia, zoneamento, entre outras, e por um modelo genético, no qual são apresentadas explicações, racionais e coerentes, das características do tipo de depósito em termos de conhecimento dos processos geológicos. Deste modo, aborda-se, neste texto, o tipo de mineralização *sedex* segundo seus aspectos descritivos e genéticos gerais reconhecidos em vários depósitos mundialmente. Numa segunda etapa é feita

uma revisão das características das mineralizações tipo Peral na área de estudo (item 2.2.2.2), também segundo seus aspectos descritivos e genéticos.

Segundo Carne & Cathro (1982 *apud* Goodfellow *et al.*, 1993) o termo *sedex* é derivado de sedimentar-exalativo e é a forma de descrição mais popular para esta classe importante de depósitos.

Os depósitos tipo *sedex* são formados pela descarga de fluidos hidrotermais metalíferos no assoalho oceânico. Esta descarga é propiciada pela geração de um processo convectivo em um grande volume de fluido. O processo convectivo ocorre devido a um alto fluxo térmico na litosfera. Os fluidos hidrotermais mineralizados chegam ao assoalho oceânico por meio de áreas de fraqueza crustal, que funcionam como condutos para sua passagem. Pode ocorrer deposição de metais, na forma de vênulas, nestes condutos formando zonas de *stockwork* (vide figura 4).

Modificado de Large, 1980 e Finlow-Bates, 1980

Figura 4: Mineralização submarina exalativa, hipotética, de sulfetos e barita hospedados em sedimentos.

Large (1980) destaca os parâmetros que refletem a presença de ambientes geológicos potencialmente mineralizados. Mineralizações submarinas exalativas de chumbo e zinco, hospedadas em sedimentos, usualmente, ocorrem próximos às margens de bacias controladas por falhas. Zonas de eixos de dobra podem sugerir áreas de fraqueza que, desta forma, seriam excelentes caminhos para a

ascensão de soluções hidrotermais. Resumidamente, a intersecção de lineamentos de eixos de dobras (zonas de charneira) com outros lineamentos, associados com feições indicativas do alto fluxo de calor contemporâneo pode ser a área ideal para a ascensão de soluções hidrotermais à superfície marinha. Segundo o autor, devido à presença de mudanças de fácies e espessuras dos sedimentos hospedeiros, brechas de deslizamento e conglomerados; zonas de dobramento e falhamento de intensidade relativa, maior que a deformação regional pode-se concluir que houve movimento contemporâneo de falhas durante a precipitação das mineralizações estratiformes.

As mineralizações exalativas de sulfetos hospedados em sedimentos marinhos são conhecidas por sua associação com elementos geológicos indicativos da presença de atividade vulcânica contemporânea. Segundo Large (1980) esta atividade é comumente manifestada na forma de tufitos dentro da seqüência sedimentar hospedeira. Intrusões ígneas contemporâneas também podem estar presentes na vizinhança do depósito. A evidência de um gradiente geotermal anômalo é um fator muito importante no reconhecimento de uma área potencial para mineralizações exalativas submarinas hospedadas em sedimentos. O autor conclui que as mineralizações submarinas exalativas hospedadas em sedimentos foram formadas em áreas de alto fluxo térmico, que podem ter resultado em extenso fraturamento da crosta continental nas margens e dentro de crátons. A consequência geológica do alto fluxo térmico foi a formação de aberturas e *grabens*, que podem ter conduzido o desenvolvimento de bacias; além disso, houve atividade ígnea contemporânea à deposição dos sedimentos. A deposição dos sulfetos numa seqüência determinada pelas suas respectivas solubilidades resultou num zoneamento metálico característico (figura 4).

Em termos composicionais os depósitos tipo *sedex*, segundo Goodfellow *et al.* (1993) são compostos por sulfetos e outros produtos hidrotermais, tais como carbonatos, chert, barita e apatita, rochas clásticas não hidrotermais, além de rochas sedimentares de origem química e biogênica, também não hidrotermais. O carbonato é um dos componentes principais associado ao hidrotermalismo, e geralmente é composto por: calcita, ankerita e siderita, podendo ocorrer no minério acamadado e nas zonas de alimentação discordantes. Com menor importância, encontram-se óxidos de ferro e minerais argilosos.

Resumidamente, Large (1980) destaca as principais características das mineralizações hospedadas em sedimentos, como as descritas a seguir:

- a extensão lateral do corpo mineralizado é muitas vezes maior que a espessura;
- os corpos sulfetados são concordantes e intercalados aos sedimentos marinhos de diferentes litologias;
- os corpos mineralizados podem estar distribuídos em intervalos estratigráficos de 1000 m ou mais;
- mineralizações de barita estratiforme freqüentemente estão sobrepostas ou ocorrem lateralmente a mineralizações estratiformes;
- mineralizações filonares, disseminadas ou tipo *stockwork* são comumente encontradas sob ou adjacentes à mineralização estratiforme;
- mineralogicamente ocorrem pirita e/ou pirrotita, esfalerita e galena. Estudos detalhados podem revelar traços de vários minerais de sulfetos;
- texturalmente os sulfetos estratiformes podem ser maciços, ou seja, sem estrutura interna visível;
- o zoneamento metálico dentro dos depósitos, idealmente, consiste de uma seqüência lateral de Cu-Pb-Zn ou uma seqüência vertical de Cu-Zn-Pb-Ba.

2.2.2.2 Observações genéticas e descritivas - casos no Vale do Ribeira

A seqüência que hospeda o depósito do Perau é descrita por Fleischer (1976) como constituída por um quartzito na base, apresentando, a seguir, um quartzito filito cinza-grafitoso e sobre este um quartzito-sericita xisto (denominado pelo autor como xisto silicoso). O xisto silicoso apresenta intercalações de calcário e, sobre este, ocorrem cálcio-clorita-anfibólio xistos intercalados com cálcio anfibolitos. Fleischer (1976) descreve a tipologia Perau como uma mineralização plumbo-argentífera, com cobre subordinado, estratiforme, encaixada em seqüência vulcano-sedimentar dobrada e metamorfozada do Pré-Cambriano médio. O autor descreve a mineralização como concentrada num horizonte brechóide com xisto silicoso, calcário e cimento de pirrotita e galena.

Souza & Campanha (1977), a partir de características da mineralização como extensão, concordância com o acamamento reliquiar e posição

estratigráfica definida, consideraram a hipótese do chumbo na mineralização do Perau ter origem primária sedimentar.

Barbour & Oliveira (1979) apresentam uma classificação para mineralizações de sulfetos no Vale do Ribeira segundo um modelo sedimentar. Para estes autores, a mineralização do Perau pode ser classificada como tipo "veio camada", com deposição de metais, na maioria sulfetos, simultaneamente com os sedimentos encaixantes. Após esta deposição e o processo diagenético, o metamorfismo modificou, *in situ*, os constituintes originais dos sedimentos, provocando deformações e migrações locais. Concluem que o chumbo e zinco, mais abundantes do que o cobre, e a prata em teor mais elevado do que o ouro, juntamente com a estrutura e litologias colocam a mineralização do Perau no grupo de jazidas sedimentares não vulcanogênicas (Hutchinson, 1973 *apud* Barbour & Oliveira, 1979).

R.B. Silva *et al.* (1982) relatam como características dessa mineralização: a natureza *strata-bound* (estratigraficamente controlada); capeamento por formação ferrífera; morfologia lenticular; pirita, galena e esfalerita como sendo os principais minerais sulfetados; prata como metal precioso mais importante; presença de estruturas de deslizamentos; presença de anfibolitos, anfibólio xistos e metadiabásios. Os autores relacionam a mineralização tipo Perau a uma origem exalativa, os fluidos hidrotermais mineralizantes estariam relacionados a salmouras conatas enriquecidas a partir da lixiviação por circulação convectiva nos sedimentos e fundo oceânico. O sistema estaria associado a terrenos com elevado gradiente geotermal, que pode ser expresso, segundo os autores, na forma de derrames e/ou intrusivas hipoabissais de composição básica. Segundo R.B. Silva *et al.* (1982) "eventualmente estes indícios de magmatismo estão ausentes, e a fonte de energia do sistema é tentativamente interpretada como sendo relacionada a um magmatismo profundo, ou mesmo, a um fluxo anormal de calor na região".

C.R. Silva *et al.* (1982) associam as mineralizações de Água Clara, Volta Grande, Pretinhos, Canoas e Perau a um mesmo nível estratigráfico na seqüência Perau. Os autores apresentam os seguintes controles:

- "mineralização definida no nível superior do pacote de rochas carbonáticas sobreposto aos quartzitos basais do Grupo Açungui na área;
- "posicionamento imediatamente abaixo de lentes de barita definidas no topo do referido pacote de rochas carbonáticas;"

- “níveis magnetíticos bandados sobrepostos à barita;”

C.R. Silva *et al.* (1982) classificam a mineralização tipo Perau como sedimentar exalativa com base em características tais como: presença de corpos anfibolíticos e de metacherts; rocha encaixante carbonática; chumbo e zinco como elementos predominantes no minério; presença de barita; nível magnetítico bandado junto à mineralização; natureza dos sedimentos originais e a associação deste tipo de seqüência às prováveis bacias restritas. Os autores não identificam rochas vulcânicas junto às mineralizações e atribuem esta ausência a dois fatores: jazimento distal e metamorfismo dos vulcanitos que impede o reconhecimento de sua natureza original.

MMAJ-JICA (1983) definem a mineralização do Perau como um depósito de chumbo estratiforme em rochas calcárias e carbonato xistos.

Lopes (1983) denomina, a partir da geologia da área da mina do Perau, a sub-bacia do Perau. O autor a descreve como uma sub-bacia estreita, alongada e com disposição geral N-S sobre os quartzitos caracterizados regionalmente. A sub-bacia é balizada a leste pelo anticlinal Anta Gorda, a norte pela falha do Perau, a oeste pelas falhas Guararema/Ribeirão Grande e a sul pela falha da Lancinha. O contexto geológico descrito cita uma faciologia com diversos níveis argilo-areno-carbonatados. Lopes (1983) apresenta os principais elementos metalogenéticos da mina do Perau, segundo uma ordenação espacial e temporal de seus metalotectos, definindo fases metalogenéticas com esses elementos.

Macedo (1986), em estudo geoquímico na mineralização do Perau, apresenta outras características de mineralização sedimentar-exalativa baseado na distribuição e zoneamento dos metais e enriquecimento de elementos na capa e lapa da mineralização.

Barbour *et al.* (1988) definem os traços gerais da mineralização tipo Perau, denominada pelos autores como nível estratigráfico Perau. As características são as seguintes:

- “Mineralização tipo *strata-bound*”
- “Atividade vulcânica representada por anfibolitos concordantes, constituindo uma porção menor das rochas locais, inserida em metassedimentos predominantes.”
- “Formação ferrífera bandada da fácies óxido, localizada na capa do nível mineralizado.”
- “Camada concordante de barita localizada na capa imediata ou associada ao nível mineralizado (Peraiu SW).”

- “Corpo de minério lenticular fazendo-se representar por um nível delgado que cobre grande extensão geográfica, ligando quase que continuamente as jazidas e ocorrências do Perau, Canoas, Pretinhos, Água Clara e Araçazeiro. Este nível localiza-se invariavelmente acima de quartzitos basais, inserindo-se estratigraficamente abaixo do nível Panelas.”
- “Zoneamento espacial entre o Pb e o Zn, em caráter local (Perau).”
- “Definição genética/tectônica: em seus traços gerais é um nível singenético, deformado e recristalizado tectonicamente, com transposições locais da camada mineralizada.”

Barbour & Macedo (1991) classificam o tipo Perau conforme um modelo exalativo distal em relação à fonte de mineralização, em trabalho que analisa a distribuição espacial dos elementos Cu, Pb, Zn e Ba. Segundo os autores, a mineralização do Perau encontra-se em uma bacia, na qual os depósitos tipo Perau conhecidos como Canoas, Pretinhos, Araçazeiro, Água Clara e Perau SW representam suas bordas N, NE, S, SW e W.

Segundo Daitx (1996), os depósitos tipo Perau correspondem às jazidas tipo *sedex* (sedimentar-exalativo), formadas por processos hidrotermais-exalativos, em fundo oceânico; assim resumindo, as características das mineralizações são:

- Controle litoestratigráfico, com as ocorrências posicionadas na porção meso-superior da unidade carbonática/pelítico-carbonática que compõe a seqüência intermediária do Complexo Perau;
- Disposição estratiforme ou *strata-bound* das mineralizações sulfetadas plumbo-zincíferas e/ou baritíferas;
- Associação entre as mineralizações sulfetadas (Pb-Zn-Ag-Fe) e corpos baritíferos.
- Formação ferrífera a magnetita na capa dos depósitos;
- Rochas enriquecidas em turmalina na capa e na lapa dos níveis mineralizados;
- Mineralogia sulfetada com galena, esfalerita, pirita, pirrotita e, ocasionalmente, calcopirita;
- Mineralogia da ganga incluindo quartzo, carbonatos, cálcio-silicatos, barita, e com menor freqüência, feldspato baritífero, turmalina e gahnita;
- Encaixantes carbonáticas/cálcio-silicáticas e biotita-sericita xistos, com alto teor em potássio;

- Zoneamento metálico e mineralógico lateral e vertical, marcados por variações nos teores de chumbo, zinco e bário e/ou conteúdo de galena, esfalerita, barita, pirita, pirrotita e sílica (*chert*);
- Os corpos de minério sofreram os mesmos eventos tectono-metamórficos que as suas encaixantes, apresentando estruturas bandadas, brechadas ou do tipo *stringer*;

Daitx (1997) destaca, entre os controles das mineralizações tipo Peralu, o controle litoestratigráfico marcado pela sequência carbonática/pelítico-carbonática do Complexo Peralu e o controle pela presença de formações ferríferas capeando as mineralizações. Além disso, o autor comenta os controles tectônicos sindeposicionais (Daitx, 1996), que são marcados pela associação entre as mineralizações e pequenas bacias tectônicas. Estas bacias caracterizam-se pela presença de conglomerados, rochas vulcanoclásticas felsíticas e camadas de sericita-xisto carbonoso. Entre os controles pós-deposicionais, comentados por Daitx (1997), são destacados os falhamentos de baixo ângulo ou subverticais, truncando e deslocando os corpos de minério por até centenas de metros.

2.2.2.3 Modelo descritivo adotado

Os depósitos tipo Peralu, como vistos na bibliografia, apresentam as seguintes características gerais:

- morfologia estratiforme com grande extensão lateral;
- capeamento de barita e formação ferrífera bandada;
- litologias encaixantes de origem sedimentar marinha;
- presença de rochas conglomeráticas, vulcanoclásticas e xistos carbonosos;
- presença de rochas ígneas intrusivas;
- mineralogia contendo galena, pirita, esfalerita, pirrotita e calcopirita;
- zoneamento químico vertical e horizontal.

Admite-se, neste trabalho, a classificação de Daitx (1996) que associa as mineralizações tipo Peralu ao tipo sedimentar exalativo (*sedex*).

As mineralizações estratiformes tipo Peralu, possivelmente, ocorreram num ambiente marinho, próximo à borda da bacia. A alternância da mineralização com as encaixantes indica uma origem singenética. A presença de rochas

conglomeráticas indica possível atividade tectônica contemporânea à sedimentação das rochas encaixantes. Devido à presença de rochas ígneas intrusivas e rochas vulcanoclásticas conclui-se que a área, provavelmente, tinha um fluxo térmico anormal, propiciando a energia para o sistema hidrotermal exalativo. Resumidamente trata-se de uma mineralização formada a partir de processos exalativos instalados no fundo de bacias de origem tectônica. Processos tectônicos sinsedimentares, possivelmente, possibilitaram a abertura de espaços onde os fluidos circularam e por onde as soluções mineralizantes chegaram ao assoalho marinho depositando os sulfetos metálicos.

Para a definição dos parâmetros de prospecção das mineralizações tipo Perau consideraram-se os dados levantados na bibliografia, com ênfase nos fatores condicionantes da mineralização, observados nas minas e depósitos da área. Também foram considerados aqueles fatores derivados dos diversos modelos genéticos apresentados na bibliografia. Estes parâmetros são apresentados a seguir:

- estratigraficamente, verificam-se que as ocorrências minerais estão associadas à Formação Perau, mais especificamente à seqüência carbonática/pelítico-carbonática (Daitx, 1996). O contato entre os quartzitos e os pelitos da Formação Perau deve ser considerado como um guia prospectivo importante. Além disso é possível estender o fator estratigráfico a níveis correlacionáveis à Formação Perau, presentes na região, como o Subgrupo Ribeira;
- litologicamente consideram-se mais favoráveis às mineralizações as rochas carbonáticas, como carbonato xistos com intercalações de mármore e também os dolomitos, e as litologias compostas pela alternância de mármore dolomítico e mica xistos. Xistos, filitos e rochas metabásicas também são consideradas, mas com menor importância. As rochas metabásicas são utilizadas como referência às fontes de calor no processo hidrotermal; os xistos e filitos podem caracterizar o ambiente marinho;
- uma característica e guia prospectivo importante deste tipo de mineralização são as formações ferríferas bandadas e níveis baritíferos que, em geral, capeiam o nível mineralizado estratiforme;

- é preferível a prospecção visando depósitos integrados de chumbo, zinco e cobre, neste caso, devido à possibilidade de viabilidade econômica ser maior. Deste modo, os dados geoquímicos de sedimentos de corrente, onde as anomalias de chumbo, zinco e cobre se referem a uma mesma bacia, são relativamente mais importantes que anomalias isoladas.
- embora o controle estrutural não seja preponderante neste tipo de mineralização, os principais depósitos situam-se nas proximidades de grandes falhamentos, como o Ribeirão Grande (Daitx, 1996), e estão alinhados numa direção NE-SW. Além disso, as características das rochas encaixantes indicam possivelmente um ambiente de bacias de origem tectônica controladas por falhamentos; em termos de controle estrutural considera-se a possibilidade, embora remota, de uma zona de *stockwork* a qual poderia ter se instalado em área de fraqueza crustal, fraturada. De maneira geral considera-se o controle estrutural, na mineralização tipo Perau, como um fator acessório, de maneira que não é um fator com peso considerável.

2.2.2.4 Parâmetros de prospecção para depósitos tipo Perau aplicados em geoprocessamento

Na aplicação dos parâmetros prospectivos, definidos para as mineralizações tipo Perau, alguns elementos fatuais não puderam ser utilizados, devido a incompatibilidade da escala de estudo utilizada em relação à escala de trabalho necessária para a detecção destes elementos. Como exemplo, pode-se citar a não utilização dos níveis baritíferos e formações ferríferas, que capeiam a mineralização, como guias prospectivos aplicáveis em geoprocessamento.

Baseando-se nos parâmetros definidos, anteriormente, para direcionar a prospecção regional de sulfetos maciços tipo Perau, são apresentados a seguir os parâmetros utilizados na determinação de áreas favoráveis à mineralização utilizando-se técnicas de geoprocessamento.

Foram considerados quatro fatores principais, os quais são denominados:

- Fator litológico
- Fator estratigráfico
- Fator geoquímico

- Fator estrutural

O fator litológico é composto pelas seguintes litologias:

Tabela 1: Fator litológico - Perau

Código	Descrição da litologia
CS	Carbonato xistos com intercalações de mármore
MX	Alternância de mármore dolomítico e micaxistos com tremolita
X	xistos com intercalações de quartzitos; AS/AF - metarritmitos e metargilitos
B	Metavulcânicas básicas e ácidas (fator térmico)

As abreviaturas correspondem aos códigos utilizados no mapa geológico em anexo.

O Fator estratigráfico é composto das seguintes unidades:

Tabela 2: Fator estratigráfico - Perau

Código	Descrição da litologia
vp	Formação Perau
v	Subgrupo Ribeira
	Contato quartzitos – pelitos na Formação Perau

O fator geoquímico é composto das seguintes anomalias:

Tabela 3: Fator geoquímico - Perau

Pb
Cu
Zn

O Fator estrutural é composto dos seguintes elementos:

Tabela 4: Fator estrutural - Perau

Lineamentos - falhas
Lineamentos magnéticos
Zonas de fraqueza estrutural - áreas de máxima isofrequência de fraturamento
Áreas de falha e fraturamento

2.2.3 Tipo Panelas

2.2.3.1 Observações genéticas e descritivas gerais

As mineralizações tipo Panelas correspondem a depósitos compostos por sulfetos filonares encaixados em rochas carbonáticas; não há ainda uma caracterização precisa sobre a origem dos fluidos hidrotermais que geraram estas mineralizações. Alguns autores definem estas mineralizações como epigenéticas remobilizadas, depositadas nos carbonatos, a partir de um estoque metálico prévio contido nos sedimentos e carbonatos (Damasceno, 1967; Fleischer, 1976; Odan *et al.*, 1978; R.B. Silva *et al.*, 1982 entre outros). Outro aspecto descrito na bibliografia é o da restrição da ocorrência das mineralizações a um determinado nível estratigráfico definindo as mineralizações tipo Panelas como possivelmente *strata-bound* em termos regionais (Barbour *et al.*, 1988 e 1990). Deste modo, descreve-se o tipo como mineralização de sulfetos de origem hidrotermal em carbonatos restritos a um determinado horizonte estratigráfico (*strata-bound*).

O termo hidrotermal significa água quente, e água quente pode ser originada por outros processos diferentes dos magmáticos. Podem ser processos meteóricos, ou conatos, ou processos de liberação de água de minerais durante o metamorfismo (Jensen & Bateman, 1981).

Segundo Pirajno (1992) um sistema hidrotermal pode ser definido como uma distribuição de fluidos quentes, circulando, lateralmente e verticalmente, a várias temperaturas e pressões, sob a superfície terrestre. Uma mineralização hidrotermal é formada pela circulação de fluidos, com temperaturas de 50^o a mais de 500 ^oC, que lixiviam, transportam e posteriormente precipitam seu conteúdo metálico em resposta a uma mudança nas condições físico-químicas. As rochas, nas quais o depósito é formado sofrem uma grande variação na gradação da intensidade de alteração hidrotermal que diminui com o aumento da distância das rochas em relação à fonte dos fluidos. A alteração ocorre devido à instabilidade mineral das rochas na presença dos fluidos hidrotermais. Os novos minerais são formados durante o processo de reequilíbrio do sistema.

Segundo Jensen & Bateman (1981), os depósitos que produzem reações fracas com a rocha hospedeira ou são formados por soluções que migraram a partir de uma rocha intrusiva distante ou não são derivados de qualquer rocha intrusiva.

Evans (1992) afirma que há pouca dúvida de que a maioria dos depósitos desta classe (depósitos de chumbo-zinco hospedados em carbonatos/epigenético) tenham sido formados a partir de soluções hidrotermais. Segundo Evans (1992), a definição da fonte destas soluções e seus constituintes metálicos é muito problemática. De modo geral, não há uma associação direta com intrusões ígneas que poderiam explicar a origem das fontes de fluidos.

Pirajno (1992) descreve as principais feições das mineralizações de metais básicos hospedadas em carbonatos. Entre estas feições destacam-se as seguintes: (1) ocorrem em rochas calcárias e dolomíticas; (2) a mineralização é geralmente *strata-bound* em filões; (3) os principais minerais são galena, esfalerita, pirita, marcassita e calcopirita, e os minerais de ganga são dolomita, calcita, fluorita, barita e quartzo; (5) não são associadas a rochas ígneas.

Segundo Pirajno (1992) na prospecção de sulfetos metálicos hospedados em carbonatos vários fatores devem ser considerados, tais como a ausência de atividade ígnea, a presença de hidrocarbonetos e/ou evaporitos, e o fato de que o minério, geralmente, ocorre na borda de uma bacia ou nos flancos de domos dentro da bacia. A fotointerpretação, em conjunto com a checagem de campo, busca selecionar áreas onde ocorrem falhamentos, lineamentos e outras estruturas de fraqueza que podem ter controlado a evolução da bacia ou ainda ter possibilitado maior permeabilidade.

2.2.3.2 Observações genéticas e descritivas - casos no Vale do Ribeira

Oliveira (1937) descreve a ocorrência de "Panellas de Brejaúvas" como um afloramento em calcário, constituído por limonita com galena argentífera e pirita. O autor comenta as intrusões graníticas nos calcários e atribui a ocorrência na região de "vieiros metallíferos" (filões mineralizados) aos granitos.

Knecht (1938) atribui aos granitos a fonte dos fluidos hidrotermais metalíferos, que propiciaram as mineralizações de chumbo nos calcários. O autor

cita as seguintes ocorrências: Santo Antônio de Itaoca, Pinheiros, Braço da Pescaria, Taquarussu, Barra das Criminosas e Itapirapuã.

Segundo Barbosa & Guimarães (1946), a primeira menção de chumbo no Vale do Ribeira data de 1858, quando o governo Imperial deu permissão ao Eng.º Luiz d'Ordan para explorar chumbo no município de Iporanga.

Barbosa & Guimarães (1946) descrevem as ocorrências de minério de chumbo no Vale do Ribeira conhecidas na época. Os autores concluem que há correlação entre as mineralizações e os granitos, e descrevem que as cúpulas dos granitos configuram-se como áreas de interesse para prospecção. Contudo, definem que as áreas de maior possibilidade de mineralização são aquelas representadas pelos calcários. Os autores definem a "Província metalogenética do Vale do Ribeira", a partir de todas as jazidas na região, como filiadas ao "magma granítico" e de idade Pré-Cambriana.

Bastian (1946), ao descrever as ocorrências conhecidas de chumbo no Lajeado, conclui que as mineralizações são do tipo epigenético, ou seja, formadas a partir de fluidos mineralizantes, relacionados ao magma granítico.

Barbosa (1955) admite a hipótese das soluções hidrotermais ascendentes como responsáveis pela mineralização da Mina de Furnas. Segundo este autor, a encaixante da jazida de Furnas é formada por uma camada de calcário marmorizado e as mineralizações parecem estar associadas às fraturas. Os xistos presentes na área não contêm mineralização, entretanto estes também foram atingidos pelas fraturas.

Segundo Barbosa (1955), as soluções mineralizantes devem ter tido filiação magmática, embora o mesmo autor afirme que não se conheçam rochas ígneas nas adjacências da mina, a não ser diques de diabásio. Os granitos afloram a alguns quilômetros da mina. Segundo o autor, as jazidas têm distribuição regional e o magma responsável deve ter tido também uma grande extensão.

Damasceno (1967) descreve a geologia da Mina do Paqueiro e entre os controles da mineralização cita como controle litológico: "...calcários escuros, bastante impuros...", e como controle estrutural: "...as fraturas de direção N60E, discordantes da estratificação dos calcários encaixantes, onde se alojaram os filões e que serviram de conduto às soluções mineralizantes.".

O autor atribui os espaços vazios, onde as soluções mineralizadoras percolaram, aos dobramentos regionais anteriores à mineralização. O autor também cita a proximidade dos filões do Paqueiro a uma pequena estrutura anticlinal.

Ainda segundo Damasceno (1967), o sistema de fraturas orientado predominantemente N40W teve importância nas mineralizações de Furnas e Panelas, o que não acontece no Paqueiro.

Damasceno (1967) calcula a idade dos granitos na região (coletado em Itapirapuã, km 339,5 da rodovia SP-44, entre Apiaí e Ribeira) pelo método Pb/Pb, em uma idade modelo de 510 Ma., o filito coletado na estrada do Ribeirão do Rocha forneceu idade K/Ar de 580 Ma., interpretado por Damasceno (1967), como a idade do último evento metamórfico. Damasceno (1967) calculou as idades Pb/Pb das mineralizações do Paqueiro, Furnas, Rocha e Bassetti, como da ordem de 1.100 Ma. Deste modo, o autor concluiu que não há sustentação para a hipótese de derivação hidrotermal das mineralizações a partir das intrusões graníticas. Considera, então, as seguintes possibilidades para explicar as mineralizações na região:

1. deposição singenética (sedimentos do Supergrupo Açungui), posterior remobilização e concentração de chumbo.
2. derivação das mineralizações de uma fonte desconhecida, talvez no embasamento ou na parte inferior do pacote metassedimentar (Supergrupo Açungui)

A hipótese 1, de Damasceno (1967), é detalhada na seguinte seqüência de eventos:

- deposição dos sedimentos do Supergrupo Açungui contendo traços de chumbo
- metamorfismo e intrusão dos granitos
- remobilização e concentração do chumbo

Melcher (1968), em trabalho que abrangeu todo o distrito mineral do Ribeira de Iguape, também comenta a possível contribuição das intrusões graníticas nas mineralizações. O autor observa que as ocorrências minerais no Distrito Mineral do Ribeira de Iguape agrupam-se numa área de forma lenticular, com largura

máxima de 20 km e extensão aproximada de 80 km. O alongamento maior desta área corresponde à direção regional das estruturas. Alguns depósitos (Itapirapuã, Mato Seco, Criminosas e Córrego Seco) situam-se em pequenos enclaves de metassedimentos carbonáticos nos granitos. O afloramento denominado Onças é o único cujas encaixantes são constituídas por xistos. Todas as jazidas estão encaixadas em calcários. Melcher (1968) descreve que os depósitos se alinham sobre algumas poucas faixas calcárias preferenciais. Melcher (1968) conclui que a presença de formações carbonáticas foi essencial para a deposição da carga das soluções hidrotermais, embora outros fatores metalogenéticos também tenham contribuído para determinar a posição dos agrupamentos de ocorrências e a localização exata de cada veio. O autor observa que nenhuma ocorrência mineral está afastada mais de 7 km de um corpo granítico.

Fleischer (1976), em trabalho que abrangeu as mineralizações de chumbo conhecidas no Brasil, foi o primeiro autor a definir as mineralizações filonares sulfetadas em carbonatos do Supergrupo Açungui como "tipo Painelas". O autor descreve a mineralização em termos gerais como: "Mineralização plumbo-argentífera filoniana em calcários de idade Pré-Cambriana Superior por remobilização de um estoque metálico pré-existente devido a diferentes processos mobilizadores", e também cita a mineralização do Rocha quando descreve esta tipologia.

Bettencourt *et al.* (1976), em trabalho de contribuição à metalogenia do sistema de Dobramentos Ribeira, confirmam a distribuição das mineralizações numa faixa lenticular. Segundo os autores, estas mineralizações não se afastam mais do que uma dezena de quilômetros de corpos graníticos, contudo não se sustenta a hipótese de derivação das mineralizações em relação aos granitos, devido à idade das galenas (Damasceno, 1970 e Cassedane, 1972) ser em torno de 1.100 Ma., enquanto os granitos têm idades de 620 Ma. a 540 Ma.

Odan *et al.* (1978) descrevem a geologia local da mina de Painelas, assim como a mineralização, além de uma possível interpretação genética. Segundo estes autores, a mina está numa estrutura sinclinal de direção N60E truncada pelo granito Itaoca. O pacote sedimentar que ocorre na área é composto por dois horizontes calcários separados por sericita xistos. O nível mineralizado corresponde ao calcário inferior. Segundo Odan *et al.* (1978) a mineralização é atravessada por corpos de granito; além disso, o batólito granítico Itaoca está

presente na área mineralizada. Embora, em geral, a mineralização seja concordante com o acamamento do calcário, existem corpos mineralizados discordantes.

No trabalho de Odan *et al.* (1978) destaca-se a apresentação da interpretação genética que defende a hipótese plutonista da mineralização de Panelas (mineralização derivada de soluções mineralizantes originárias da diferenciação magmática, depositada por metassomatismo nos calcários reativos). Os autores apresentam as limitações dessa interpretação, quando a confrontam com o contexto de outras mineralizações na região, como Rocha, Barrinha, Furnas, Lajeado, etc. Argumentos favoráveis à hipótese plutonista apresentados por Odan *et al.* (1978):

"...O fato dela ocorrer nas proximidades de uma intrusiva; o de preencher fraturas discordantes e mesmo ortogonais ao acamamento; o de se conformar freqüentemente a corpos intrusivos; o de que justamente a zona A, mais próxima do batólito e atravessada por inúmeros pequenos corpos intrusivos seja a mais ricamente mineralizada, são todos argumentos sugerindo fortemente que soluções mineralizantes derivadas de diferenciação magmática depositaram seu conteúdo metálico por metassomatismo dos calcários reativos."

Odan *et al.* (1978) discutem a relação deste caso com as mineralizações na área (Mina do Rocha, Barrinha, Furnas e Lajeado entre outras). Em todas essas mineralizações a rocha encaixante é o calcário. Os autores comentam que, em cada uma dessas mineralizações, há feições particulares, e enumeram as seguintes características:

- Rocha - filões transversais ao acamamento preenchendo fraturas;
- Barrinha - mineralização ocupando a charneira de uma anticlinal;
- Furnas - corpos inclinados em forma de charutos;
- Lajeado - charutos horizontais.

Segundo os autores, em nenhum destes depósitos a mineralização está relacionada a uma intrusão granítica, ou a uma auréola de metamorfismo de contato. Afirmam que o controle destas mineralizações é estrutural, sendo que os calcários continham um estoque metálico que foi remobilizado.

Desta forma, em Panelas, segundo Odan *et al.* (1978), é lógico considerar os metais como constituintes originais do sedimento, onde a deformação que gerou a estrutura sinclinal propiciou uma primeira concentração e, com as intrusões graníticas, houve redistribuição das mineralizações.

Chiodi *et al.* (1982) discutem a geologia e as mineralizações das minas do Rocha, Paqueiro e Barrinha, além de outras, na região destas minas. Os autores consideram a existência, na região, de três faixas definidas nas rochas carbonáticas, ao longo das quais se concentra a quase totalidade das mineralizações de chumbo conhecidas.

Estas faixas foram denominadas noroeste, central e sudeste. A faixa noroeste inclui, de SW para NE, as mineralizações da mina do Rocha (Fundãozinho, São Francisco, Basseti, Egara, Esperança, Matão, Matão I, Matão II, Matão III, e Matão IV), Pedra do Morcego, Onça II e Quarenta Oitavas. A faixa central engloba as ocorrências do Paqueiro, Pessegueiro, Bueno, Córrego do Eduardo e Diogo Lopes. A faixa sudeste contém as mineralizações da mina da Barrinha (locais Oito, Quatro e São Joaquim), Braz-Carumbé, Cecrisa, Costão, Laranjal, Barra Grande e Panelas. Segundo estes autores, em geral, estas mineralizações são filonares e ocupam planos de fraturamento em rochas carbonáticas.

Chiodi *et al.* (1982) apresentam como principais controles lito-estruturais destas mineralizações as rochas carbonáticas, ocupando sistemas preferenciais de fraturamento (mineralizações do Rocha), associando-se a zonas de falha (mineralizações do Paqueiro) e alinhando-se ao longo de contato tectônico entre rochas carbonáticas e terrígenas (mineralizações do Bueno, Diogo Lopes e Córrego do Eduardo) ou ainda em zona de falha de cavalgamento, disposta plano-axialmente às dobras (mineralização da Barrinha, local Quatro). Segundo os autores, na seqüência carbonática, a associação das mineralizações aos tipos dolomíticos quartzosos está relacionada à maior competência destas rochas, que permite a abertura de espaços pelo fraturamento, criando condições para deposição das soluções mineralizantes. Já as rochas carbonáticas calcíticas sofrem deformação plástica e não apresentam fraturamento.

Modificado de R.B. Silva *et al.*, 1982

Figura 5: Modelo genético interpretativo das mineralizações epigenéticas de chumbo do Vale do Ribeira

R.B. Silva *et al.* (1982) definem as características comuns destas mineralizações filonares como basicamente de sulfetos e óxidos de Pb, Zn, Ag e Cu, preenchendo zonas de falhas ou fraturas em calcários escuros (vide figura 5). Segundo os autores, esse tipo de mineralização é responsável por cerca de 74 indícios e ocorrências de Pb, Zn e Ag no distrito mineral do Vale do Ribeira, no Estado de São Paulo, englobando o jazimento de Furnas e as antigas lavras de Lajeado e Espírito Santo.

R.B. Silva *et al.* (1982) defendem que a fonte dos metais básicos para as mineralizações filonares não está relacionada exclusivamente aos granitos, mas provavelmente relaciona-se à presença dos metais nos metassedimentos. Entendem, desta maneira, as mineralizações como epigenéticas, com remobilização e concentração dos metais contidos nos metassedimentos do Supergrupo Açungui para zonas fraturadas e remobilização motivada pela interação entre orogênese, intrusões graníticas e águas meteóricas e conatas, que geram condições suficientes para a formação de soluções hidrotermais. Entre os fatos que justificam este pensamento, segundo R.B. Silva *et al.* (1982), destacam-se:

- presença de mineralizações singenéticas mais antigas em metassedimentos da região como no Perau;

- idade de 500 Ma (K/Ar), indicando a idade mínima do metamorfismo ou evento termal, para os granitos e idade modelo de 1.130 Ma (Pb/Pb) para o Chumbo (mineralização), de modo que os granitos não foram a fonte do chumbo;

- o fato das mineralizações estarem, em geral, sempre próximas às intrusivas graníticas e hospedadas em rochas carbonáticas, reforça o pensamento de que os leitos carbonáticos realmente são os portadores dos metais que foram posteriormente remobilizados;

Os autores (R.B. Silva, *et al.*, 1982) analisam os resultados da dosagem por absorção atômica de 40 amostras de rochas carbonáticas na área da Mina de Furnas. Os resultados apresentam um enriquecimento em Pb e Zn, de vários níveis de calcários da área, em relação ao clarke mundial. Os autores concluem que este enriquecimento está relacionado com o teor de argila e matéria orgânica, como observado por Odan *et al.* (1978), nas fácies mais escuras do calcário, na área da mineralização de Panelas.

Em estudo da mineralização da Barrinha, Barbour *et al.* (1984) observam que as três mineralizações da área (Mina Quatro, Cito e São Joaquim) localizam-se no topo da seqüência carbonática. Na área, a geologia, descrita em escala regional, é composta por seqüência carbonática inferior e seqüência terrígena superior. Segundo Barbour *et al.* (1984), as faixas calcárias aflorantes estão relacionadas às zonas axiais de anticlinais, que foram submetidas a esforços ao longo de seus eixos, provocando ondulação, redobramento, deslocamentos horizontais ao longo das falhas formadas em fase anterior, assim como, deformações locais que afetaram seletivamente o comportamento tectônico dos níveis sulfetados sinsedimentares.

Entre as características genéticas da mineralização estratiforme da Barrinha, citadas por Barbour *et al.* (1984), são destacadas as seguintes:

- associação direta dos níveis sulfetados com os dolomitos portadores de ankerita;

- condições euxínicas locais da bacia de deposição, ressaltadas pela presença de carbonatos (Ca, Mg e Fe), sulfetos (Fe, Pb, Cu e Zn) e matéria orgânica;

- Nucleação e associação dos sulfetos básicos com os níveis representados pelas fácies sulfeto (pirita) e carbonato (ankerita) de formações ferríferas sedimentares;

- pequena dimensão da bacia de deposição dos sulfetos, representando um sítio morfológico de dimensão máxima de algumas centenas de metros, propício à nucleação dos sulfetos básicos;

Barbour *et al.* (1984) recompõem as fácies sedimentares da Barrinha como pequenas bacias portadoras de camadas ou lentes de sulfetos sinsedimentares, alternadas com sedimentos pelito-carbonáticos.

Barbour *et al.* (1988) definem os traços gerais do modelo Panelas, e descrevem esses traços como pertencentes ao nível estratigráfico Panelas da seguinte maneira:

- “Como regra geral os corpos são *strata-bound*, limitando-se, mesmo em suas mineralizações epigenéticas, à rocha carbonática. Em caráter mais local as mineralizações configuram corpos estratiformes.”

- “Lentes predominantemente concordantes com as encaixantes (Barrinha, Laranjal, Cecrisa e Costão).”

- “Lentes e veios concordantes e representativamente discordantes (Rocha, Paqueiro, Pessegueiro, Bueno, Córrego do Eduardo, Diogo Lopes, Panelas, Furnas e Lajeado), definindo claramente corpos epigenéticos.”

- “Leitos carbonáticos enriquecidos singeneticamente em metais base em valores acima do *background*, a exemplo de Panelas e Furnas.”

- “As áreas de fechamento de veios concordantes e discordantes exibem incremento de pirita seguido de calcita fina a grosseiramente cristalizada. Exemplo na jazida de Panelas e Furnas.”

- “Alteração de paredes em veios que preenchem fraturas, exibindo silicificação comum e sericitização e dolomitização raras. Exemplos nas jazidas de Furnas, Rocha e Paqueiro.”

- Mineralizações intensas nas proximidades do contato de metacalcários capeados por filitos ou sericita-xistos. Exemplo do Rocha, Lajeado, Paqueiro e Bueno.”

- Definição genética/tectônica: em seus traços gerais é um nível singenético com superimposição predominantemente de processos epigenéticos tectono-hidrotermais.”

Barbour *et al.* (1990) apresentam, novamente, as características principais das mineralizações tipo Panelas, entre elas são destacadas as seguintes:

- corpos *strata-bound* limitando-se as rochas carbonáticas;
- lentes concordantes com as encaixantes no caso das mineralizações da Barrinha, Laranjal, Cecrisa e Costão;

- lentes e veios concordantes e representativamente discordantes definindo corpos epigenéticos nas mineralizações do Rocha, Paqueiro, Pessegueiro, Bueno, Córrego do Eduardo, Diogo Lopes, Panelas, Furnas e Lajeado;
- leitos carbonáticos enriquecidos singeneticamente em metais básicos com valores acima do *background*, a exemplo de Panelas;
- mineralização em zona de brechação
- mineralizações intensas nas proximidades e no contato, às vezes tectônico, de metacalcários capeados por filitos ou sericita xistos. Exemplos do Rocha, Lajeado, Paqueiro, Bueno, Córrego do Eduardo, Diogo Lopes e Onça.

Entre as conclusões apresentadas por Barbour *et al.* (1990), destaca-se a justificativa das diferenças entre as mineralizações tipo Panelas, devido aos processos de litificação/diagênese superimpostos a um único processo genético primário. Barbour *et al.* (1990) definem o tipo Panelas como uma mineralização do tipo singenético com superimposição de processos epigenéticos tectono/hidrotermais. Além disso, os autores defendem as condições de deposição extensiva dos sulfetos, em um ambiente tectonicamente ativo, formado por um sistema exalativo sedimentar sindeposicional.

Tassinari *et al.* (1990), segundo um estudo isotópico de Pb e Sr nas mineralizações tipo Panelas, concluem que a origem das soluções mineralizantes é claramente crustal, sendo elas formadas por processos de remobilização a partir de fontes crustais diversas, provocados por ação dos eventos metamórficos regionais entre 1,4 e 1,1 Ba.

Hasui *et al.* (1992) descrevem as famílias de juntas no interior da mina de Furnas e destacam que todas têm altos mergulhos. Os autores descrevem os corpos de minério como charutos de extensão decamétrica alojados na intersecção das fraturas com o pacote carbonático, e estas fraturas são descritas em duas famílias, uma de direção NE-SW e outra NW-SE as quais se configuram como famílias de partição. Segundo Hasui *et al.* (1992) esta descrição corrobora a qualificação distensiva dada às juntas, e indica que a mineralização (tipo filonar) foi tardia no processo de deformação.

Daitx *et al.* (1995), em estudo da gênese da jazida de Furnas, fazem a caracterização desta mineralização como hidrotermal a partir dos seguintes parâmetros:

- "posicionamento estrutural discordante dos corpos sulfetados em relação às rochas carbonáticas encaixantes, mostrando a natureza epigenética da mineralização
- existência de halos de alteração hidrotermal nas rochas encaixantes, marcados por mudanças químicas e mineralógicas, ao longo das paredes dos filões e junto a vênulas, evidenciando a interação dos fluidos mineralizadores com as rochas carbonáticas;
- o zoneamento dos filões sulfetados, resultado da interação entre o fluido mineralizador e as rochas encaixantes;
- o estabelecimento de uma temperatura máxima de 350°C para a cristalização da paragénese (pirita-arsenopirita), com base no conteúdo atômico de arsênio da arsenopirita;
- os valores das razões Co/Ni em piritas, similares ao de outras jazidas hidrotermais; e,
- a composição dos fluidos presentes em inclusões no quartzo e esfalerita associados à mineralização, indicando a presença de H₂O, CO₂, CH₄ e de íons de Na, Ca, Mg e/ou Fe."

Daitx *et al.* (1995) não definem a origem do fluido hidrotermal responsável pela formação das mineralizações sulfetadas; contudo, segundo os autores, os dados isotópicos, embora inconclusivos, apontam para uma interação com as rochas carbonáticas e não excluem ou favorecem a origem magmática. Descrevem ainda que a disposição dos filões ao longo de estruturas geradas durante o principal evento tectono-metamórfico que atingiu a região, coloca as mineralizações como formadas na fase tardia deste episódio, sugerindo que os fluidos mineralizadores possam ter se gerado por desidratação e decarbonatação metamórfica das porções profundas da pilha metassedimentar, particularmente de seus pacotes clásticos.

A classificação da jazida de Furnas segundo Daitx *et al.* (1995) é a de um depósito hidrotermal de média temperatura (350°C), de origem metamorfogênica, formado a partir de soluções salinas levemente ácidas e oxidantes.

2.2.3.3 Modelo descritivo adotado

Os dados apresentados anteriormente, a respeito da tipologia e aspectos genéticos das mineralizações tipo Painéis, indicam uma grande variedade de opiniões e conclusões. As discussões estão principalmente relacionadas à origem

dos fluidos mineralizantes, ao papel das intrusões graníticas no processo de mineralização e à origem das mineralizações: singenéticas ou epigenéticas.

As mineralizações tipo Panelas podem ser descritas, de maneira geral, segundo as seguintes características:

- morfologia filonar;
- associação com rochas carbonáticas e rochas dolomítico-quartzosas;
- caracteristicamente *strata-bound*;
- mineralizações associadas aos sistemas de fraturamento, às zonas de falha, aos contatos tectônicos entre litologias terrígenas e carbonáticas e às zonas de charneira de dobras.

Define-se a mineralização tipo Panelas como uma mineralização filonar de origem hidrotermal, mesotermal, hospedada em rochas carbonáticas. As mineralizações são predominantemente epigenéticas. Uma explicação para a origem da mineralização tipo Panelas seria a remobilização hidrotermal do conteúdo metálico contido nos sedimentos terrígenos e carbonáticos.

A definição dos parâmetros exploratórios considerou as evidências levantadas pelos trabalhos anteriores. Nesses trabalhos, estas evidências foram utilizadas como argumento na defesa das diferentes hipóteses genéticas. Entretanto, os parâmetros de prospecção não foram definidos, considerando estritamente uma única hipótese genética, lembrando-se que várias questões acerca do modelo de mineralização tipo Panelas ainda permanecem sem resposta. A definição dos parâmetros considerou tanto os elementos fatuais, quanto os elementos lógicos derivados das discussões genéticas e que, na visão deste autor, eram caracterizados pela coerência com os argumentos e evidências apresentados. Estes parâmetros são apresentados a seguir:

- fator litológico envolvendo rochas carbonáticas como dolomitos e calcários. As rochas dolomíticas configuram-se como fator importante devido a sua maior competência em relação às rochas carbonáticas, esta maior competência originou aberturas, segundo esforços tectônicos, gerando espaços vazios onde os fluidos mineralizantes percolaram e depositaram seu conteúdo metálico.
- o fator estratigráfico envolve, principalmente, as litologias carbonáticas do Subgrupo Lajeado. Contudo não se considera este fator como restritivo, mas

sim um fator de maior peso em relação às outras unidades estratigráficas consideradas como a Formação Itaiacoca e a Formação Água Clara.

- o fator geoquímico envolve anomalias de chumbo, zinco e cobre, definidas a partir de levantamentos geoquímicos regionais de sedimento de corrente. As anomalias conjuntas de Pb-Zn-Cu são consideradas como mais importantes do que as anomalias de um único elemento;
- o fator estrutural envolve lineamentos, como as falhas, e também os eixos de sinclinais e anticlinais (zonas de charneira), já que as mineralizações, por vezes, ocorrem em preenchimento de fraturas derivadas de esforços tectônicos. Neste sentido também procura-se utilizar as zonas de maior frequência de fraturamento. Considera-se que o fator estrutural tem importância, relativa, menor do que os outros fatores devido à escala de trabalho regional. Notou-se que estas mineralizações filonares têm forte controle estrutural; contudo isto é verificado em escala de detalhe e esta característica dificilmente pode ser extrapolada para uma escala regional com o mesmo nível de significância.

2.2.3.4 Parâmetros de prospecção para depósitos tipo Panelas aplicados em geoprocessamento

Na definição destes parâmetros prospectivos, consideraram-se também as características da análise feita a partir de sistemas de informação geográfica (SIG). Uma característica relevante é a necessidade de expressão espacial das informações, tanto relacionada à escala de trabalho, quanto à disposição das informações. Por exemplo, determinadas associações mineralógicas, que poderiam ser importantes no rastreamento das mineralizações, não são utilizadas devido à falta de mapeamento sistemático deste tipo de dado, assim como acontece com os controles estruturais que também ainda não foram definidos a partir de levantamentos sistemáticos.

Baseando-se nos dados apresentados e procurando as principais feições geológicas comuns às mineralizações do tipo Panelas, definem-se os principais parâmetros de prospecção regional de sulfetos filonares, tipo Panelas, considerando a utilização destes parâmetros na análise por geoprocessamento.

De modo geral foram considerados quatro fatores principais, os quais são denominados:

- Fator litológico
- Fator estratigráfico
- Fator geoquímico
- Fator estrutural

O Fator litológico é composto das seguintes litologias:

Tabela 5: Fator litológico - Panelas

Código	Descrição da litologia
2m/4m	mármore
CS	rochas cálcio-silicáticas, carbonato xistos com intercalações de mármore
M	mármore dolomítico
MX	alternância de mármore dolomítico e micaxistos com tremolita contato entre rochas carbonáticas (M) e terrígenas (X)

Embora alguns autores tenham citado a importância dos granitos no processo mineralizante ressaltando a proximidade dos corpos graníticos em relação às ocorrências (Melcher, 1968), os granitos não foram utilizados como um fator térmico na análise de favorabilidade. Ao se correlacionar espacialmente as ocorrências do tipo Pannels em função da distância dos granitos concluiu-se que não há correlação espacial, segundo uma análise em superfície, entre estes elementos como pode ser verificado no gráfico apresentado na figura 6.

Figura 6: Correlação entre ocorrências minerais do tipo Pannels e distância dos granitos

O Fator estratigráfico é composto das seguintes unidades:

Tabela 6: Fator estratigráfico - Painelas

Código	Descrição da unidade estratigráfica
vl	Subgrupo Lajeado
i	Grupo Itaiacoca
ac	Água Clara

O Fator geoquímico é composto das seguintes anomalias:

Tabela 7: Fator geoquímico - Painelas

Pb
Zn
Cu

O Fator estrutural é composto dos seguintes elementos:

Tabela 8: Fator estrutural - Painelas

Lineamentos - eixos de dobras
Zonas de máxima frequência de fraturamento
Lineamentos – falhas
Lineamentos magnéticos

2.3 Análise de favorabilidade por geoprocessamento - casos de aplicação

Apresentam-se casos de aplicação de técnicas de geoprocessamento na prospecção mineral no Vale do Ribeira.

Macedo (1996) aplicou a técnica de índices somativos (discutida nos próximos capítulos) na análise metalogenética da folhas Cerro Azul e Apiaí (1:100.000). Considerou, na análise, dois modelos de depósitos minerais, o modelo Perau e o modelo Rocha (Painelas). O autor utilizou dados geoquímicos de sedimentos de corrente, dados da geologia da área e ocorrências minerais.

Entre as limitações dos dados, o autor cita as seguintes:

- utilização das anomalias geoquímicas calculadas por Hama & Algarte (1986) sem a utilização de outros levantamentos geoquímicos feitos na área;

- limitações da amostragem do projeto Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.*, 1978);
- não utilização de dados geofísicos;
- utilização limitada dos dados estruturais e tectônicos.

Macedo (1996) definiu os seguintes fatores para utilização na análise dos modelos Perau e Panelas (Rocha):

Modelo Perau

- fator litológico: litologias associadas a seqüências vulcânicas e sedimentares marinhas à elas associadas (metavulcânicas ácidas e básicas e rochas cálcio-silicáticas);
- fator geoquímico: anomalias de Cu, Pb e Zn;
- fator estrutural: proximidade de falhamentos.

Modelo Panelas (Rocha)

- fator litológico: mármore, granitos e granitóides;
- fator geoquímico: anomalias de Cu, Pb e Zn;
- fator estrutural: proximidade de falhamentos;
- fator térmico e químico: proximidade dos contatos de granitos.

Perrotta (1996) utilizou dados geológicos, geoquímicos e de sensores remotos para estimar o potencial aurífero numa região no vale do Ribeira, nordeste da cidade de Iporanga, numa área de aproximadamente 2.800 km².

A partir dos diversos mapas temáticos foram feitas classificações, segundo a importância da área, em relação ao modelo conceitual utilizado por Perrotta (1996). Segundo o modelo de indexação de camadas (apresentado nos próximos capítulos), correlacionaram-se as ocorrências minerais, conhecidas na área de estudo, com dados em mapas temáticos, procurando-se definir os controles geológicos, assim como os controles geoquímicos e geofísicos relacionados com as mineralizações, ponderando-se as evidências; este método é também chamado de conduzido pelo modelo. Perrotta também utilizou ponderadores baseados em pesos de evidência (método Bayesiano), ou seja, uma aproximação probabilística da análise de favorabilidade na qual as probabilidades são medidas

através de proporções entre as áreas dos mapas de evidência e as áreas das ocorrências. Segundo a autora, este método é mais objetivo pois evita a escolha subjetiva de pesos e evidências favoráveis como no modelo de índices; este método é também chamado de conduzido pelo dados (data driven).

Perrota (1996) tratou das seguinte maneira as camadas ou fatores:

- Fator litológico - gerou-se um mapa simplificado com 5 classes de favorabilidade crescente. Esta camada foi apresentada como um único nível de informação, onde foram apresentadas as litologias presentes no mapa geológico e mais as derivadas da interpretação geofísica.
- Fator geoquímico - Perrota (1996) hierarquizou os elementos correlacionados com a mineralização e gerou um mapa onde as classes foram definidas a partir da adição sucessiva dos elementos analisados. Além disso considerou as bacias não amostradas e as bacias não anômalas.
- Fator estrutural - foram analisados os mapas de isodistâncias das zonas de cisalhamento transcorrentes e falhas normais, lineamento rúptil-dúcteis e fraturas e lineamento magnéticos. A partir da correlação das ocorrências com estes corredores separaram-se as classes de maior importância.

Rostirolla (1997) discute aspectos da avaliação de favorabilidade numa área no Vale do Ribeira, numa sequência que compreende a Formação Itaiacoca. As evidências utilizadas nestes trabalho foram tratadas utilizando-se lógica booleana. A partir do modelo do depósito, o autor definiu os ponderadores com base na frequência de ocorrência entre as evidências e os depósitos conhecidos, para isso, o autor aplica a ponderação Bayesiana (ponderação baseada em probabilidade) e a ponderação multivariada (baseada na análise de principais componentes).

O autor apresenta os seguintes metalotectos na definição da favorabilidade de Pb-Zn:

- falhas de cavalgamento, falhas de empurrão e transcorrentes;
- mármores basais da Fm. Itaiacoca;
- proximidade do contato tectônico entre o complexo pelito-carbonático da Fm. Itaiacoca e xistos do Grupo Setuva.

São apresentadas as seguintes variáveis utilizadas na ponderação:

- mapa de depósitos e ocorrências;

- estruturas da fase de cavalgamento;
- falhas da fase de empurrão;
- lentes carbonática com metadolarenitos;
- metapelitos com intervalos carbonosos;
- mapa aerogeofísico canal Contagem Total;
- superfície de tendência de 3ª ordem dos dados geoquímicos de solo.

Braghin (1998) aplica técnicas de análise metalogenética por geoprocessamento utilizando as lógicas booleana e *fuzzy* (discutidas nos próximos capítulos). O autor definiu um modelo prospectivo para mineralizações de chumbo e cobre em uma área de estudo no Vale do Ribeira (Folha Pilar do Sul, SF-23-Y-C-IV-4) com as seguintes características:

- rochas pertencentes ao grupo Açungui;
- áreas representativas de anomalias geoquímicas para Cu e Pb;
- áreas que tenham alguma caracterização radiométrica indicativa de hidrotermalismo correspondentes às rochas de interesse com altos valores de K e U;
- áreas com pouca susceptibilidade magnética.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada baseou-se no desenvolvimento de modelos de prospecção aplicáveis segundo um banco de dados espaciais digitais e técnicas de geoprocessamento. A base dessa metodologia é a ponderação dos parâmetros de prospecção, segundo sua importância relativa e absoluta, de modo que a associação espacial destes parâmetros reflita as opiniões de peritos acerca da possibilidade de uma determinada área conter mineralização.

A definição e a ponderação dos parâmetros prospectivos são baseadas nos modelos genéticos, aplicáveis à área de estudo e ao bem mineral de interesse, além disso, envolvem parâmetros fatuais que são exclusivamente baseados nas observações analíticas e de campo.

3.1 Sistemas de Informação Geográfica

3.1.1 Definições

São definidos alguns termos utilizados neste trabalho visando justificar aspectos da metodologia relacionados a análise dos dados e mostrar a necessidade de utilização destas metodologias na definição de mapas de favorabilidade. Entre os termos apresentados e discutidos estão: sistema de informação geográfica, geoprocessamento e sistemas especialistas.

Segundo Maguire *et al.* (1993), entre as dificuldades apresentadas na definição do que é um sistema de informação geográfica (SIG) relacionam-se as seguintes: trata-se de tecnologia recente, deste modo, falta debate acadêmico na definição do enfoque central das atividades envolvidas em um SIG, além disso, a diversidade de aplicações dificulta a definição exata do que trata um SIG.

Para Maguire *et al.* (1993), estritamente, um SIG inclui tanto um sistema de informação baseado em computador, quanto um sistema manual. Segundo os autores, na definição de um SIG pode-se enfatizar o elemento geográfico. A utilização deste elemento define a diferença básica entre um SIG e outros sistemas de informação. Os termos georreferenciado, geográfico e espacial são

freqüentemente utilizados, de maneira intercambiável, para se referir a elementos geográficos.

Busca-se a definição de SIG com ênfase no aspecto espacial das informações, em detrimento de outros aspectos, muito importantes, mas não fundamentais. Entre estes outros aspectos, cita-se: o banco de dados, a manipulação e análise dos dados e o suporte à decisão.

Segundo Aronoff (1989), um SIG é qualquer conjunto de procedimentos, manuais ou baseados em computador, utilizados para guardar e manipular dados referenciados geograficamente.

Burroughs (1987) define um SIG como um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real.

Bedell (1994) define SIG de uma maneira bastante simples como qualquer sistema que trata de dados espaciais. O autor detalha a definição da seguinte maneira: "uma forma particular de sistema de informação aplicada a dados geográficos; um sistema é um grupo de entes conectados e atividades que interagem para um propósito comum; um sistema de informação é um conjunto de processos executados em dados brutos, para produzir informação que será útil na tomada de decisões; um sistema de informações geográficas utiliza dados referenciados geograficamente assim como dados não espaciais e inclui operações que permitem análise espacial."

Segundo Bonham-Carter (1994), um sistema de informação geográfica é um sistema computadorizado para manipular dados espaciais. A palavra geográfica implica que a localização dos dados é conhecida ou pode ser calculada em termos de coordenadas geográficas (latitude, longitude). A palavra informação implica que num SIG pode-se ter tanto mapas e imagens quanto dados estatísticos, tabelas e textos. A palavra sistema implica que um SIG é composto de muitos componentes, interrelacionados e ligados, com diferentes funções. Deste modo, Bonham-Carter (1994), define as seguintes atividades, como as principais relacionadas a aplicação de um SIG: organização, visualização, indagação, combinação, análise e predição.

Neste trabalho, define-se sistema de informação geográfica como um sistema para organização, padronização, indagação, análise e produção

cartográfica de dados espaciais e seus atributos, com coordenadas conhecidas ou arbitrárias.

O geoprocessamento, segundo Rodrigues (1990), pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento, e uso de sistemas que as utilizam. As áreas que se servem das tecnologias de geoprocessamento têm em comum, o interesse por entes de expressão espacial, sua localização, ou distribuição, ou ainda a distribuição espacial de seus atributos.

Define-se geoprocessamento como as atividades que envolvem a utilização de sistemas para manipulação de informações espaciais com coordenadas de sistemas conhecidos ou sistemas definidos arbitrariamente.

A utilização destas tecnologias é justificada pela facilidade de entrada e recuperação de dados no sistema, que não seria possível se este não fosse digital, além disso, metodologias de análise recentes tornaram-se passíveis de aplicação somente com a popularização dos computadores pessoais de baixo custo, das técnicas de geoprocessamento e, sobretudo, dos programas e aplicativos

3.1.2 Análise em sistemas de informação geográfica

Um SIG é concebido como uma caixa de ferramentas de análise de mapas, mais do que um sistema de perguntas (inferência). Para a emulação de um sistema especialista como o Prospector (Stanford Research Institute, Duda, 1978), ferramentas tais como as lógica Booleana e *Fuzzy* podem ser incorporadas ou em, alguns casos, já fazem parte do pacote comercial de um SIG.

Segundo Katz (1991) um sistema especialista é aquele que simula um perito (especialista). Um especialista caracteriza-se por definir corretamente uma resposta, acerca de um problema, com base em informações incompletas. Os sistemas especialistas aplicam regras, fornecidas por um perito, às respostas fornecidas pelo usuário durante o processo. Estas regras são conhecidas como base de conhecimentos (*knowledge base*). Assim que o usuário responde às questões, o programa utiliza estas respostas para fazer outras questões relevantes até a resposta final ser definida. Um sistema especialista geralmente é

composto de três partes: sistema de perguntas, base de conhecimentos e uma interface com o usuário. O sistema de perguntas é um programa de computador para processar as regras. A base de conhecimento utilizada, no caso de um sistema especialista, é a de um conjunto de regras compiladas por vários especialistas e armazenadas num banco de dados. A utilização deste sistema parte de uma interface que consiste de perguntas feitas ao usuário. As respostas são processadas em uma rede de inferência do sistema que foi desenvolvida a partir da experiência de peritos. A base de conhecimentos no caso de um SIG pode ser armazenada em arquivos correspondentes a planos de informação; a manipulação adequada destes planos de informação gera informações relativas à favorabilidade espacial de ocorrências minerais, além de permitir a quantificação destes dados; os procedimentos utilizados podem ser automatizados e aplicados em outros conjuntos de dados.

Atualmente os Sistemas de Informação Geográfica são bastante atraentes para se utilizar em análise de favorabilidade mineral devido à facilidade das interfaces dos sistemas, presença de diferentes métodos de análise e atualização constante dos programas além da possibilidade de se utilizar as redes de inferência desenvolvidas em sistemas especialistas aplicando-as nos SIGs com mapas. Segundo Bonham-Carter (1994), um SIG pode proporcionar várias ferramentas diferentes para auxiliar no processo de mapeamento de potencial mineral como: construção de uma base de dados, quantificação e extração de elementos dos mapas que evidenciam mineralizações, combinação de evidências com modelos matemáticos, visualização dos resultados e consulta interativa dos resultados.

Segundo Bonham-Carter (1994), a análise num SIG, além de ser conduzida visualmente também pode ser conduzida por: medidas, cálculos estatísticos, regressões e outras operações. Um exemplo de análise seria a tabulação cruzada entre ocorrências minerais e um mapa litológico, verificando quantas ocorrências estão presentes em determinadas litologias. Outra possibilidade seria a de se calcular um resumo estatístico, para se definir qual a média e desvio padrão de um levantamento aerogamaespectrométrico, no canal do urânio, de uma determinada formação geológica. O processo de análise, muitas vezes, não é feito em um único programa de computador, mas requer a

exportação dos dados para outros programas. A análise, tanto pode ser feita a partir dos mapas, ou também, pode ser organizada a partir de tabelas, ou seja, pode-se proceder a análise tanto dos dados espaciais quanto dos atributos desses dados espaciais.

A definição de mapas de favorabilidade envolve a análise de dados espaciais visando a predição da ocorrência de mineralizações. A predição envolve utilização de ferramentas num SIG que executam a "álgebra de mapas", ou seja a possibilidade de se processar operações utilizando mapas. A predição muitas vezes pode ser utilizada para se testar a aplicação de um modelo. O modelo pode ser exclusivamente aquele que diz respeito às operações de álgebra de mapas a serem utilizadas, ou ainda, pode-se tratar do modelo que definiu os mapas a serem utilizados e a importância relativa e absoluta de cada mapa.

Segundo Bonham-Carter (1994), na aplicação de um SIG no mapeamento de potencial mineral, o modelo de depósito é importante tanto na seleção quanto na derivação (separação de classes de interesse) de mapas que representariam os melhores metalotectos do modelo em questão, além disso, os modelos podem auxiliar na definição dos pesos de cada mapa segundo sua importância.

Para análise de favorabilidade mineral podem-se utilizar dois métodos de quantificação: o conduzido pelo conhecimento (*knowledge-driven*) e o conduzido pelos dados (*data-driven*) (Bonham-Carter, 1994). O método conduzido pelos dados caracteriza-se pela utilização de ocorrências minerais para, por indução, definir zonas favoráveis à mineralização relacionadas às diversas características da área, como anomalias geoquímicas, anomalias geofísicas e feições litológicas e geológicas. O método conduzido pelo conhecimento utiliza um modelo de mineralização para a área de estudo e por dedução, a partir dos diversos dados, define zonas de favorabilidade à ocorrência das mineralizações associadas ao modelo utilizado.

Entre as limitações das duas aproximações apresentadas destacam-se as seguintes: no caso do método conduzido pelos dados, as limitações referem-se à quantidade de ocorrências minerais conhecidas na área e sua distribuição espacial, que pode refletir a heterogeneidade do conhecimento na área de estudo, gerando desvios nos resultados das análises; no caso do método conduzido pelo conhecimento, há dificuldades com os dados espaciais que não têm expressão

mapeável regionalmente, como por exemplo, associações mineralógicas específicas ou padrões de alteração de rocha, os quais dificilmente estão disponíveis em mapeamentos sistemáticos como ocorre com os mapas geológicos.

O método conduzido pelo conhecimento pode ser aplicado através de diferentes modelos de análise; entre eles destacam-se o modelo lógico booleano e o modelo de índices somativos (ou índices ponderados).

3.1.2.1 Método lógico booleano

No método booleano cada mapa pode ser considerado como um nível de evidência. As evidências apresentadas em cada mapa (níveis) são reduzidas a dois valores, (1) quando a proposição é satisfeita (verdadeira) ou (0) quando a proposição não é satisfeita (falsa). Vários níveis podem ser combinados para elaborar uma hipótese ou proposição. A combinação dos diversos mapas (níveis) pode ser feita a partir dos operadores lógicos booleanos, entre eles, destacam-se os seguintes: intersecção (AND), união (OR), exclusão (NOT), exclusão comum a todos os conjuntos (XOR).

O operador AND considera apenas a intersecção dos conjuntos como verdadeira. O operador OR considera a união de todos os conjuntos como verdadeira. O operador NOT corresponde a uma operação de exclusão. O operador XOR apresenta um resultado verdadeiro somente se A e B tiverem valores diferentes, de outra maneira o resultado é falso.

A figura 7 mostra graficamente os operadores, utilizando o diagrama de Venn.

Figura 7: Operadores lógicos booleanos

As operações AND e OR podem ser definidas da seguinte maneira:

- AND: intersecção de A e B, $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ e } x \in B\}$
- OR: união de A e B, $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ ou } x \in B\}$

3.1.2.2 Método de índices

O aspecto positivo do método booleano é a simplicidade. Contudo este método não dá a importância devida a cada critério que está sendo combinado. A execução de uma análise mais detalhada requer a ponderação das evidências baseada na sua significância.

O tipo mais simples de índices ponderados (Bonham-Carter, 1994) é aquele cujos mapas de entrada são binários e cada mapa tem um único fator de ponderação. Entretanto, quando utilizam-se mapas multi-classes, a cada classe, em todos os mapas, é dada uma pontuação diferente, permitindo um sistema de ponderação mais flexível.

Segundo a metodologia baseada em Bonham-Carter (1994), no caso dos mapas binários, cada mapa é simplesmente multiplicado pelo seu fator de ponderação, somado com todos os mapas que estão sendo combinados e normalizado pela soma dos pesos. O resultado é um valor que varia entre 0 e 1, que pode ser classificado em intervalos apropriados para mapeamento. Em qualquer localização, a pontuação de saída S é definida como:

$$S = \frac{\sum_i^n W_i \cdot \text{classe}(\text{Mapa } i)}{\sum_i^n W_i}$$

onde: W_i = peso do i-ésimo mapa

Classe (Mapa i) = é 1 para a presença ou 0 para a ausência da condição binária.

No caso dos mapas multiclasse, para as classes que ocorrem em cada mapa de entrada, são definidas diferentes pontuações, assim como os mapas recebem diferentes pesos (Bonham-Carter, 1994).

É conveniente definir pontuações numa tabela de atributos para cada mapa de entrada.

A média da pontuação é então definida como:

$$S = \frac{\sum_i^n S_{ij} \cdot W_i}{\sum_i^n W_i}$$

onde: S é a pontuação ponderada para um objeto (polígono, *pixel*)

W_i é o peso para o i -ésimo mapa de entrada

S_{ij} é a pontuação para a classe j -ésima do i -ésimo mapa; o valor de j depende da classe de cada diferente ocorrência.

A técnica, também chamada de índices somativos, é caracterizada pela definição prévia da importância relativa de cada dado espacial (e seus respectivos atributos). Esta importância relativa pode ser resumida na expressão de pesos diferentes para cada mapa temático. A combinação dos mapas de diferentes pesos objetiva gerar uma saída em que se definem várias classes, os maiores valores indicarão maior número de condições satisfeitas e os menores valores as áreas de menor probabilidade de se satisfazer as condições do modelo utilizado.

3.1.2.3 Método lógico *fuzzy*

Segundo Bonham-Carter (1994), enquanto na teoria clássica a pertinência de um conjunto é definida como verdadeira ou falsa, 1 ou 0, a pertinência *fuzzy* é expressa numa escala contínua que varia de 1 (inteiramente pertinente/associado) a 0 (inteiramente não pertinente/associado). Desta maneira, Bonham-Carter (1994) exemplifica a utilização do método lógico *Fuzzy* a partir do teor de arsênio (As) nos sedimentos de um lago. Este teor pode ser definido de acordo com o grau de pertinência num conjunto chamado "Anomalia de arsênio". Valores muito altos de arsênio seriam então definitivamente anômalos com um valor de pertinência *fuzzy* igual a 1, valores muito baixos teriam uma pertinência *fuzzy* de valor igual a zero. Entre esses extremos há uma escala de valores possíveis. Tal função poderia ser analiticamente descrita como:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < 50 \\ \frac{x-50}{200} & 50 < x < 250 \\ 1 & x > 250 \end{cases}$$

onde x é concentração de Arsênio, e $\mu(x)$ é função de pertinência *fuzzy*. Todo valor de x associado com o valor de $\mu(x)$, e ordenados em pares $[x, \mu(x)]$ são conhecidos como um conjunto de pertinência *fuzzy*. O formato da função não precisa ser necessariamente linear, podendo ser desenvolvida analiticamente ou arbitrariamente de acordo com o problema estudado. A figura 8 mostra exemplos de funções de pertinência.

Figura 8: Funções de pertinência *fuzzy*.

Dados dois ou mais mapas com uma função de pertinência *fuzzy* para um mesmo conjunto, podem-se empregar vários operadores diferentes.

Dentre os operadores possíveis os chamados operadores *fuzzy* AND e *fuzzy* OR caracterizam-se por serem equivalentes às operações AND e OR booleanas.

O operador *fuzzy* AND caracteriza-se por ser conservador, admitindo os menores valores numa combinação; já o operador *fuzzy* OR caracteriza-se por admitir os maiores valores para qualquer conjunto de entrada.

A operação algébrica *fuzzy* de soma caracteriza-se por “reforçar” uma evidência, contudo a soma das evidências é automaticamente limitada pelo valor máximo de 1, o qual nunca pode ser excedido.

A operação algébrica *fuzzy* de produto caracteriza-se por ser decrescente, ou seja a multiplicação da pertinência *fuzzy* sempre vai gerar um valor menor que o menor dos membros.

Uma operação intermediária entre a operação *fuzzy* de soma e a de produto é a chamada operação Gama, expressa pela seguinte função:

$$\mu_{comb} = (SomaFuzzy)^\gamma * (Fuzzyproduto)^{1-\gamma}$$

onde γ é o parâmetro escolhido num intervalo de (0,1), quando $\gamma = 1$ a combinação é a mesma da operação de soma, e quando $\gamma = 0$ o efeito é o mesmo da operação de produto.

Na prática é interessante utilizar diferentes operadores em um mesmo problema. Planos de informação podem ser combinados juntos numa série de passos, como numa rede de inferência. Deste modo a combinação de todos os mapas pode ser feita utilizando-se primeiramente um tipo de operador para as hipóteses intermediárias (mais conservadoras ou mais arriscadas). Deste modo a rede de inferência torna-se um meio importante de simular o pensamento lógico de um perito. Na terminologia dos sistemas especialistas a função de pertinência *fuzzy* seria a base de conhecimento, já a rede de inferências e as regras de combinação *fuzzy* seriam o sistema de inferência. A lógica *fuzzy* é uma das ferramentas empregadas quando a incerteza da evidência é importante.

3.1.2.4 Avaliação de favorabilidade a partir de critérios múltiplos por geoprocessamento

Critérios formam a base de uma decisão a partir de elementos que podem ser medidos ou avaliados. Esta inferência é baseada nos objetivos da avaliação. Na avaliação de favorabilidade, os parâmetros prospectivos são os critérios, e as áreas de maior favorabilidade de ocorrência mineral são os objetivos da avaliação. Segundo Eastman *et al.* (1995) e Eastman (1997), os critérios podem ser de dois tipos: os fatores e as restrições.

O fator, de um modo geral, é um critério que aumenta ou diminui o peso de uma determinada alternativa para a atividade em consideração. A restrição limita as alternativas em consideração (Eastman, 1997).

No caso da avaliação de favorabilidade, os fatores são constituídos pelos elementos principais relacionados aos parâmetros prospectivos, ou seja, os fatores são constituídos de elementos litológicos, estratigráficos, geoquímicos e estruturais.

Deste modo, as regras de decisão são constituídas pelos critérios, sejam fatores e restrições, assim como pelos procedimentos de combinação dos critérios. As regras de decisão, desta maneira, dependem intrinsecamente do objetivo específico da análise. Para a avaliação de favorabilidade mineral o objetivo específico é descrito como a definição da ocorrência de mineralizações e sua localização. Os critérios são definidos a partir dos parâmetros de prospecção, que são baseados nos aspectos genéticos e descritivos das mineralizações conhecidas.

Para a avaliação a partir de vários critérios pode-se utilizar, segundo Eastman (1997) a sobreposição booleana, a combinação linear ponderada (CLP) e a média ponderada ordenada (MPO). A combinação linear ponderada e a média ponderada ordenada são variações da técnica de sobreposição de camadas ou índices somativos (*index overlay*). Na verdade estas técnicas aplicam índices ponderados aos níveis de informação antes de proceder a sobreposição, que em geral é feita a partir de uma operação algébrica de soma. O método e as definições apresentadas a seguir são baseados em Eastman (1997).

A sobreposição booleana reduz os fatores a elementos binários e os combina a partir de operadores booleanos como o AND e o OR. No caso do operador AND (intersecção) obtém-se o mínimo de áreas favoráveis possíveis (resultado pessimista), ou seja, obtém-se apenas as áreas onde há sobreposição de informações em todos os níveis de informação utilizados. No caso do operador OR (união), obtém-se o máximo de áreas favoráveis possíveis (resultado otimista), ou seja, o mapa final conta com todas as informações de todos os níveis de informação utilizados.

A combinação linear ponderada é aplicada segundo a seguinte equação:

$$F = \sum p_{ij} . x_i$$

onde:

F = favorabilidade

p_{ij} = peso da classe j do mapa i

x_i = peso do mapa i

A tabela 9 apresenta um caso numérico (baseado em trabalho de Eastman, 1997) no qual foi aplicada uma análise por combinação linear ponderada. Os termos utilizados na tabela foram adaptados para o caso da análise de favorabilidade desenvolvida neste trabalho.

Tabela 9: Exemplo de combinação linear ponderada

Fator	Peso da classe	Peso do fator segundo uma análise aos pares	Avaliação	Soma dos pesos	Soma ponderada
A	187	0,3	56,1		
B	174	0,5	87	1,0	183,3
C	201	0,2	40,2		

(modificado de Eastman, 1997)

O processo de combinação linear ponderada padroniza os fatores a uma escala numérica comum. Obtém-se um mapa contínuo de favorabilidade que pode ser reclassificado para intervalos adequados à tomada de decisões, ou ainda, pode-se definir um limiar para separar as áreas de interesse. Este procedimento é caracterizado por gerar um resultado situado entre a sobreposição booleana, utilizando o operador AND, e a sobreposição booleana, utilizando o operador OR, ou seja, é possível definir um mapa de favorabilidade num conjunto intermediário entre a operação de união (hipótese otimista) e a de intersecção (hipótese pessimista). Além disso, este procedimento diferencia-se da sobreposição booleana pois considera os pesos de cada fator. No caso booleano os fatores são rígidos, verdadeiros ou falsos, na análise linear ponderada pode-se utilizar uma escala contínua de favorabilidade para cada fator. Este conceito relativo, da escala contínua, foi apresentado na discussão sobre método *fuzzy*. Assim pode-se utilizar o conceito *fuzzy* para definir as áreas favoráveis em cada fator e também para definir o limite entre o que é favorável e o não favorável.

Na análise por combinação linear ponderada, as classes de cada fator têm pesos diferentes e sofrem uma ponderação relativa. Entretanto os fatores analisados tem valores mínimos e máximos iguais entre si, não se atribui um peso maior a um fator em detrimento de outro fator. Desse modo, na análise por combinação linear não é possível controlar a ordem de importância de cada fator. Controla-se apenas a importância de cada fator segundo a ponderação de suas

classes, independente de sua ordenação relativa aos outros fatores. Desta forma, na comparação entre a análise por combinação linear ponderada e a análise booleana para um mesmo conjunto de dados, verifica-se que a combinação linear ponderada resultaria exatamente no centro, entre a hipótese otimista e a hipótese pessimista. Na verdade não se verifica, de fato, uma escala contínua de favorabilidade entre as operações de união e de intersecção. Esta questão é discutida a partir da metodologia de análise por média ponderada ordenada apresentada a seguir.

A média ponderada ordenada é um procedimento de análise semelhante à combinação linear ponderada. Contudo, nesse método considera-se também o chamado peso de ordenação. O peso de ordenação serve para modificar os pesos de cada mapa antes destes serem aplicados.

$$F = \sum p_{ij} \cdot x_i \cdot po_i$$

onde:

F = favorabilidade

p_{ij} = peso da classe j do mapa i

x_i = peso do mapa i

po_i = peso de ordenação do mapa i

As tabelas 10 e 11 mostram casos de aplicação da média ponderada ordenada.

Se for feita uma atribuição de pesos de ordenação, de modo que se utilize apenas o fator de maior peso, obtêm-se os resultados apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Exemplo de média ponderada ordenada

Fator	Peso da classe	Peso do fator (análise aos pares)	Peso de ordenação	Peso modificado	Avaliação	Soma dos pesos	Soma ponderada
B	174	0,5	1	0,5	87		
A	187	0,3	0	0	0	0,5	174
C	201	0,2	0	0	0		

(modificado de Eastman,1997)

Pode-se fazer a inversão dos pesos de ordenação, atribuindo o maior peso de ordenação ao fator de menor peso. Obtêm-se o resultado apresentado na tabela 11.

Tabela 11: Exemplo de média ponderada ordenada - inversão dos pesos de ordenação

Fator	Peso da classe	Peso do fator (análise aos pares)	Peso de ordenação	Peso modificado	Avaliação	Soma dos pesos	Soma ponderada
B	174	0,5	0	0	0		
A	187	0,3	0	0	0	0,2	201
C	201	0,2	1	0,2	40,2		

(modificado de Eastman,1997)

Verifica-se que ao atribuir o peso de ordenação 1 ao fator de maior peso, na tabela 10, obteve-se um resultado mínimo correspondente ao operador AND dos conjuntos *fuzzy*.

Por outro lado, ao atribuir o peso de ordenação 1 ao fator de menor peso na tabela 11, obteve-se um resultado máximo, correspondente ao operador OR dos conjuntos *fuzzy*.

No caso dos pesos de ordenação serem iguais, o resultado seria o mesmo de uma análise por combinação linear ponderada, como pode ser verificado na tabela 12 em comparação com a tabela 9.

Tabela 12: Exemplo de média ponderada ordenada - pesos de ordenação iguais

Fator	Peso da classe	Peso do fator (análise aos pares)	Peso de ordenação	Peso modificado	Avaliação	Soma dos pesos	Soma ponderada
B	174	0,5	0,33	0,17	29,58		
A	187	0,3	0,33	0,1	18,7	0,34	183,3
C	201	0,2	0,33	0,07	14,07		

(modificado de Eastman,1997)

A média ponderada ordenada permite ponderar os fatores relativamente, ordenando-os, de maneira a influenciar o resultado segundo a importância relativa de cada fator (importância em relação ao grupo de fatores), além de considerar o peso absoluto de cada fator, como é feito no caso da combinação linear ponderada. Conclui-se que a combinação linear ponderada é um caso da média ponderada ordenada, este caso é caracterizado por uma ordenação da importância dos fatores onde um único peso é atribuído a todos os fatores.

3.2 Dados levantados e coleta das informações

3.2.1 Digitalização da topografia e da rede de drenagem

Foram digitalizados, em mesa digitalizadora, as seguintes cartas topográficas na escala 1:50.000:

Tabela 13: Cartas topográficas digitalizadas

Folha topográfica (cartas na escala 1:50.000)	Instituição	Intervalo de restituição das curvas de nível (m)
Apiaí	IBGE*	20
Iporanga	IBGE	20
Marquês de Abrantes (ou Eptácio Pessoa)	IBGE	20
Barra do Turvo	IBGE	20
Vila Branca	DSG**	40
Ribeira	DSG	40
Cerro Azul	DSG	40
Tunas	DSG	40

*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Superintendência de Cartografia

** Ministério do Exército – Diretoria do Serviço Geográfico

Além das cartas topográficas, também foram digitalizados alguns dos mapas geológicos utilizados na compilação do mapa geológico da área.

Os dados foram digitalizados segundo um sistema cartográfico de referência: UTM - Universal Transversal Mercator. Toda a base de dados foi referenciada segundo este sistema.

Keefer *et al.* (1991) fizeram uma série de testes de digitalização de mapas, em mesa digitalizadora, visando correlacionar os erros apurados a uma distribuição normal destes erros, definindo desta forma os valores de desvio em função das distâncias de captura utilizadas na digitalização.

Alguns dos valores estão presentes na tabela 14. Os valores em polegadas foram convertidos para milímetros e apresenta-se uma coluna com o valor em metros, segundo uma extrapolação feita por Guimarães Filho (1994).

Tabela 14: Erros de digitalização com captura contínua de pontos

Distância (pol)	Distância (mm)	Valor em metros (escala 1:50.000)	Desvio Padrão do perímetro em % $\alpha = 0,025$ (95%)
0,020	0,508	25,40	0,588
0,040	1,016	50,80	1,869

(Modificado de Guimarães Filho, 1994)

Definiu-se, com base nos dados apresentados por Keefer *et al.* (1991), o valor de 15 metros como máximo aceitável para um erro médio quadrático na calibragem dos mapas em mesa digitalizadora, o que significa na escala 1:50.000 erros da ordem de 0,3 mm no papel. A digitalização foi feita a cada intervalo de cota de curva de nível de 40 m utilizando-se mesa digitalizadora, o intervalo de captura automático de pontos foi definido para um valor de 30 metros.

Optou-se por utilizar o valor de 30 metros, o qual proporciona boa fidelidade aos dados originais e permite economia em termos de informação digital armazenada.

Além das curvas de nível, foram digitalizadas as drenagens em todas as cartas.

3.2.2 Dados geoquímicos

Utilizaram-se os dados geoquímicos de sedimentos de corrente do projeto Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.*, 1978) cedidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Este projeto engloba os dados do projeto Sudelpa (Morgental *et al.*, 1975). Foram utilizados, destes dados, os resultados das análises por espectrografia de absorção atômica, relativos às amostras (abertura com ácido nítrico concentrado à quente, fração 80 *mesh*) da Subárea Sudelpa, Geoquímica Regional e *Follow up*. Não se utilizaram os dados do estudo orientativo.

Levantaram-se os dados de projetos geoquímicos semi-regionais e de detalhe realizados pela Mineropar na área. Licht & Tarvainen (1996) descrevem o banco de dados geoquímicos do estado do Paraná. As amostras de sedimentos de corrente foram abertas por água régia, com excessão do projeto Vale do Ribeira, cujas amostras foram abertas por reação com ácido nítrico

concentrado a quente. As amostras de todos os projetos foram analisadas por absorção atômica (fração 80 mesh). A área de estudo (folhas Cerro Azul e Apiaí, 1:100.000) é abrangida pelos projetos apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Relação de levantamentos geoquímicos da Mineropar no Vale do Ribeira

Projeto	Elementos analisados
Paraíso	Cu Pb
Marquês de Abrantes	Pb
Nagib Silva	Cu Pb Zn
Barra do Itapirapuã	Cu Pb Zn
São Silvestre	Cu Pb Zn
Volta Grande	Cu Pb Zn
Canha-Carumbé	Pb
Granitos	Cu Pb Zn
Capivari Pardo	Cu Pb Zn
Vale do Ribeira	Cu Pb Zn

3.2.3 Dados geofísicos

Foram utilizados dados dos levantamentos aerogeofísicos Serra do Mar Sul (CPRM-Geofoto, 1978) e São Paulo - Rio de Janeiro (CPRM-Encal, 1979).

O projeto Serra do Mar Sul foi contratado pelo DNPM/CPRM e executado pela empresa Geofoto em 1978, com as características técnicas apresentadas na tabelas 16.

Tabela 16: Características técnicas do projeto Serra do Mar Sul

Levantamento de dados magnéticos utilizando magnetômetro de precessão nuclear, modelo G-803, fabricado pela Geometrics.
Levantamento gamaespectrométrico utilizando gamaespectrômetro Exploranium DIGRS-3001 com volume de cristal de 1017.87 pol ³ .
Direção das linhas de voo: N30W
Espaçamento entre linhas de voo: 1,0 km
Direção das linhas de controle: N60E
Espaçamento entre as linhas de controle: 20 km
Altura média de voo: 150m
Navegação: controle visual
Recuperação dos vôos: recuperação com base no filme de rastreo
Aeronave: Islander

O projeto São Paulo – Rio de Janeiro foi contratado pelo DNPM/CPRM e executado pela empresa Encal em 1979, com as características técnicas apresentadas na tabela 17.

Tabela 17: Características técnicas do projeto São Paulo - Rio de Janeiro

Levantamento de dados magnéticos utilizando magnetômetro tipo próton, modelo G-803, fabricado pela Geometrics, montado em ponta de cauda.
Levantamento gamaespectrométrico utilizando gamaespectrômetro Geometrics GR-800A com volume de cristal de 3072 pol ³ .
Direção das linhas de vôo: NS
Espaçamento entre as linhas de vôo: 1.0 km
Direção das linhas de controle: EW
Espaçamento entre as linhas de controle: 10 km
Altura média de vôo: 150 m
Navegação: sistema doppler e controle visual
Recuperação dos vôos: "visual data display" e recuperação das linhas com base no filme de rastreio
Aeronave: Bandeirante

Os dados gamaespectrométricos foram pré-processados pelo projeto *Brazil Airborne Radiometric Mapping Project (CPRM-BARMP (1997))*, contratado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e executado por *Paterson, Grant & Watson Limited*. Este projeto tratou da conversão dos dados de cps para ppm, nos canais do K, U e Th, além da retirada de ruídos e micronivelamento.

A remoção de "spikes" foi feita pelo projeto CPRM-BARMP (1997), utilizando um filtro de remoção de ruídos. Segundo o relatório técnico do projeto CPRM-BARMP (1997), os perfis de dados foram filtrados utilizando-se um filtro passa-baixa não linear Naudy, com uma distância de amostragem de 1/2 comprimento de onda. Em seguida à remoção dos "spikes", os dados foram filtrados utilizando um filtro de suavização 5 x 5, com os seguintes coeficientes: 0.1107, 0.2215, 0.3356, 0.2215, 0.1107.

O micronivelamento consiste na retirada de ruídos provenientes do tipo de amostragem que é feita nos aerolevantamentos. Essa amostragem é caracterizada por ter uma densidade maior na direção das linhas de vôo do que

entre linhas de vôo. Ao serem interpolados em grades, os dados apresentam ruídos paralelos à linha de vôo, ou seja, um comprimento de onda longo paralelo às linhas de vôo e um comprimento de onda curto perpendicular às linhas de vôo.

Segundo o relatório técnico do projeto CPRM-BARMP (1997), os dados, após a remoção dos "*spikes*", foram interpolados em grade utilizando-se o algoritmo de ajuste à mínima curvatura (GIPSI Rangrid, pacote de programas PGW) com uma célula igual a 1/4 da distância entre linhas de vôo. O primeiro passo no micronivelamento consistiu na aplicação de dois filtros de Fourier na grade: um cosseno ao quadrado direcional e um filtro passa alta de Butterworth. O efeito destes filtros é deixar passar apenas aqueles elementos que são estreitos (comprimento de onda curto) na direção perpendicular às linhas de vôo. São extraídos valores a partir dessa grade filtrada, para compor um novo canal que contém o ruído da linha de vôo mais algum sinal geológico. Este canal é então filtrado com um filtro de passa baixa Naudy, de comprimento de onda longo, para separar o ruído da linha de vôo do comprimento de onda mais curto dos elementos geológicos. O limiar do comprimento de onda do filtro de grade passa alta é definido para ser muitas vezes maior, do que o limiar do comprimento de onda do filtro passa alta, que foi previamente aplicado, de modo que o canal de ruído contém somente elementos de "*stripe*", que são consideravelmente mais longos na direção da linha de vôo, do que na direção perpendicular. Subtraindo este canal de ruído, filtrado dos dados originais, elimina-se o ruído das linhas de vôo, obtendo-se os dados micronivelados.

A partir dos dados micronivelados, foram aplicados padrões de conversão dos dados gamaespectrométricos de cps para ppm. A conversão foi feita a partir de parâmetros de conversão levantados em campo. Segundo o relatório técnico do projeto CPRM-BARMP (1997) também foi corrigido o nivelamento entre levantamentos adjacentes de modo a formar um grid contínuo. Este é um fator que permite juntar os dados dos projetos Serra do Mar Sul e São Paulo - Rio de Janeiro em uma única grade.

3.2.4 Dados de ocorrências minerais

O banco de dados de ocorrências minerais é baseado no arquivos digitais do banco de dados CPRM-Microsiga (1994) (Sistema de Informações Geológicas do Brasil) e nos arquivos digitais do banco de dados IDEM (Figueiredo, 1988) (Índice de DEpósitos Minerais). Além disso, foram utilizados dados obtidos a partir da digitalização de ocorrências encontradas nos mapas do projeto Anta Gorda (MMAJ-JICA, 1981, 1982, 1983). Todos os dados foram organizados na forma de uma planilha eletrônica. O banco de dados contava com 479 pontos, antes de ser minuciosamente analisado (ver capítulo sobre tratamento e análise dos dados), o banco de dados final conta com 113 ocorrências.

3.2.5 Compilação do mapa geológico

Para a compilação do mapa geológico, foram utilizados os dados citados na tabela 18.

Tabela 18: Dados utilizados na compilação do mapa geológico

Levantamentos geológicos na escala 1:25.000
<ul style="list-style-type: none"> • MMAJ-JICA, (1982, 1983) Anta Gorda Project
Levantamentos geológicos na escala 1:50.000
<ul style="list-style-type: none"> • Campanha, 1991, Tectônica Proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná. • Mello, 1995, Geologia e Estudo Metalogenético do maciço Itaoca, Vale do Ribeira (SP e PR).
Levantamentos geológicos na escala 1:100.000
<ul style="list-style-type: none"> • Silva <i>et al.</i>, 1981, Projeto Integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira. DNPM/CPRM.
Levantamentos geológicos na escala 1:250.000
<ul style="list-style-type: none"> • Biondi, 1983, Mapa Geológico da Área de Embasamento do Estado do Paraná. • Campanha <i>et al.</i>, 1995 Mapa Geológico da Folha Itararé.

A estratigrafia utilizada na compilação foi baseada no mapa Geológico da Folha Itararé (Campanha *et al.*, 1995). A partir dessa base foram feitas alterações na estratigrafia considerando-se observações feitas por Campanha (informação verbal).

3.3 Tratamento e método de análise dos dados

3.3.1 Geração de modelo numérico de terreno

A partir das curvas de nível digitalizadas com intervalos de cota de 40 metros foi feito um modelo numérico de terreno (MNT). O modelo numérico de terreno foi calculado a partir da interpolação por rede triangular irregular (*TIN - triangular irregular network*) utilizando-se o sistema ArcInfo 7.0

O modelo (Figura 12) TIN representa uma superfície como um conjunto de faces de triângulos contínuos os quais não se sobrepõem aos vértices. Cada triângulo corresponde a uma superfície. O interpolador utilizado na construção do TIN segue o método da triangulação de Delaunay.

Segundo Pettinati (1983) a triangulação de Delaunay é definida da seguinte maneira: "Para cada ponto de controle P_i amostrado inicialmente, é possível determinar à sua volta uma região que seja o lugar geométrico dos pontos do plano mais próximos de P_i do que de qualquer outro ponto de controle. O conjunto destas regiões forma um agrupamento de polígonos convexos cobrindo todo o plano; esta construção recebe o nome de Divisão de Dirichlet.". Segundo a Divisão de Dirichlet, um polígono convexo é definido em torno de cada ponto amostrado, de modo que dois polígonos contíguos possuam apenas uma aresta em comum, a qual é equidistante dos pontos internos aos referidos polígonos.

A figura 11 é um esquema da topologia do modelo numérico TIN e mostra uma série de pontos, com atributos x, y, z ligados aos seus vizinhos a partir de uma série de triângulos cujas faces correspondem a uma superfície. Para cada triângulo a estrutura do TIN guarda um número de ordem, uma lista de três nós definindo o triângulo, as coordenadas x, y de cada nó, o valor z de cada nó e uma lista dos três triângulos adjacentes.

O modelo numérico de terreno é apresentado na figura 10. Esta figura foi gerada a partir da fusão de dois níveis de informação. Um deles corresponde a um sombreamento artificial do MNT a partir de uma fonte N45W com inclinação de 45° e o outro nível corresponde a uma classificação para 255 classes de cores, também do MNT, que variam do azul ao vermelho, e representam as variações de cotas de 60 a 1200 metros presentes na área.

A fusão destes dois níveis de informação foi feita utilizando-se a técnica de transformação IHS (Intensity/Intensidade, Hue/Matiz, Saturation/Saturação).

Figura 9: Esquema do modelo numérico de terreno TIN.

O espaço IHS é uma forma alternativa ao espaço RGB. No sistema IHS as cores são definidas a partir de três atributos: intensidade, matiz e saturação. A intensidade pode ser compreendida como a sensação do brilho, a matiz diz respeito às cores de um objeto, e a saturação pode ser entendida como tom, ou seja, um baixo valor corresponde a tons pastéis.

No espaço IHS pode-se alterar um dos atributos sem, no entanto, interferir nos outros dois.

Na transformação IHS utilizada, o MNT sombreado foi substituído no canal da intensidade (I) e o MNT classificado em cores foi mantido no canal da matiz (H), uma máscara de número digital único foi atribuída ao canal da saturação (S). Após estas substituições os dados foram transformados do espaço de cores IHS para o espaço RGB, para que pudessem ser visualizados.

Figura 10: Modelo numérico de terreno - integração IHS com relevo sombreado, iluminação a partir de N45W com inclinação de 45 graus.

3.3.2 Dados geoquímicos de sedimentos de corrente

A análise dos dados geoquímicos de sedimentos de corrente é feita observando-se a distribuição de frequência cumulativa dos dados e modelando-se a distribuição de frequência das populações que compõem o conjunto de dados, permitindo, quando for o caso, separar distribuições mistas em suas componentes normais ou lognormais. Esse modelamento é necessário para a definição da população de valores menores, que representa as dispersões normais de distribuição dos elementos analisados nas bacias (*background*).

Para a separação das populações na área de estudo, seguiu-se a metodologia apresentada por Macedo (1996), que usa a técnica e o programa PROBPLOT (Stanley, 1987) o qual é uma adaptação da técnica de Williams (1967). A partir dos dados formatados foi feita a plotagem dos gráficos de frequência acumulada para todos os arquivos. Foram separados os conjuntos de dados onde a curva de frequência acumulada logarítmica demonstrava ser composta por duas populações distintas. Utilizou-se a população de menor média aritmética (considerada *background*), para se calcular sua média geométrica e desvio geométrico. Para os dados que não era possível fazer a separação entre populações componentes, foram calculadas a média geométrica e o desvio geométrico para 100% das amostras.

Williams (1967) propõe a plotagem do conjunto de dados num papel de probabilidade de escala logarítmica. As distribuições bimodais neste caso se caracterizarão pela definição de uma curva em S, na região do ponto de inflexão se definirá o valor do limiar. Separam-se as populações e para cada diferente população tem-se uma reta de inclinação diferente.

Segundo Sinclair (1974), o termo limiar (*threshold*) é utilizado significando um valor específico que, efetivamente, separa valores de dados altos e baixos de características fundamentalmente distintas que refletem diferentes causas. O termo limiar é aplicado para valores que distinguem conjuntos de dados superiores ou anômalos, daqueles conjuntos inferiores ou de *background*.

Segundo Macedo (1996) o valor de limiar mais aceito da população de *background* é $MG.DG^2$.

Dessa forma, os limiares entre *background* e anomalia foram calculados utilizando-se o seguinte parâmetro:

$$\text{limiar da população de background} = \text{MG} \times \text{DG}^2$$

onde,

MG = média geométrica

DG² = desvio geométrico ao quadrado

Um exemplo de gráfico plotado no programa PROBPLOT (Stanley, 1987) é apresentado na figura 11, na qual podem ser vistas as retas das populações componentes e os dados de média e desvio padrão das duas populações.

Figura 11: Exemplo de gráfico do programa Probpplot aplicado a população de dados de um levantamento geoquímico.

Com o valor de limiar de anomalia calculado pode-se definir o valor de contraste de anomalia para cada amostra. O valor de contraste é obtido dividindo-se o teor de uma amostra pelo limiar de anomalia, definido para a população de origem da amostra.

O valor de contraste é uma medida relativa, ou seja, é um valor sem dimensão.

Os valores de contraste são úteis para se fazer a comparação de valores, de bacias anômalas e não anômalas, entre dados originários de diferentes populações e diferentes projetos. Nota-se que os pontos não anômalos terão

valores entre maior que 0 e menor que 1 (adimensional), os pontos anômalos tem valores maiores ou iguais a 1, de modo que os maiores valores de contraste correspondem às anomalias cujos teores são muitas vezes maiores que o *background*.

A partir do arquivo de pontos com os valores de contraste foram traçadas as bacias a montante de cada ponto amostrado. Este processo foi feito de maneira automática utilizando os aplicativos do programa ArcInfo 7.1.

Para se fazer o traçado automático das bacias amostradas partiu-se de um arquivo vetorial de pontos (chamado *coverage* no sistema ArcInfo 7.1). Este arquivo de pontos contém todos os pontos amostrados e os respectivos atributos com valores analisados para Pb, Zn e Cu, o limiar traçado para cada conjunto de pontos, o valor de contraste e o nome do arquivo de origem. Além dos pontos utilizou-se um modelo numérico de terreno (*TIN – triangulated irregular network*) como base para o traçado das bacias.

O primeiro passo foi o de se preencher as menores depressões do modelo numérico de terreno as quais não representam, necessariamente, uma bacia hidrográfica, e que em geral são derivadas do processo de interpolação do modelo. Segundo ESRI (1995), quando uma depressão é preenchida são utilizados os valores da borda desta depressão em toda sua extensão. De modo geral o resultado é o de um modelo numérico onde as pequenas irregularidades são suprimidas. O parâmetro utilizado neste procedimento é o da altura para preenchimento das depressões. O valor adotado foi aquele que permitiu traçar apenas as bacias que interessavam segundo a escala de entrada de dados (digitalização das curvas a partir de mapas na escala 1:50.000), mas que ao mesmo tempo não ocasionou o preenchimento das bacias que poderiam ser significativas.

A partir do modelo numérico de terreno, com as menores depressões preenchidas, determinou-se a direção de fluxo de cada célula do modelo numérico de terreno (ESRI, 1995). A direção de fluxo é determinada a partir da definição da direção de maior declividade; isto é feito analisando-se a diferença de valores entre células vizinhas considerando-se a distância entre elas. Quando as células são ortogonais utiliza-se o valor igual a 1; quando as células são diagonais utiliza-se o valor igual a $\sqrt{2}$. Se o valor entre células vizinhas for igual

procura-se a célula adjacente e assim sucessivamente até encontrar-se os valores de maior declividade. As células adjacentes com valores iguais são consideradas como pertencentes a uma mesma bacia (ESRI, 1995).

A partir da grade (*grid*) de direção de fluxo determinaram-se as áreas de acumulação de fluxo que podiam ser utilizadas para identificar as drenagens, assim definiram-se valores altos para as áreas de acumulação de fluxo (drenagens) e valores baixos para as áreas que identificam cristas (ESRI, 1995).

O arquivo de pontos de amostragem é transformado em uma grade (imagem *raster*). Os pontos que estão fora das drenagens são recolocados, segundo uma tolerância de busca, e considerou-se como base a grade de acumulação de fluxo.

A partir do arquivo de direção de fluxo e do arquivo de pontos recolocados as bacias são traçadas automaticamente. Este aplicativo traça as bacias à montante de um conjunto de pontos de entrada a partir de um arquivo de direção de fluxo (ESRI, 1995).

O processo utilizado para traçar as bacias automaticamente está descrito no fluxograma (figura 12) e a macro-instrução em AML (*ARC Macro Language*) desenvolvida encontra-se no anexo I.

Figura 12: Fluxograma com as principais etapas para traçar bacias de drenagem automaticamente no ArcInfo 7.1 a partir dos pontos de amostragem de sedimentos de corrente e MNT.

3.3.3 Dados aerogeofísicos magnetométricos

Apesar das restrições técnicas apresentadas pelos dados magnetométricos do projeto Serra do Mar Sul (Silva & Mantovani, 1994) utilizaram-se os dados desse projeto numa integração com o projeto São Paulo - Rio de Janeiro e foram obtidos resultados aceitáveis. Um dos grandes problemas do projeto SMS é o das imprecisões das coordenadas UTM, que variam localmente. Não se procurou corrigir os dados do projeto SMS, pois tais correções implicariam na mudança do escopo deste trabalho, optando-se por utilizar os dados com suas limitações.

O primeiro passo, no tratamento dos dados magnetométricos, foi o nivelamento dos bancos de dados dos projetos Serra do Mar Sul e São Paulo - Rio de Janeiro.

Na área de estudo, as linhas de vôo têm um recobrimento numa pequena porção na região sul da folha Apiaí, 1:100.000 (SG-22-X-B-V). Este recobrimento foi utilizado para definir um valor de correção que seria aplicado a um dos levantamentos.

Primeiramente, procedeu-se à interpolação das grades, utilizando-se o interpolador de mínima curvatura, com uma célula de 700 metros e, posteriormente, foi feita uma reamostragem para 1/4 da distância entre linhas de vôo, ou seja, 250 metros utilizando o interpolador Akima, o qual visualmente forneceu o melhor resultado. O interpolador Akima utiliza o princípio da triangulação. Segundo Akima (1978 *apud* Yamamoto, 1986) este interpolador é aplicável quando não há necessidade de suavização dos dados porque a interpolação é exata. O tamanho da célula foi definido conforme os procedimentos descritos para o tratamento dos dados de aerogamaespectrometria (item 3.3.4).

Tanto a imagem derivada dos dados do projeto Serra do Mar Sul (SMS) quanto a imagem derivada dos dados do projeto São Paulo - Rio de Janeiro (SPRJ) foram filtradas. Utilizou-se um filtro cosseno direcional. No caso do SMS utilizou-se uma direção 330, deixando-se passar as informações nesta direção (opção passa) com grau 4. Já o SPRJ utilizou direção 0, deixando passar as informações nesta direção (opção passa) com grau 4.

Preparou-se uma máscara correspondente à área de sobreposição dos projetos e recortou-se a área de recobrimento das duas imagens. Deste modo

obteve-se uma imagem recortada para o SMS e uma para o SPRJ exclusivamente com a área de sobreposição dos dois levantamentos. Calculou-se a média da área de recobrimento recortada para o SMS e para o SPRJ. Subtraiu-se a média do SPRJ da média do SMS e somou-se esse fator à imagem de menor valor que neste caso foi a imagem do SMS.

Amostraram-se os *grids* interpolados e filtrados (cosseno direcional) a partir dos pontos das linhas de vôo, de modo que se obteve um banco de dados com os mesmos pontos levantados originalmente no vôo, mas com os valores já filtrados e nivelados. Procedeu-se dessa maneira, tanto para a imagem filtrada do SPRJ quanto para a imagem filtrada e nivelada do SMS. Juntaram-se os bancos de dados e procedeu-se novamente à interpolação de uma imagem única utilizando o interpolador mínima curvatura com tamanho de célula igual a 700 metros e posterior reamostragem para 250 metros.

O procedimento descrito acima teve como objetivo produzir um banco de dados que se preste à interpretação qualitativa das principais feições estruturais e das principais anomalias magnéticas.

A partir do banco de dados com os projetos integrados procedeu-se à geração de uma imagem de redução ao polo, uma de primeira derivada vertical e uma de controle automático de ganho.

As anomalias magnéticas em um mapa com redução ao polo ocorrem verticalmente acima de suas fontes (Gunn *et al.*, 1997) de tal modo que esses mapas são mais simples de se interpretar do que outros onde há inclinação magnética.

Para a redução ao polo dos dados magnéticos da área de estudo utilizaram-se os seguintes parâmetros:

Tabela 19: Parâmetros de redução ao polo dos dados magnéticos

Coordenada central da área	49° 00' 00" W/ 24° 45' 00" S
Período	1º de março de 1978
Inclinação	26° 17'
Declinação	14° 17'
Intensidade total	23561

Os parâmetros de redução ao polo foram baseados no mapa magnético do Brasil do IBGE (1990a,b), escala 1:10.000.000. Os elementos utilizados foram:

declinação, inclinação e intensidade total, que posteriormente foram confirmados utilizando-se o programa ELEMAG, também do IBGE.

O controle automático de ganho é uma técnica que cria uma imagem, na qual todas as anomalias são forçadas a ter aproximadamente a mesma amplitude e as anomalias mais fracas são, em princípio, tão evidentes quanto anomalias intensas (Gunn *et al.*, 1997), de modo que tal imagem é muito útil na interpretação de dados estruturais.

Gradientes verticais de campos magnéticos representam campos magnéticos nos quais os efeitos regionais e a interferência entre anomalias adjacentes foram suprimidos (Gunn *et al.*, 1997), de tal modo que se podem estudar anomalias locais. Considerando tal processamento numa imagem reduzida ao polo, então teremos a possibilidade de estudar uma anomalia local que se encontra sobre sua fonte, o que pode ser muito útil para a prospecção mineral.

3.3.4 Dados aerogeofísicos gamaespectrométricos

Para o tratamento dos dados, foi utilizado o programa Oasis Montaj 4.2.

A partir dos dados obtidos do projeto CPRM-BARMP (1997), juntou-se num único banco de dados os projetos Serra do Mar Sul e São Paulo - Rio de Janeiro. Isto foi feito baseado em observações do relatório do CPRM-BARMP (1997), que indica que os procedimentos de processamento dos dados, ou seja, a conversão de cps para ppm, permite o processamento e análise dos dados de diferentes projetos numa mesma grade.

Os dados foram interpolados utilizando-se o interpolador de mínima curvatura com uma célula de 700 m e posterior reamostragem para célula de 30 m utilizando-se o interpolador Akima.

Após alguns testes com células menores, utilizou-se o tamanho da célula para interpolação de 700m devido aos desvios das linhas de vôo do projeto Serra do Mar Sul. Estes desvios causam "vazios" na grade interpolada, já que optou-se por utilizar distância de busca nula. A distância de busca nula foi definida com o intuito de se manter a fidelidade aos dados originais.

Foi gerada uma grade com célula de 250 m a partir da reamostragem da célula de 700m para cada canal: tório, potássio e urânio.

A partir das grades com os dados dos canais Th, U e K foram calculados para cada canal, as razões Th/K, U/K e U/Th e o parâmetro F.

O parâmetro F foi proposto por Efimov (1978 *apud* Gnojek & Prichystal, 1985) como $K.(U/Th)$. Segundo Gnojek & Prichystal (1985) este parâmetro é muito útil em exploração mineral, pois compreende duas características importantes do ambiente rochoso, que são as respectivas abundâncias de potássio e urânio no ambiente, segundo as razões Th/K e Th/U. Gnojek & Prichystal (1985) verificaram que de modo geral as anomalias de potássio são acompanhadas por urânio variável e por concentrações muito baixas de tório. Ostrovsky (1973) descreve o contraste de comportamento entre o tório e o potássio como o antagonismo tório/potássio, o qual segundo Gnojek & Prichystal (1985) é típico de processos de alteração acompanhados por um enriquecimento secundário de potássio.

Gnojek & Prichystal (1985) citam os trabalhos de vários autores a respeito da importância do papel do potássio junto a processos mineralizantes. Entre eles Fojt (1966 *apud* Gnojek & Prichystal) destacou a relação entre rochas traquíticas (*keratophyric*: rochas contendo alto feldspato sódico, comumente associadas com rochas espilíticas e intercaladas com sedimentos marinhos, Bates e Jackson, 1987) ricas em potássio e mineralizações de Pb e Zn no nordeste da Morávia. Gnojek & Prichystal (1985) também descrevem anomalias de potássio relacionadas a um depósito de sulfetos de Pb-Zn, também, no nordeste da Morávia.

Entre as conclusões de Ostrovsky (1973), destaca-se a possibilidade de se utilizar aerogamaespectrometria na prospecção de alterações hidrotermais ou metassomáticas hidrotermais de rochas magmáticas e o antagonismo entre o potássio/tório como uma das características geoquímicas das alterações associadas, no caso, com metassomatismo alcalino.

Mares (1984) relaciona o comportamento entre K, U e Th, nos depósitos hidrotermais-metassomáticos de elementos não radioativos, baseado no trabalho de Ostrovsky (1974). Segundo Mares (1984), no caso de mineralizações de Cu,

Pb e Ag, onde a principal alteração, é a sericitização há um incremento do potássio e um comportamento neutro do urânio.

Mares (1984) afirma que, de modo geral, o conteúdo de potássio diminui em zonas de albitização e silicificação, enquanto aumenta em zonas de feldspatização e sericitização. O Urânio, segundo esse autor, ocasionalmente mostra uma relação positiva com depósitos hidrotermais de Pb, Cu, Zn entre outros.

3.3.5 Dados de ocorrências minerais

Baseado no banco de dados inicial, procurou-se primeiramente eliminar as ocorrências duplicadas. Posteriormente, procurou-se a localização de cada ocorrência baseando-se, preferencialmente, em trabalhos acadêmicos e projetos de pesquisa mineral em que as ocorrências eram citadas e apresentadas com mapa de localização.

Entre os projetos utilizados destaca-se a contribuição do projeto Mapas Metalogenéticos o qual apresenta uma base de dados com descrição de características de interesse da ocorrência, como: substância mineral, litologia encaixante, status mineral (ocorrência, jazida, etc), nome do local, morfologia e principalmente coordenadas geográficas.

Cassedane (1972) organizou um grande número de ocorrências na área de estudo. Contudo, os mapas de localização apresentados não têm qualquer sistema de projeção e as tabelas de ocorrências não citam a localização dos pontos, apenas o nome da mineralização e o nome do local. Isto também ocorre no trabalho de Melcher (1968). Apesar das limitações apresentadas esses dois trabalhos são muito importantes na definição da posição relativa das ocorrências.

Cada ocorrência foi conferida e eliminaram-se aquelas cuja localização fosse duvidosa. Dessa maneira procurou-se manter apenas aqueles dados que fossem consistentes com os estudos já feitos na região. Assim, de um total de 479 pontos de possíveis ocorrências levantados a partir do CPRM-Microsiga (1994) e MMAJ-JICA (1981,1982,1983) e IDEM (Figueiredo, 1988) obteve-se um banco de dados com 113 ocorrências conhecidas e observadas na literatura. Procurou-se corrigir a localização de cada ocorrência contando com as limitações inerentes a este tipo

de trabalho. Estas limitações estão relacionadas principalmente à falta de precisão e exatidão dos dados encontrados na bibliografia, ou seja, muitas vezes as ocorrências são apresentadas com coordenadas erradas, ou mesmo ausentes. Para contornar estes problemas procurou-se, a partir dos trabalhos mais antigos, corrigir e confrontar a posição das ocorrências, baseada em sua disposição relativa apresentada em diferentes trabalhos.

Foi feita uma separação das ocorrências considerando duas tipologias, tipo Pannels (mineralizações filonares) e tipo Peral (mineralizações estratiformes), por exclusão obteve-se um terceiro grupo de ocorrências que não pertenciam a nenhuma das tipologias acima. O mapa com as ocorrências e a respectiva tabela de atributos encontram-se no anexo III.

3.3.6 Dados de fraturamento

O termo fratura, segundo Ramsay & Huber (1987), é definido como um plano de ruptura onde a coesão na rocha foi perdida, este plano pode corresponder às juntas ou falhas. As juntas são definidas como planos de quebra onde os dois lados do plano não sofreram deslocamento apreciável. A falha é definida quando há deslocamento apreciável.

Segundo Soares & Fiori (1976), as zonas de fraturamento, por serem mais facilmente atacadas pelos processos meteóricos e erosivos, constituem zonas de desenvolvimento preferencial de linhas de drenagem retilíneas. Aos elementos de drenagem fortemente estruturados (disposição regularmente ordenada), retilíneos ou em arco, denomina-se, segundo Soares & Fiori (1976), lineações de drenagem e estas são interpretadas como traços de fratura.

Resumidamente conclui-se, segundo Soares & Fiori (1976), que as fraturas (ou juntas) são refletidas através dos traços de fratura ou lineações de drenagem retilíneas. Os traços de fratura correspondem a zonas de concentração de juntas.

Lattman & Matzike (1961 *apud* Soares & Fiori, 1976) consideram o valor de 1.600 m para o limite máximo do tamanho do traço. Northfleet *et al.* (1971) estabelecem o limite em 3.500 m. Segundo Soares & Fiori (1976), a partir deste limite, as fraturas sofrem deslocamentos como blocos.

Plicka (1974) define zonas de juntas como zonas de concentração de fraturas mais ou menos paralelas. Segundo o autor, na maioria dos casos, ocorrem dois sistemas perpendiculares entre si. A largura dessas zonas de juntas varia de 0,5 a 6 m. As juntas nestas zonas tem um mergulho de 70 a 90°, e as zonas estendem-se por grandes áreas. As zonas de juntas de qualquer sistema ocorrem repetidamente em distâncias de poucos metros a dezenas de metros entre si, desta forma constituindo um conjunto de zonas de junta. O termo "conjunto de zonas de juntas" é, definido por Plicka (1974), como uma série de zonas de juntas paralelas entre si e com uma gênese comum.

Destacam-se dos trabalhos de Plicka (1974) e Nickelsen (1974) características importantes das zonas de juntas que podem ser utilizadas na prospecção de mineralizações filonares como:

- os conjuntos de zonas de juntas podem emergir de rochas mais antigas e se estender verticalmente através de rochas sobrejacentes mais novas;
- os padrões de fraturamento são cumulativos e persistentes;
- alguns conjuntos de zonas de juntas, representados por grandes lineamentos têm persistido desde o Pré-Cambriano, afetando a sedimentação, a tectônica, a expressão fisiográfica e até mesmo a localização de depósitos minerais.

Segundo Veneziani (1987), a distribuição generalizada e por grandes distâncias mostra que os conjuntos de zonas de juntas são feições geológicas de significado regional, essencialmente independentes de variações litoestratigráficas locais e da atitude dos estratos, embora estes dois últimos fatores exerçam controle sobre a freqüência.

Baseando-se em metodologia de Veneziani (1987), a partir de um mapa com as curvas de isodensidade de fraturamento, ou mesmo uma grade com a freqüência de fraturamento, pode-se interpretar um mapa de eixos de distribuição de fraturamentos na superfície. Segundo Aliyev (1979), estes eixos representam direções de fraqueza precedentes à instalação dos sistemas de fraturas, generalizadamente observados e, conseqüentemente, influem e favorecem um acréscimo na densidade de fraturamentos de gerações posteriores, ao longo dos mesmos.

Na interpretação consideraram-se os trechos retilíneos de canais de drenagem como elementos de interesse, já que as drenagens estabelecem-se preferencialmente sobre as linhas susceptíveis à maior erodibilidade, como as zonas de juntas e fraturas.

Utilizou-se 3 mm como valor mínimo do comprimento do traço para interpretação de feição retilínea na escala 1:250.000, o que equivale a 750 m. Este valor visou a interpretação regional das zonas de fraturamento.

Analizou-se a frequência de traços por área. O método de cálculo desta frequência é baseado na contagem do número de traços em uma grade regular de amostragem, considerando-se os traços como aproximadamente padronizados em um mesmo comprimento. Segundo Beisl (1996), a grade regular de amostragem pode ser definida a partir do comprimento médio e desvio padrão das feições lineares extraídas das drenagens, neste caso o valor foi de 753,69 +/- 151,23 m, deste modo, a grade regular de amostragem poderia ter um valor de 900 m. Contudo, optou-se por aplicar diversos tamanhos de grade de amostragem, visando-se definir, empiricamente, qual o melhor tamanho de grade para a interpretação visual posterior. Utilizaram-se grades de 750, 1.000, 2.000, 3.000, 4.000 e 5.000 m de lado. Definiu-se a grade de 3.000 m para a amostragem dos dados. Baseados na roseta dos traços levantados definiram-se 5 direções preferenciais de zonas de juntas que são as seguintes: N60W, N30W, NS, N45E e N70E. Os traços foram filtrados utilizando-se uma tolerância de busca de 10^0 , sendo então feita a amostragem. A partir da contagem dos traços, pode-se visualizar as áreas de maior frequência de fraturamento segundo as direções definidas, contudo foi obtida uma melhor visualização dos valores de contagem a partir da reamostragem destes dados para uma célula de aproximadamente 300 m de lado. A imagem derivada desta interpolação foi utilizada na interpretação dos eixos de distribuição de frequência máxima dos fraturamentos.

Segundo metodologia apresentada em Crepani (1987), na análise dos mapas de isofrequência consideram-se as seguintes observações:

- a quantidade de zonas de juntas aumenta em relação à proximidade de falhas, indicando uma associação genética e geométrica entre as falhas e os conjuntos de zonas de juntas;

- lineamentos antigos tendem a condicionar a freqüência das zonas de juntas formadas em regiões submetidas a processos de reativação.

Segundo Crepani (1987), o eixo maior das figuras elípticas presentes nas curvas de isofreqüência de densidades máximas de zonas de juntas é uma evidência da presença de linhas de fraqueza da crosta no local.

Santos (1986) justifica a utilização do tratamento estatístico dos dados de fraturamento baseado na premissa de que uma fratura é uma zona de fraqueza e, portanto, uma zona potencial no condicionamento da distribuição dos eventos rupturais posteriores que afetaram a região. Deste modo, a análise das principais direções de fraturamento pode indicar as principais zonas de fraqueza que condicionaram o desenvolvimento tectônico posterior que afetou a região.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Dados geoquímicos

Após a conclusão da montagem do banco de dados geoquímicos de sedimentos de corrente, obteve-se um mapa temático com todas as bacias amostradas na área e um conjunto de atributos relacionados a estas bacias. O conjunto de atributos compreende as seguintes informações: valor em ppm atribuído à bacia amostrada para cobre, chumbo e zinco quando disponível, valor do limiar para os três elementos e valor.

Para uma melhor apresentação e integração dos resultados optou-se por utilizar as bacias com os valores de contraste. Os valores de contraste podem ser utilizados para comparação entre os diversos projetos e desta maneira são mais adequados para a interpretação e análise dos dados.

Os dados apresentados nas figuras 13, 14 e 15 sofreram a seguinte reclassificação: para as áreas não anômalas optou-se por um único valor atribuído a todas as bacias, para as bacias anômalas foi feita uma reclassificação para 5 classes, necessária devido à grande dispersão dos valores de contraste. O valor destas classes foi definido de modo que todas as classes de anomalias tenham um valor aproximadamente igual. Esta reclassificação foi feita com objetivo único de melhorar a visualização dos dados, não sendo utilizada na análise de favorabilidade, discutida no capítulo "Integração de dados e seleção de áreas favoráveis".

Figura 13: Bacias anômalas - sedimentos de corrente - Cobre.

Figura 14: Bacias anômalas - sedimentos de corrente - Chumbo.

Figura 15: Bacias anômalas - sedimentos de corrente - Zinco.

4.2 Dados aerogeofísicos

4.2.1 Magnetometria

Após a execução das correções (nivelamento entre projetos) e tratamento (redução ao polo, primeira derivada vertical e controle automático de ganho) dos dados brutos foi feita integração entre estes dados, utilizando-se uma técnica conhecida como transformação IHS (vide explicação da técnica no item 3.3.1) , visando a interpretação dos dados magnetométricos.

A interpretação dos dados magnetométricos considerou os seguintes elementos:

- lineamentos magnéticos - caracterizados por descontinuidade magnética eventualmente relacionada às falhas, eixos de dobras, entre outras possíveis estruturas tectônicas lineares. Os lineamentos magnéticos também foram traçados ao longo de descontinuidades magnéticas marcadas por limites texturais;

A partir da interpretação magnética, foi verificada a mesma tendência regional NE-SW observada na geologia. As rochas intrusivas aparecem bem delineadas e são moderadamente magnéticas. Da mesma forma, como observado, no projeto Anta Gorda (MMAJ-JICA, 1981) não foi verificada uma relação clara entre as mineralizações e as áreas fortemente magnéticas. Observou-se, principalmente na imagem de primeira derivada vertical, uma relação direta entre estruturas tectônicas e os lineamentos magnéticos.

A interpretação dos dados aeromagnéticos é apresentada e também utilizada na análise a partir de um mapa de lineamentos magnéticos e um mapa de áreas de altos magnéticos e dipolos, como pode ser visto nas figuras 16, 17 e 18.

Figura 16: Integração IHS - Magnetometria reduzida ao polo com primeira derivada vertical da magnetometria.

Figura 17: Integração IHS entre primeira derivada vertical da magnetometria e magnetometria sem tratamento.

Figura 18: Lineamentos magnéticos interpretados.

4.2.2 Gamaespectrometria

Apesar do nivelamento realizado pelo projeto CPRM-BARMP (1997) verificaram-se, ao integrar o banco de dados dos levantamentos Serra do Mar Sul e São Paulo-Rio de Janeiro, diferenças em relação aos valores médios das duas áreas, como pode ser observado nas figuras 19 e 20, especialmente no canal do tório e do urânio. Com o intuito de verificar uma possível relação da gamespectrometria com as mineralizações foram calculadas as razões Th/K, U/K, U/Th, o parâmetro F e a normalização pelo canal do tório.

Tanto o procedimento baseado no parâmetro F quanto o procedimento de normalização pelo canal do tório caracterizam-se por relacionar zonas de alteração hidrotermal ao canal do potássio, ou ainda, por corrigir a distribuição das anomalias no canal do potássio, o qual, em geral, mostra muitas áreas com valores altos, em função da grande mobilidade do potássio. A busca de áreas anômalas em potássio, na região, no caso das mineralizações tipo Panelas foi baseada nas características destas mineralizações, as quais podem apresentar alterações hidrotermais ligadas ao processo mineralizador. No caso das mineralizações tipo Peralva baseou-se na possibilidade, embora remota, das rochas félsicas, ou outras rochas vulcânicas, presentes nas áreas mineralizadas gerarem anomalias aerogamaespectrométricas no canal do potássio.

Optou-se pela utilização dos dados gamaespectrométricos devido às seguintes razões: maior capacidade dos sistemas computacionais atuais; técnicas de tratamento ainda não utilizadas nos dados da área (fator F, normalização pelo Tório) e dados gamaespectrométricos convertidos de cps para ppm.

Foi feita uma correlação espacial entre as ocorrências minerais e as imagens obtidas segundo os processamentos descritos anteriormente, contudo não se obteve um resultado positivo no sentido de relacionar os dados gamaespectrométricos e as mineralizações, seja com o tipo Panelas ou com o tipo Peralva. Tanto no caso das mineralizações filonares (tipo Panelas), quanto nas estratiformes (tipo Peralva) verificou-se que não há citações na literatura descrevendo resultados expressivos na utilização de gamaespectrometria no Vale do Ribeira.

A principal consideração acerca da falta de correlação entre as mineralizações e os dados gamaespectrométricos utilizados diz respeito à dimensão dos halos de alteração hidrotermal no caso do tipo filonar. Estes halos têm dimensão centimétrica (Daitx *et al.*, 1995) e possivelmente a anomalia de potássio envolvida não seria suficiente para causar alterações radiométricas em um levantamento feito a 150 metros de altura e com espaçamento de 1000 metros entre as linhas de vôo. Da mesma forma conclui-se que o potássio contido nas rochas vulcânicas, associadas às mineralizações estratiformes, também não seria detectado.

Figura 19: Mapas de distribuição de teores, em ppm, nos canais aerogeofísicos gamaespectrométricas: tório, urânio e potássio.

Figura 20: Mapas de distribuição de valores das razões U/K, U/Th, Th/K e parâmetro F.

4.3 Dados de ocorrências minerais

No anexo III encontram-se o mapa e a tabela de atributos de ocorrências minerais de sulfetos de chumbo, zinco e cobre na área de estudo.

A grande maioria das ocorrências verificadas (mais de 60%) é do tipo Panelas; o tipo Perau conta com menos de uma dezena de ocorrências.

Na tabela abaixo, verificam-se os valores de teor e recursos geológicos dos principais depósitos da área de estudo. Cabe ressaltar que, atualmente, não há minerações extraindo sulfetos metálicos na região.

Tabela 20: Recurso Geológico “in situ” – Depósitos tipo Perau

Mina	Recurso Geológico “in situ” (t)	Teores
Perau	3.100.000	4,04% Pb; 1,13% Zn; 57ppm Ag
Canoas	1.400.000	3,1% Pb; 3,5% Zn; 63ppm Ag
Azurita (Área Faria)	181.420	2,2% Cu

(Modificado de Daitx, 1996)

Tabela 21: Recurso Geológico “in situ” – Depósitos tipo Panelas

Mina	Recurso Geológico “in situ” (t)	Teores
Paqueiro	1.800	5% Pb
Basseti	169.505	4,84% Pb
São Francisco	19.051	4% Pb
Rocha Matão I	23.905	5,68% Pb
Matão II	4.916	3,35% Pb
Total	217.377	4,82% Pb
Furnas	104.028	6,6% Pb
Panelas	86.834	4,15% Pb
Barrinha	80.000	8,33% Pb
Cecrisa	74.946	2,96% Pb

(Modificado de Daitx, 1985)

* Reserva medida + indicada, dados de reserva inferida não disponíveis

Cox & Singer (1986) apresentam um sumário de dezenas de depósitos minerais, agrupados segundo características comuns. Os autores apresentam a montagem de um grupo considerável de modelos de depósitos minerais, os quais permitem comparar as características de uma determinada mineralização segundo as observações de diferentes geólogos em diferentes minas e distritos minerais. Basicamente o trabalho contém um modelo descritivo e um modelo de teor e tonelagem para diversos tipos de depósito. No caso do modelo prospectivo Perau utilizou-se o modelo *sedex* apresentado por Cox & Singer (1986), para o modelo prospectivo Panelas não foi escolhido nenhum dos modelos apresentados, pois este modelo não foi correlacionado a nenhum modelo genético/descritivo específico conhecido mundialmente.

Os modelos de teor e tonelagem são apresentados na forma de gráficos, os quais contêm no eixo X o teor ou a tonelagem e no eixo Y a frequência acumulada de depósitos. Os autores utilizaram tonelagens estimadas associadas com os menores teores de corte. Curvas suavizadas são traçadas ao longo dos pontos que correspondem a depósitos conhecidos. Estas curvas são interceptadas por percentis e têm a mesma média e desvio padrão dos dados observados.

Foram plotados os valores de tonelagem e teores (vide figuras 21, 22, 23 e 24), de chumbo e zinco, para as minas do Perau e Canoas. Em relação a outros depósitos mundiais notou-se, que em termos de tonelagem, os dois depósitos recaem num grupo onde estão aproximadamente 80% dos depósitos listados no modelo utilizado. Em termos de teor de chumbo os dois depósitos estão acima do 50^o percentil. O depósito do Perau apresenta teor de chumbo correspondente a apenas 30% dos depósitos listados. Quanto ao teor de zinco verifica-se que os depósitos do Perau e Canoas estão próximos ao 90^o percentil, e a Mina de Canoas apresenta teor que a coloca acima do 90^o percentil. Em termos de teores de prata, os dois depósitos estão entre o 10^o e 50^o percentis, o que demonstra a importância econômica deste bem, em relação aos outros bens analisados, na viabilização da exploração destas jazidas.

Figura 21: Tonelagens dos depósitos sedimentar-exalativos.

Figura 22: Teores de zinco em depósitos de Zn - Pb sedimentar-exalativos.

Figura 23: Teores de prata em depósitos sedimentar-exalativos.

Figura 24: Teores de chumbo em depósitos sedimentar exalativos

4.4 Dados de fraturamento

Nas figuras 25, 26, 27 e 28 são apresentados os seguintes dados: a roseta mostrando as principais direções de zonas de fraturamento, o mapa de feições lineares de drenagem, o mapa de isofreqüência de zonas de fraturamento e o mapa de interpretação com as áreas de eixos de maior freqüência de zonas de fraturamento.

Segundo os parâmetros prospectivos do tipo Pannels foi feita uma tentativa de análise dos dados de fraturamento apenas nas áreas de litologias carbonáticas, já que as mineralizações filonares ocorrem encaixadas em fraturas em dolomitos e calcários. Notou-se que a escala regional de trabalho não permite este tipo de análise, ou seja, separar as fraturas em um determinado litotipo. Da mesma maneira, foram analisados os contatos granitos/carbonatos. Conclui-se que este tipo de análise requer uma interpretação das zonas de fraturamento no Vale do Ribeira em escalas maiores que 1:50.000. Optou-se por uma aplicação simplificada dos dados de fraturamento, sem uma correlação geológica direta entre as mineralizações e as diferentes direções de zonas de fraturamento. Isto

foi feito devido a incompatibilidade entre a escala dos dados interpretados e a escala de trabalho necessária para a correlação com as mineralizações, a qual seria de maior detalhe (1:25.000).

Figura 25: Roseta das feições lineares de drenagem

O principal produto obtido a partir da análise regional de fraturamentos é o mapa de áreas de eixos de fraturamento. Teoricamente este produto indica áreas de fraqueza crustal, reativadas ao longo da história geológica. Estas áreas seriam propícias à percolação de fluidos mineralizantes e à deposição dos sulfetos assim como na instalação de sistemas hidrotermais (como zonas de *stockwork*). Contudo notou-se que estas áreas têm correspondência apenas parcial com as ocorrências minerais disponíveis. Isto ocorre devido às limitações do método (discutidas na apresentação da metodologia) e também devido às particularidades das mineralizações como dimensão dos corpos, direções preferenciais, entre possíveis outras. Dessa forma utilizam-se os dados de fraturamento com pesos relativamente menores que os atribuídos a outros parâmetros prospectivos.

Figura 26: Feições lineares interpretadas da rede de drenagem.

Figura 27: Mapas de isofrequência de zonas de fraturamento segundo as direções: N60W, N30W, NS, N45E e N70E (tolerância de 10 graus).

T2 F82

Figura 28: Interpretação das áreas com maior frequência de zonas de fraturamento.

5. INTEGRAÇÃO DE DADOS E SELEÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS

5.1 Definição dos pesos aos parâmetros prospectivos

Para definir a ordenação dos fatores e a escala de favorabilidade para cada fator, foram atribuídos pesos aos parâmetros prospectivos. A definição destes pesos foi feita a partir de dados bibliográficos e de discussões com geólogos que têm experiência nessa área de estudo e no tipo de mineralização abordada. Deste modo, estes profissionais foram encarados como peritos, cujas opiniões foram utilizadas para melhor definir os pesos.

Os pesos finais apresentados nas tabelas a seguir foram definidos, por este autor, com base nas opiniões dos diversos peritos, consideradas tanto do ponto de vista do peso, como número absoluto, quanto das discussões a respeito da justificativa de cada peso.

A análise utilizando ponderadores tem um caráter subjetivo já que não é possível definir pesos para todas as evidências de um modelo, justificando-as a partir de elementos fatuais.

As tabelas 22, 23 , 24 e 25 contém os pesos do modelo Panelas. As tabelas 26, 27, 28 e 29 contém os pesos do modelo Perau.

Tabela 22 :Parâmetros prospectivos - fator litológico - Panelas

Descrição dos parâmetros prospectivos	Perito 1	Perito 2	Perito 3	Perito 4	Perito 5	Perito 6	Final
Peso do fator litológico	10	10	10	10	10	9	10
Descrição							
Mármore dolomítico e calcítico - 2m/4m	10	10	10	10	10	10	10
Rochas cálcio-silicáticas, carbonato xistos com intercalações de mármore - CS	4	4	4	4	6	6	4
Mármore dolomítico - M	6	8	8	8	8	6	6
Alternância de mármore dolomítico e mica xistos - MX	2	4	4	4	6	6	4
Contato entre mármore dolomítico e calcítico com xistos e filitos - 2m-4m/X-F	8	6	6	6	5	6	6

Tabela 23: Parâmetros prospectivos - fator estratigráfico - Panelas

Fator estratigráfico – peso do fator:	8	6	5	8	9	10	8
Descrição							
Subgrupo Lajeado - vl	10	10	10	8	10	10	10
Grupo Itaiacoca - i	6	8	8	6	4	6	8
Formação Água Clara - ac	2	4	4	3	6	6	6

Tabela 24: Parâmetros prospectivos - fator geoquímico - Panelas

Fator geoquímico – peso do fator:	6	5	10	6	7	6	7
Descrição							
Pb	8	8	8	6	8	4	10
Zn	6	6	6	4	6	4	7
Cu	6	6	6	2	4	4	7

Tabela 25: Parâmetros prospectivos - fator estrutural - Panelas

Fator estrutural – peso do fator:	5	5	5	4	8	6	5
Descrição							
Eixos de dobras	8	10	10	4	8	10	10
Eixos de máxima frequência de fraturamento	6	5	5	8	8	0	5
Falhas	4	5	5	6	10	0	5
Lineamentos magnéticos	2	2	2	5	6	0	2

Tabela 26: Parâmetros prospectivos - fator litológico - Perau

Descrição dos parâmetros prospectivos	Perito 1	Perito 2	Perito 3	Perito 4	Perito 5	Perito 6	Final
Fator litológico – peso do submodelo	6	6	10	8	8	7	8
Descrição							
carbonato xistos com intercalações de mármores-CS	10	10	10	10	10	5	10
alternância de mármores dolomíticos e mica xistos - MX	6	5	10	8	8	0	6
xistos com intercalações de quartzitos - AS/AF, metarritmitos e metargilitos - X	4	3	0	5	6	0	3
metavulcânicas básicas e ácidas - B	8	5	5	0	4	5	2

Tabela 27: Parâmetros prospectivos - fator estratigráfico - Perau

Fator estratigráfico – peso do fator:	10	10	5	5	10	10	10
Descrição							
Formação Perau - vp	8	10	8	7	10	5	8
Subgrupo Ribeira - v	5	5	5	4	6	5	5
Corredor externo no contato quartzitos/pelitos da Formação Perau	10	8	10	7	8	10	10

Tabela 28: Parâmetros prospectivos - fator geoquímico - Perau

Fator geoquímico – peso do fator:	8	8	10	8	6	8	7
Descrição							
Pb	7	7	7	5	6	6	10
Zn	6	6	3	3	4	5	5
Cu	5	5	3	3	4	4	5

Tabela 29: Parâmetros prospectivos - fator estrutural - Perau

Fator estrutural – peso do fator:	4	4	3	4	5	2	3
Descrição							
Lineamentos - Falhas	10	7	5	8	8	1	10
Lineamentos Magnéticos	4	3	3	5	4	2	2
Zonas de máxima frequência de fraturamento	5	5	0	3	6	0	4

5.2 Construção dos fatores

Na construção dos fatores foram considerados os pesos, atribuídos aos parâmetros prospectivos, numa escala de 0 a 10, os quais foram reclassificados numa escala contínua de favorabilidade com classes de 0 a 255, devido à exigência do programa Idrisi 2.0 *for Windows*.

A reclassificação dessas escalas utilizou o método lógico *fuzzy*. No caso da reclassificação dos fatores, a escala contínua varia de 255 (favorável) a 0 (não favorável).

O módulo *fuzzy* do IDRISI tem três funções de pertinência implementadas (sigmoidal, linear e em forma de J), além da possibilidade do usuário definir uma função própria. A função de pertinência ainda pode ser definida como crescente, decrescente ou simétrica. Nos dois primeiros casos, utilizam-se dois pontos de controle, no último caso são necessários quatro pontos de controle.

Na construção dos fatores foram utilizadas funções lineares e funções sigmoidais. A função sigmoidal foi utilizada para se definir a variação de um peso em função de distância, como no caso dos corredores ao redor de estruturas lineares. Neste caso os valores no centro dos corredores (falhas, contatos, eixos de dobras, lineamentos magnéticos) permaneceu proporcional ao valor original pré-definido e os valores próximos as bordas destes corredores aumentavam ou diminuíam em função do tipo de função adotada (decrescente ou crescente).

A função linear foi utilizada, nos casos em que apenas havia necessidade de se reescalonar os valores de uma escala (0 -10, pesos dos parâmetros prospectivos) para outra (0 – 255, escala exigida pelo programa Idrisi para a análise), especialmente para a reclassificação de níveis de informação mantendo-se a proporcionalidade dos valores originais.

Nota-se que a lógica *fuzzy* no caso das funções lineares foi empregada apenas para a reclassificação de valores e não para a definição de áreas de incerteza como foi feito no caso das funções sigmoidais aplicadas aos elementos lineares (falhas, eixos, etc).

Os valores adotados no pontos de controle das funções sigmoidais também foram discutidos com os peritos e os valores finais foram ponderados por este autor. No caso das funções lineares foram observados os valores máximos e

mínimos de cada nível de informação. Na construção dos fatores, as diversas classes foram reclassificadas, como descrito nas tabelas a seguir (30, 31, 32, 33, 34 e 35) segundo os modelos prospectivos adotados:

Tabela 30: Reclassificação do fator litológico - Panelas

Classes	Função de pertinência	Pontos de controle: a - b
Litologias favoráveis	linear crescente	0 - 10
Distância dos contatos carbonatos/xistos e filitos	sigmoidal decrescente	100 - 300

Tabela 31: Reclassificação do fator litológico - Perau

Classes	Função de pertinência	Pontos de controle a - b
Litologias favoráveis	linear crescente	0 - 10

Tabela 32: Fator estratigráfico – Panelas/Perau

Classes	Função de pertinência	Pontos de controle: a - b
Unidades favoráveis	linear crescente	0 - 10

Tabela 33: Reclassificação do fator geoquímico – Panelas/Perau

Classes	Função de pertinência	Pontos de controle: a - b
Pb	linear crescente	1 - 42,37
Zn	linear crescente	1 - 15
Cu	linear crescente	1 - 3,33

Tabela 34: Reclassificação do fator estrutural – Panelas

Classes	Função de pertinência	Pontos de controle: a - b
Distância dos eixos de dobras	sigmoidal decrescente	500 - 750
Distância das falhas	sigmoidal decrescente	150 - 250
Distância dos lineamentos magnéticos	sigmoidal decrescente	150 - 250
Eixos de fraturamento	linear crescente	0 - 10

Tabela 35: Reclassificação do fator estrutural – Perau

Classes	Função de pertinência	Pontos de controle: a - b
Distância das falhas	sigmoidal decrescente	500 - 1000
Distância dos lineamentos magnéticos	sigmoidal decrescente	500 - 1000
Eixos de fraturamento	linear crescente	0 - 10

5.3 Análise Booleana

Na análise booleana foram utilizados os fatores (litológico, estratigráfico, geoquímico e estrutural) como níveis de evidência. As classes dos fatores foram reclassificadas para valores binários, ou seja, presença de evidência com valor 1 e ausência de evidência com valor 0.

A análise booleana restringe-se apenas aos fatores/classes binários, mapas/fatores com várias classes ponderadas são tratados a partir de uma análise de índices ponderados, apresentada nos próximos tópicos. Uma característica da lógica booleana é a não utilização de valores intermediários.

Na construção dos fatores, a partir dos elementos que compõem as classes, foi utilizada a operação lógica booleana OR (união) devido à baixa correlação espacial das classes de cada fator, contudo essas classes têm uma correlação alta com o modelo prospectivo adotado em cada caso (Panelas e Perau).

Na definição do produto final, o mapa de favorabilidade booleano, foi utilizada a operação lógica booleana AND (intersecção) devido à necessidade de se encontrar áreas onde havia sobreposição de todos os fatores, ou melhor, onde todas as condições eram satisfeitas.

As tabelas 36 e 37 apresentam os fatores e classes utilizados na análise booleana dos modelos Panelas e Perau.

Tabela 36: Fatores e classes – análise booleana Panelas

Fator	Classe
Litológico	litologia favoráveis
	corredor 300 m – contatos carbonáticas/terrigenas
Estratigráfico	unidades favoráveis
Geoquímico	bacias anômalas – Pb
	bacias anômalas – Zn
	bacias anômalas – Cu
Estrutural	corredor 1500 m – eixos de dobras
	corredor 500 m – falhas
	corredor 1500 m – lineamentos magnéticos
	eixos de fraturamento

Tabela 37: Fatores e classes – análise booleana Perau

Fator	Classe
Litológico	litologia favoráveis
Estratigráfico	unidades favoráveis
Geoquímico	bacias anômalas – Pb
	bacias anômalas – Zn
	bacias anômalas – Cu
Estrutural	corredor 1000 m – falhas
	corredor 1000 m – lineamentos magnéticos
	eixos de fraturamento

O resultado da análise tipo Perau e tipo Pannels é apresentado nas figuras 29 e 30.

A partir do resultado obtido na análise booleana para os modelos Perau e Pannels foi feita uma tabulação cruzada entre os mapas de favorabilidade e as respectivas ocorrências minerais do tipo Perau e Pannels.

A tabulação cruzada é uma operação na qual as classes de uma imagem (análise CLP) são comparadas com as classes de uma outra imagem (ocorrências minerais). Como resultado, apresenta-se uma tabela de correspondência do número de células em cada combinação de classes das duas imagens (tabelas 38 e 39).

Tabela 38: Tabulação cruzada – análise booleana Pannels

Classes da imagem CLP	0 (não favorável)	1 (favorável)
Células com ocorrências	52	30

Tabela 39: Tabulação cruzada – análise booleana Perau

Classes da imagem CLP	0 (não favorável)	1 (favorável)
Células com ocorrências	7	0

Figura 29: Mapa de Favorabilidade - Análise booleana Pannels

Figura 30: Mapa de favorabilidade - Análise booleana Perau.

5.4 Análise por combinação linear ponderada

Este tipo de análise caracteriza-se por utilizar a variabilidade de todas as classes de fatores, que são expressos na forma de dados contínuos, tornando-se possível a utilização de classes de pouca favorabilidade até valores extremos de importância. Contudo, os fatores não são ponderados de forma absoluta, neste tipo de análise; são analisados segundo a importância relativa de cada fator.

A definição da importância relativa de cada fator é feita por comparação aos pares entre os fatores. Esta importância relativa pode ser chamada de peso de compensação. A combinação aos pares é um processo de análise de hierarquia e é baseada no trabalho de Saaty (1977 *apud* Eastman, 1997).

No programa Idrisi, o módulo *weight* possibilita a verificação dos pesos de compensação dados aos fatores. O usuário define um peso a cada par de fatores apresentado segundo sua importância relativa. Os pesos definidos pelo usuário devem considerar os dois fatores envolvidos na análise de determinado par. Estes pesos têm intervalos de valores definidos pelo programa. A consistência dos pesos determinados pelo usuário é calculada a partir dos autovetores da matriz de fatores, como a apresentada nas tabelas 40 e 41.

Tabela 40: Pesos dos fatores - Panelas

	litologia	Estratigrafia	geoquímica	estrutural
Litologia	1	X	X	X
Estratigrafia	1/3	1	X	X
Geoquímica	1/5	1/3	1	X
Estrutural	1/9	1/9	1/7	1

Tabela 41: Pesos dos fatores – Perau

	estratigrafia	litologia	geoquímica	estrutural
estratigrafia	1	X	X	X
litologia	1/3	1	X	X
geoquímica	1/5	1/3	1	X
estrutural	1/9	1/7	1/7	1

O programa apresenta a seguinte ordenação de pesos quando se analisam quatro fatores (tabela 42):

Tabela 42: Escala de pesos – Idrisi

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	fortemente	moderadamente	igualmente	moderadamente	fortemente	extremamente		
Pouco importante						Muito importante		

Exemplificando, quando é feita a comparação da estratigrafia com a litologia, o valor 1/3 significa que a estratigrafia tem uma importância relativa moderadamente menor do que a litologia e assim sucessivamente. Se fosse colocado um valor igual a 5, isto significaria que a estratigrafia é moderadamente a fortemente mais importante do que a litologia. De modo geral, os fatores, para a análise de favorabilidade tipo Panelas, podem ser ordenados, em termos absolutos, na seguinte ordem: litologia, estratigrafia, geoquímica e estrutural. Os pesos absolutos (pesos definidos para os fatores) neste tipo de análise não são utilizados, mas sim os pesos relativos definidos na tabela acima.

Tabela 43: Pesos de compensação obtidos a partir do módulo WEIGHT para a análise Panelas

Fator	Peso
Litológico	0,55
Estratigráfico	0,28
Geoquímico	0,14
Estrutural	0,03

Tabela 44: Pesos de compensação obtidos a partir do módulo WEIGHT para a análise Perau

Fator	Peso
Litológico	0,26
Estratigráfico	0,56
Geoquímico	0,14
Estrutural	0,04

A partir dos pesos de compensação (tabelas 43 e 44) e dos pesos atribuídos pelos peritos para cada classe apresenta-se um quadro resumo (tabelas 45 e 46). Este quadro apresenta os pesos utilizados nas análises. O resultado apresentado na soma ponderada corresponde ao maior valor possível em um *pixel* derivado da sobreposição de classes de valor máximo para cada

fator. Por exemplo, para saber o valor de um *pixel*, na análise por combinação linear Painéis, cujo fator litológico fosse o mármore (2m/4m), o fator estratigráfico o Subgrupo Lajeado, o fator geoquímico o Pb e o fator estrutural um eixo de dobra, executa-se a seguinte operação algébrica:

$$(255 \times 0,55) + (255 \times 0,28) + (255 \times 0,03) + (255 \times 0,14) = 255$$

Nota-se que o quadro resumo é simplificado, pois não foram observados os casos onde havia sobreposição de informações em um mesmo fator. Por exemplo, no caso do fator geoquímico, onde havia casos de uma mesma bacia anômala para chumbo, zinco e cobre. Primeiramente gerou-se uma imagem para as anomalias de chumbo, outra para zinco e uma terceira para cobre. Somadas as três imagens, as áreas anômalas nos três elementos teriam um valor igual a 612 ($255 + 178,5 + 178,5$), mas esta imagem foi reclassificada para um intervalo de 0–255. Este procedimento foi aplicado para todos os fatores utilizados sempre que havia sobreposição de classes dentro de um mesmo fator.

Tabela 45: Quadro resumo simplificado – análise por combinação linear - Painéis

Fator	Classe	Peso da Classe (0 – 255)	Peso de compensação	Avaliação	Soma dos Pesos	Soma ponderada
Litologia	Mármore (2m/4m)	255		140,25		
	Mármore dolomíticoM	153		84,15		
	Cálcio-silicáticas (CS)	102	0,55	56,10		
	Micaxistos (MX)	102		56,10		
	Contatos mármore/ xistos	153		84,15		
Estratigrafia	Subgrupo Lajeado	255		71,40		
	Grupo Itaiacoca	204	0,28	57,12		
	Fm. Água Clara	153		42,84	1	255*
Estrutural	Eixos de dobras	255	0,03	7,65		
	Falhas	127,5		3,83		
	Lineamentos magnéticos	51		1,53		
	Eixos de máxima frequência de fraturamento	127,5		3,83		
Geoquímica	Pb	255		35,7		
	Cu	178,5	0,14	24,99		
	Zn	178,5		24,99

Figura 31: Fluxograma do processo de análise por combinação linear ponderada

Figura 32: Mapa de favorabilidade - Análise por combinação linear ponderada - Pánelas.

Figura 33: Mapa de favorabilidade - Análise por combinação linear ponderada - Perau.

5.5 Análise por média ponderada ordenada

Neste método, além dos pesos dados aos fatores (pesos de compensação), como na combinação linear ponderada, são utilizados pesos de ordenação. Estes são utilizados no controle da compensação entre os fatores e são os pesos atribuídos aos fatores e que não foram utilizados na análise por combinação linear ponderada, sendo definidos numa escala de 0 a 1. Deste modo, os pesos definidos para os fatores foram reescalados segundo o apresentado nas tabelas a seguir.

Tabela 49: Pesos de ordenação - Painelas

Fatores	Peso definido (0 – 10)	Peso de ordenação (0 – 1)
litológico	10	0.33
estratigráfico	8	0.27
geoquímico	7	0.23
estrutural	5	0.17

Tabela 50: Pesos de ordenação - Perau

Fatores	Peso definido (0 – 10)	Peso de ordenação (0 – 1)
Estratigráfico	10	0,36
Litológico	8	0,29
Geoquímico	7	0,25
Estrutural	3	0,10

A principal diferença entre as análises CLP e MPO é a consideração de uma ordem de importância distinta para cada fator, ou seja, é feita a multiplicação dos pesos de compensação pelos pesos de ordenação, os quais foram previamente definidos. Na análise MPO os ponderadores desenvolvidos para os fatores não tem somatória igual a 1 como na análise CLP.

De maneira semelhante à análise CLP, a partir dos pesos de compensação, dos pesos de cada classe e dos pesos de ordenação para cada fator, atribuídos pelos peritos, apresenta-se um quadro resumo (tabelas 53 e 54). Este quadro incorpora os pesos utilizados nas análises. O resultado apresentado na soma ponderada corresponde ao maior valor possível em um *pixel* derivado da sobreposição de classes de valor máximo para cada fator, como na análise CLP. Por exemplo, para saber o valor de um *pixel*, na análise por combinação linear

Panelas, cujo fator litológico fosse o mármore (2m/4m), o fator estratigráfico o Subgrupo Lajeado, o fator geoquímico o Pb e o fator estrutural um eixo de dobra, executa-se a seguinte operação algébrica:

$$(255 \times 0,55 \times 0,33) + 255(\times 0,29 \times 0,27) + (255 \times 0,14 \times 0,23) + (255 \times 0,03 \times 0,17) = 75,76$$

Todo o processo de análise por média ponderada ordenada é apresentado em fluxograma (figura 34), o qual é um esquema das atividades e subprodutos gerados durante a análise e permite comparar as diferenças entre os processos de análise CLP e MPO.

Foi feita a tabulação cruzada entre as ocorrências minerais do tipo Perau e do tipo Panelas utilizaram-se os respectivos resultados das análises por média ponderada ordenada (vide tabelas 51 e 52).

Tabela 51: Tabulação cruzada - Panelas - análise por média ponderada ordenada.

classes da imagem MPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Células com ocorrências	0	0	0	0	0	6	52	14	9	1
Total de células	4197114	357228	295782	69337	49548	64215	137082	28264	7269	3207

Tabela 52: Tabulação cruzada - Perau - análise por média ponderada ordenada.

classes da imagem MPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Células com ocorrências	0	0	1	0	0	2	0	1	3	0
Total de células	3995420	503453	520283	140375	28784	15831	2875	233	1368	506

Figura 34: Fluxograma do processo de análise por média ponderada ordenada

Tabela 53: Quadro resumo simplificado – análise por média ponderada ordenada - Painelas

Fator	Classe	Peso da Classe (0 – 255)	Peso de compensação	Peso de ordenação (peritos)	Peso Modificado	Avaliação	Soma dos Pesos	Soma ponderada
Litológico	Mármore (2m/4m)	255				45,9		
	Mármore dolomíticoM	153				27,54		
	Cálcio-silicáticas (CS)	102	0,55	0,33	0,18	18,36		
	Micaxistos (MX)	102				18,36		
	Contatos mármore/ xistos	153				27,54		
Estratigráfico	Subgrupo Lajeado	255				20,4		
	Grupo Itaiacoca	204	0,28	0,27	0,08	16,32	0,295	75,7605
	Fm. Água Clara	153				12,24		
Estrutural	Eixos de dobras	255				1,275		
	Falhas	127,5				0,6375		
	Lineamentos magnéticos	51	0,03	0,17	0,005	0,255		
	Eixos de máxima frequência de fraturamento	127,5				0,6375		
Geoquímico	Pb	255				7,65		
	Cu	178,5	0,14	0,23	0,03	5,355		
	Zn	178,5				5,355		

Tabela 54: Quadro resumo simplificado – análise por média ponderada ordenada - Perau

Fator	Classe	Peso da Classe (0 – 255)	Peso de compensação	Peso de ordenação (peritos)	Peso Modificado	Avaliação	Soma dos Pesos	Soma ponderada
Litológico	Carbonato xistos (CS)	255				19,227		
	Micaxistos (MX)	153				11,5362		
	Xistos (AS/AF, X)	76.5	0,26	0,29	0,0754	5,7681		
	Metavulcânicas (B)	51				3,8454		
Estratigráfico	Formação Perau (vp)	204				41,1264		
	Subgrupo Ribeira (v)	127,5	0,56	0,36	0,2016	25,704		
	Corredor externo no contato quartzitos/pelitos da Formação Perau	255				51,408	1	255
Estrutural	Falhas	255				1,02		
	Lineamentos magnéticos	51	0,04	0,10	0,004	0,204		
	Zonas de máxima frequência de fraturamento	102				0,408		
Geoquímico	Pb	255				8,925		
	Cu	127,5	0,14	0,25	0,035	4,4625		
	Zn	127,5				4,4625

Figura 35: Mapa de favorabilidade - Análise por média ponderada ordenada - Painelas.

Figura 36: Mapa de favorabilidade - Análise por média ponderada ordenada - Perau.

5.6 Comparação entre as análises por combinação linear ponderada e média ponderada ordenada

A comparação foi feita a partir de um mesmo modelo prospectivo comparando-se dois métodos de análise diferentes para a mesma área. Executaram-se duas comparações, uma para o modelo Perau e outra para o Painelas, observando-se os métodos por combinação linear ponderada e média ponderada ordenada.

A comparação entre os métodos de análise foi feita para verificar a consistência dos resultados, ou seja, buscou-se definir, dado um mesmo modelo prospectivo, quais as áreas de mesma classe de favorabilidade que eram coincidentes segundo diferentes métodos de análise. Além disso, definiu-se a correlação entre os mapas de favorabilidade resultantes das análises por tabulação cruzada.

As tabulações cruzadas entre as imagens resultantes das análises são apresentadas nas tabelas 55 e 56. Os números em destaque correspondem aos maiores valores proporcionais por classe.

Tabela 55: Tabulação cruzada proporcional - tipo Painelas

Combinação linear ponderada	Média ponderada ordenada										
	Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Total
	1	0,8055	0	0	0	0	0	0	0	0	0 0,8055
	2	0,0002	0,0168	0	0	0	0	0	0	0	0 0,017
	3	0	0,0518	0,0083	0	0	0	0	0	0	0 0,06
	4	0	0	0,0485	0,0054	0	0	0	0	0	0 0,0539
	5	0	0	0	0,0079	0,004	0	0	0	0	0 0,0119
	6	0	0	0	0	0,0055	0,0006	0	0	0	0 0,0061
	7	0	0	0	0	0	0,0117	0,0254	0	0	0 0,0372
	8	0	0	0	0	0	0	0,0009	0,0012	0,0004	0 0,0025
	9	0	0	0	0	0	0	0	0,0042	0,001	0 0,0052
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0006 0,0006
Total		0,8057	0,0686	0,0568	0,0133	0,0095	0,0123	0,0263	0,0054	0,0014	0,0006 1

Obs: Os valores no campo "classes" correspondem as classes de favorabilidade. Os valores em vermelho correspondem aos maiores valores proporcionais por classe.

Tabela 56: Tabulação cruzada proporcional - tipo Perau

	Classes	Média ponderada ordenada										Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Combinação linear ponderada	1	0,7092	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7092
	2	0,0578	0,0512	0	0	0	0	0	0	0	0	0,109
	3	0	0,0179	0,0897	0,008	0	0	0	0	0	0	0,1156
	4	0	0,0275	0,0102	0,0172	0,0011	0	0	0	0	0	0,0559
	5	0	0	0	0,0014	0,0023	0,0001	0	0	0	0	0,0038
	6	0	0	0	0,0003	0,001	0,0006	0	0	0	0	0,0019
	7	0	0	0	0	0,0012	0,0008	0,0002	0	0	0	0,0022
	8	0	0	0	0	0	0,0015	0,0003	0	0	0	0,0019
	9	0	0	0	0	0	0	0	0,0001	0	0	0,0001
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0002	0,0001	0,0003
Total		0,767	0,0966	0,0999	0,0269	0,0055	0,003	0,0006	0	0,0003	0,0001	1

Obs: Os valores no campo "classes" correspondem as classes de favorabilidade. Os valores em vermelho correspondem aos maiores valores proporcionais por classe.

As matrizes nas tabelas 55 e 56 apresentam a distribuição proporcional de *pixels* classificados segundo a correspondência entre as análises por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada. Se a correlação entre as duas análises fosse ideal (100 % de correlação) teríamos uma matriz cuja diagonal principal estaria preenchida com os valores correspondentes a proporção de *pixels* por classes, as outras posições da matriz estariam em branco. Nota-se nas matrizes apresentadas (tabelas 55 e 56) que há uma tendência de preenchimento dos valores ao longo da diagonal principal, embora os maiores valores proporcionais de *pixels* nem sempre estejam na diagonal principal.

A comparação espacial entre os dois tipos de análise é apresentada nas figuras 37 e 38, para os modelos Pannels e Perau respectivamente. Estas figuras apresentam as áreas onde há coincidência de valores de favorabilidade para os dois modelos estudados. Em cores estão as classes de favorabilidade; a cor branca corresponde as áreas onde não há coincidência entre os métodos. Observa-se que para os dois casos, Perau e Pannels, a classe 1 (não favorável) é coincidente em praticamente toda sua extensão. A partir da classe de favorabilidade 2 até a classe 10 pode-se observar o decréscimo no número de áreas coincidentes. Nas figuras 39 e 40 são apresentados detalhes comparativos entre as análises para os modelo Perau e Pannels. Os números plotados indicam os valores das classes de favorabilidade e os pontos verdes correspondem as ocorrências minerais filonares e estratiformes, correspondentes aos modelos Pannels e Perau respectivamente.

Figura 37: Áreas coincidentes entre as análises de favorabilidade por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada para o tipo Pannels.

Figura 38: Áreas coincidentes entre as análise de favorabilidade por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada para o tipo Peraus.

Combinação linear ponderada

Média Ponderada Ordenada

Obs: Pontos brancos correspondem às ocorrências filonares e os valores correspondem às classes de favorabilidade..

Figura 39: Detalhe das análises por Média ponderada ordenada e combinação linear ponderada para o tipo Peraus, na região da Fm. Peraus.

Combinação linear ponderada

Média ponderada ordenada

Obs: Pontos pretos correspondem às ocorrências filonares e os valores correspondem às classes de favorabilidade..

Figura 40: Detalhe das análises, por média ponderada ordenada e combinação linear ponderada, para o tipo Panelas, na região de Adrianópolis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Os resultados das análises executadas serviram tanto para o teste dos modelos prospectivos adotados, quanto para a comparação entre os diferentes métodos de análise por geoprocessamento. A seguir apresentam-se as conclusões baseadas nos resultados e nos métodos empregados durante o desenvolvimento do trabalho:

1. A análise booleana caracterizou-se por definir extremos dentro das possibilidades previstas nos modelos, ou seja, este tipo de análise gerou um mapa apenas com as áreas onde havia sobreposição de todas as informações previstas nos parâmetros prospectivos. A tabulação cruzada entre os mapas de favorabilidade e as ocorrências minerais estratiformes e filonares para os modelos Perau e Panelas, respectivamente, demonstrou que a análise booleana não é adequada para se testar modelos prospectivos por geoprocessamento. Esta conclusão é reforçada quando feita a comparação entre a análise booleana e os outros tipos de análise executados.
2. Para o modelo Panelas, as análises por combinação linear ponderada (CLP) e por média ponderada ordenada (MPO), apresentaram um bom resultado, pois nenhuma ocorrência mineral ficou em área de baixa favorabilidade, ou seja, em área cuja classe estivesse no intervalo 1 a 5. Em ambos os casos mais de 60% das ocorrências caíram na classe 7, a qual indica boa a alta favorabilidade. De uma a duas ocorrências caíram em áreas de classe 10, lembrando-se que esta classe tem pouca extensão em área. Conclui-se que para a definição de alvos para pesquisa mais detalhada, no caso do tipo Panelas, as áreas correspondentes a classes maiores ou iguais a sete são as mais adequadas do ponto de vista geológico.
3. Para o modelo Panelas, são apresentados resultados semelhantes segundo os dois tipos de análise (CLP e MPO). Em termos absolutos há baixa correspondência dos valores de favorabilidade entre os dois métodos. Observando-se a matriz de correlação entre as análises (tabela 55) é bastante

nítido o preenchimento da diagonal principal, demonstrando uma forte tendência de correlação entre os dois métodos.

4. Para o modelo Perau, as análises (CLP e MPO) também apresentaram um resultado positivo. Contudo, o número de ocorrências conhecidas é pequeno (7 ocorrências), o que pode causar um aumento substancial do erro na análise dos resultados. Nos dois casos, seis de um total de sete ocorrências caíram em classes de boa a alta favorabilidade, cujos valores eram maiores que 6.
5. No caso da análise para o modelo Perau pode-se definir como áreas-alvo para pesquisa aquelas cujas classes de favorabilidade tenham valores maiores ou iguais a seis.
6. As duas análises (CLP e MPO), no caso do modelo Perau, têm distribuição espacial e ordem de grandeza de valores de favorabilidade coerentes entre si. Embora os mapas de favorabilidade não sejam idênticos, estes demonstram as mesmas tendências em termos de distribuição.
7. A análise de favorabilidade, utilizando-se a média ponderada ordenada (MPO), mostrou-se um processo mais flexível do que a análise por combinação linear ponderada (CLP). Além disso a análise MPO discrimina melhor, espacialmente, as classes de favorabilidade, ou seja, a análise MPO distingue um número maior de áreas de favorabilidade diferentes em relação a análise CLP.
8. A análise CLP caracterizou-se pela compensação nos pesos dos fatores, apresentando um resultado mais conservador do que a análise MPO. Também caracteriza-se pela facilidade e simplicidade de aplicação com resultados bastante parecidos com a análise MPO.
9. Entre os SIGs utilizados destacam-se o Idrisi e o ArcInfo. O Idrisi é um sistema que utiliza basicamente arquivos *raster* e que é mais adequado às etapas de análise dos dados. O ArcInfo é um sistema basicamente vetorial e se mostrou adequado às etapas de montagem e gerenciamento de bancos de dados, especialmente dos bancos que envolvem uma grande quantidade de informações. Uma diferença conceitual importante entre esses sistemas é verificada quando se deseja realizar operações entre níveis de informação diferentes ou em apenas um nível de informação: o Idrisi aplica os operadores diretamente na imagem correspondente ao nível de informação; o ArcInfo

aplica os operadores em um banco de dados textual, correspondente ao nível de informação analisado.

10. Os resultados obtidos mostram bastante coerência entre os parâmetros prospectivos adotados e as ocorrências minerais. Os métodos de análise utilizados mostraram-se adequados às condições do Vale do Ribeira e aos dados disponíveis.
11. Em relação as hipóteses definidas para os modelos prospectivos adotados, verificou-se, no caso do modelo Perau que as áreas mais favoráveis estão associadas aos elementos estratigráficos e litológicos, ou seja, estas áreas associam-se à presença de metassedimentos, especialmente ao contato entre quartzitos e xistos da Formação Perau.
12. Os contatos entre xistos e litologias carbonáticas mostrou-se eficiente na definição de áreas favoráveis, para o tipo Panelas, principalmente na região que abrange as minas do Rocha, Paqueiro e Quarenta Oitavas, o que é um reflexo dos controles lito-estruturais destas mineralizações.
13. Finalmente, a definição de áreas de fraqueza estrutural segundo a interpretação de feições retilíneas de drenagem não foi suficientemente detalhada em relação à dimensão das mineralizações presentes na área. O produto obtido demonstra a relação desta interpretação com as estruturais regionais, não sendo o mais adequado para a análise na escala utilizada neste estudo.

6.2 Recomendações

É recomendável a utilização do geoprocessamento, na análise de favorabilidade, pois esta permite o uso de técnicas não aplicáveis manualmente e é fundamental na otimização dos trabalhos de organização e manutenção de grandes bancos de dados espaciais, gerados durante os trabalhos de prospecção mineral.

Devido ao resultado positivo apresentado, recomenda-se a utilização dos métodos aplicados neste trabalho em áreas com condições semelhantes às estudadas. Em áreas desconhecidas ou com poucos dados geológicos,

recomenda-se a utilização de sensoriamento remoto e aerogeofísica em conjunto com geoprocessamento (SIG) balizada por um modelo prospectivo bem definido, seguindo os métodos apresentados, o que pode gerar um mapa de áreas favoráveis a baixos custos, com as seguintes ressalvas:

- o resultado teria um nível de confiança mais baixo;
- não haveria possibilidade de se testar os resultados obtidos sem pesquisa detalhada.

Alguns fatores geológicos para o modelo prospectivo tipo Perau não foram utilizados, tais como a presença de formação ferrífera na capa dos depósitos e os níveis baritíferos. Estes fatores não foram utilizados devido à incompatibilidade entre a escala de trabalho utilizada e a escala de mapeamento necessária para a detecção destes. Recomenda-se a utilização destes fatores na forma de pontos de ocorrência mineral de barita, hematita ou óxidos de ferro disponíveis no banco de dados CPRM-Microsiga (1994).

É recomendada a utilização de dados aerogeofísicos, em escala de maior detalhe, visando a detecção de elementos indicadores de mineralização como padrões de alteração hidrotermal a partir de dados gamaespectrométricos.

No caso do modelo Painéis a aplicação dos métodos utilizados em áreas menores (escala de maior detalhe), acompanhado de levantamentos de campo de dados estruturais, permitiria uma melhor definição de alvos dentro das unidades litoestratigráficas carbonáticas, refinando-se a separação das áreas de alta favorabilidade. Do mesmo modo, recomenda-se a interpretação dos dados de zonas de fraturamento, em escala de maior detalhe (1:25.000), considerando-se as atitudes dos filões descritas na bibliografia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIMA, H. (1978) A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points. ACM Transactions on Mathematical Software v. 4, n. 2, p. 148–159.
- ALMEIDA, F.F.M. (1956) Novas ocorrências de fósseis no Pré-Cambriano brasileiro. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 29, n. 1, p. 63-72.
- ALIYEV, A. (1979) Regional fracturing of the Pamirs and its metallogenic significance. Doklady Akad. Nauk, USSR, v. 250, p. 90-93.
- ARONOFF, S. (1989) Geographic Information Systems: A Management Perspective. Ottawa, WDL Publications, 294p.
- BARBOSA, A.F. ; GUIMARÃES, J.E.P. (1946) Contribuição ao conhecimento da Província Metalogenética da região da Ribeira, Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 2., Petrópolis, 1946. Anais. Petrópolis, v. 2, p. 35-100.
- BARBOSA, A. F. (1941) Geologia e Petrologia na região de Apiaí, Estado de São Paulo. São Paulo, 76 p. (Tese para concurso da cadeira de “Geologia, Petrografia e Mineralogia”) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, A. F. (1955) Estrutura e Gênese da Jazida de Chumbo de Furnas, Estado de São Paulo. São Paulo, 52 p. (Tese de Concurso de Livre Docência da Cadeira de “Jazidas Minerais, Legislação de Minas”) - Escola Politécnica, Universidade São Paulo.
- BARBOUR, A.P. ; OLIVEIRA, M.A.F. (1979) Pb, Zn, Cu e Ba do Distrito Perau - Modelo Sedimentar para Sulfetos do Vale do Ribeira. Boletim IG, v. 10, p. 97-120.

- BARBOUR, A.P. ; OLIVEIRA, M.A.D. ; HYPOLITO, R. (1984) Geologia e Gênese do depósito estratiforme de Pb da Mina da Barrinha, Vale do Ribeira, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro, SBG, p. 3641- 3657.
- BARBOUR, A.P. ; MACEDO, A.B. ; HYPOLITO, R. (1988) Correlação de elementos prata, chumbo, zinco e ferro com bário em algumas jazidas sulfetadas do Vale do Ribeira, Estado de São Paulo e Paraná. Boletim IG - USP, Série Científica, v. 19, p. 1-21.
- BARBOUR, A.P. ; BRITO NEVES, B.B. ; MEDEIROS, R.A. (1990) Algumas implicações tectônicas na gênese das mineralizações sulfetadas do tipo Pannels no Vale do Ribeira, SP, PR. Revista Brasileira de Geociências, v. 20, n. 1-4, p. 46-54.
- BARBOUR, A.P.; MACEDO, A.B. (1991) Contribuição ao Conhecimento da Distribuição Espacial dos elementos Cu, Pb, Zn, Fe, e Ba no distrito do Perau, PR. Boletim IG - USP. Publicação Especial, Jornadas Científicas, v. 9, p. 103-106.
- BASTIAN, L. (1946) Ocorrências de minérios de chumbo em Lajeado, município de Iporanga, Estado de São Paulo. In: Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia, 2., Petrópolis, 1946. Anais. Petrópolis, v. 2, p. 199-221.
- BATES, R.L. & JACKSON, A.J., (1987) Glossary of Geology, American Geological Institute.
- BEDELL, R.L. (1994) GIS for the geosciences – shortcourse. Sparks, NV, Homestake Mining Co., 193 p.
- BEISL, C.H. (1996) Integração de dados de sensoriamento remoto, geologia, gravimetria e topografia para o estudo do arcabouço estrutural em uma parte

do compartimento nordeste da bacia do Recôncavo. São José dos Campos, 109 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

BETTENCOURT, J.S. ; WERNICK, E. ; PENALVA, F. (1976) Contribuição à metalogenia do Sistema de Dobramentos Ribeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG, v. 1, p. 169-180.

BIGARELLA, J.J. ; SALMUNI, R. (1956a) Estudos preliminares na série Açungui V - Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiu (Estado do Paraná). Dusenía, v. 7, n. 6, p. 317-323.

BIGARELLA, J.J. ; SALAMUNI, R. (1956b) Estudos preliminares na série Açungui VII - Algumas estruturas singenéticas nos dolomitos da Formação Capiu. Arq. Biol. Tecnol., IBPT, Curitiba, 11:197-205.

BIGARELLA, J.J. ; SALAMUNI, R. (1958a) Contribuição à geologia da região sul da série Açungui, Estado do Paraná. Boletim Paulista de Geografia, v. 29, p. 1-14.

BIGARELLA, J.J. ; SALAMUNI, R. (1958b) Estudos preliminares na série Açungui VIII - A Formação Votuverava. Boletim Geologia. Instituto de História Natural, n. 2, p.1-6.

BIONDI, J.C. (1983) Mapa geológico da área do embasamento do Estado do Paraná. Curitiba, Mineropar, Secretaria da Indústria e Comércio do Paraná. (escala 1:250.000).

BONHAM-CARTER, G.F. (1994) Geographic Information Systems for Geoscientists, Ottawa, Pergamon, 397p.

BRAGHIN, M.A. (1998) Utilização das lógicas Booleana e Fuzzy para análise metalogenética na folha Pilar do Sul (SP) via sistema de informações

geográficas. Campinas, 112 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.

BURROUGHS, P.A. (1987) Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment. Oxford, Clarendon Press, 193 p.

CAMPANHA, G.A.C. ; GIMENEZ FILHO, A. ; CAETANO, S.L.V.; PIRES, F.A. ; DANTAS, A.S.L. ; TEIXEIRA, A.L. ; DEHIRA, L.K. (1986) Geologia e estratigrafia da região das folhas Iporanga e Gruta do Diabo, Vale do Ribeira, São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. Anais. Goiânia, SBG, v. 2, p.1058-1073.

CAMPANHA, G.A.C. ; BISTRICHI, C.A. ; ALMEIDA, F.M.A. de (1987) Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Apiaí. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO de GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1987. Atas. SBG, v. 2, p. 725-742.

CAMPANHA, G.A.C. (1991) Tectônica proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. São Paulo, 296p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CAMPANHA, G. A. C. ; GIMENEZ FILHO, A. ; BISTRICHI, C.A. (1995) Geologia da Folha Itararé em 1:250 000. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, Águas de São Pedro, 1995. Boletim. Águas de São Pedro, _SBG, p. 111.

CAMPANHA, G.A.C. ; GIMENEZ FILHO, A. ; BISTRICHI, C.A. (1996) Geologia da Folha Itararé. São Paulo, IPT, inédito, 31p. (Minuta de Relatório)

CAMPANHA, G.A.C. ; SADOWSKI, G.R. (1998) Tectonics of southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain), Journal of African Earth Sciences, Special Abstracts issue, v. 27, n. 1A, p. 220-221.

- CASSEDANE, J. (1972) Catalogue descriptif des gites de plomb et zinc du Brésil. 336p. (Tese - Doutorado) - Université de Clermont.
- CHIODI FILHO, C. ; ALEGRI, V. ; BATOLLA F. ; FERREIRA, J.C.G. (1982) Geologia e mineralizações da região que abrange as minas do Rocha, Paqueiro e Barrinha, Vale do Ribeira, PR e SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais. Salvador, SBG, v. 3, p. 1037-1048.
- COX, D.P. ; SINGER, D.A. (1986) Mineral deposit models. USGS Bulletin, n. 1693, p.1-391.
- CPRM-ENCAL (1979) Projeto Aerogeofísico São Paulo-Rio de Janeiro Levantamento Aeromagnetométrico e Aerogamaespectrométrico. Relatório Final Sub-áreas II e IV, Encal S/A, 48p.
- CPRM-GEOFOTO (1978) Projeto Serra do Mar Sul - Compilação de Dados do Levantamento Aeromagnetométrico na região da Serra do Mar nos Estados de Santa Catarina e Paraná. Relatório Final, Geofoto Ltda, 48p.
- CPRM-Microsiga (1994) Sistema de Informações Geológicas do Brasil. Rio de Janeiro, CPRM. (CD-ROM)
- CPRM-BARMP (1997) Brazil Airborne Radiometric Mapping Project. Technical Report and Survey Atlas. CPRM, Rio de Janeiro.
- CREPANI, E. (1987) Análise de fraturas através de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da região da chapada do Araripe - NE do Brasil. São Paulo, 139 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- DAITX, E.C. ; MORESCHI, J.B. ; BETTENCOURT, J.S. ; RUBERTI, E. ; BELLO, R.M.S. ; FERRER, L.M. (1995) Gênese da jazida de Furnas: estabelecimento de um modelo genético para depósitos filonares de Pb (Zn, Ag) em rochas

carbonatadas do Vale do Ribeira, Estado de São Paulo. Relatório Final de Projeto de Pesquisa, 148 p. (Processo Fapesp 91/2842-8)

DAITX, E.C. (1996) Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas de Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR). Rio Claro, 453 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

DAITX, E.C. (1997) Análise metalogenética das mineralizações de metais básicos e preciosos na região do Vale do Ribeira, estados do Paraná e São Paulo. Relatório Trienal - maio/1994 a maio/1997, Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, UNESP, 103 p.

DAMASCENO, E.C. (1967) Geologia da mina do Paqueiro. São Paulo, 69 p. (Tese - Doutorado) - Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.

DAMASCENO, E.C. (1970) Geologia da Mina do Paqueiro. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 42, n. 3, p. 535-553.

DUDA, R.O. ; HART, P.E. ; NILSSON, N.J. ; SUTHERLAND, G.L. (1978) Semantic network representations in rule-based inferenc systems. In: WATERMAN, D.A.; HAYES-ROTH, F. (eds) Pattern-Directed Inference Systems, Academic Press, p. 203-221.

EASTMAN, J.R. ; JIN, W. ; KYEM, A.K. ; TOLEDANO, J. (1995) Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 61, n. 5, p. 539-547.

EASTMAN, J.R. (1997) Idrisi for Windows, User's Guide, version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester.

- ESRI (1995) Performing Analysis with GRID - Suitability Modeling and Hydrologic Analysis. In: WORKSHOP OF THE ESRI USER CONFERENCE, Proceedings v. 1, p. 372-382.
- EVANS, A.M. (1992) Ore geology and industrial minerals, an introduction. Oxford, Blackwell, 389 p. (Geoscience texts)
- FIGUEIREDO, B.R. (coordenador) (1988) Implantação do índice de depósitos minerais do estado de São Paulo – IDEM/SP (Contrato UNICAMP/FUNCAMP – 479/87 e Pró-Minério/SCT – 1032/86), Relatório técnico final, 51 p., São Paulo, Unicamp (disquetes).
- FINLOW-BATES, T. (1980) The chemical and physical control on the genesis of submarine exhalative orebodies and their implications for formulating exploration concepts. A review. Geologisches Jahrbuch, Serie D, n.40, p.131-168.
- FLEISCHER, R. (1976) A pesquisa de chumbo no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG, v. 1, p. 19-32.
- FOJT, B. (1966) Keratophyre rocks of the kies deposits in the Jeseniky area. In: Fediuk, F. ; Fisera, M. (eds) Paleovulcanites of the Bohemian Massif. PFF UK, Praha, p. 107-114.
- FRITZONS Jr, O. ; PIERKARZ, G.F. ; FALCADE, D. (1982) Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais. Salvador, SBG, v. 3, p. 987 - 1001.
- GEOFREY, D.R. ; SANTOS, T.D. (1942) Nota sobre a geologia de Apiaí. Mineração & Metalurgia, v. 6, n. 33, p. 109-110.

- GNOJEK, I. ; PRICHYSTAL, A.A. (1985) New zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in Northern Moravia (Czechoslovakia). Geoexploration, v. 23, p. 491-502.
- GOODFELLOW, W.D. ; LYDON, J.W. ; TURNER, R.J.W. (1993) Geology and Genesis of Stratiform Sediment - hosted (sedex) Zinc-Lead-Silver Sulphide Deposits. In: KIRKHAM, R.V. ; SINCLAIR, W.D. ; THORPE, R.I. ; DUKE, J.M. (EDS) Mineral Deposit Modeling, Toronto, G.A.C., p. 201-251. (Geological Association of Canada, Special Paper ,40)
- GUIMARÃES FILHO, H.A. (1994) Metodologias para intercâmbio de dados entre programas de CADD, SGBD, PDI e SGI em projetos de exploração mineral. Campinas, 118 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.
- GUNN, P. ; MAIDMENT, D. ; MILLIGAN, P.R. (1997) Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17, n. 2, p. 175-185.
- HAMA, M. ; ALGARTE, J.P. (1986) Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais, 1:250.000 - Folha Itararé - SG.22-X-B. São Paulo, CPRM, 2 v.
- HASUI, Y. ; SADOWSKI, G.R. (1976) Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, v. 6, n. 3, p. 182-200.
- HASUI, Y. ; OLIVEIRA, M.A.F. (1984) Província Mantiqueira, Setor Central. In: ALMEIDA, F.F.M. de ; HASUI, Y. (eds) O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blücher, p.308-344.
- HASUI, Y. ; COPPEDÊ, A.J. ; CAETANO, A.C. ; SANCHEZ, L.H. (1992) Aspectos geológicos-estruturais na área da mina de Furnas (Município de Iporanga, SP)

e o problema de fluxo de efluentes. In: HASUI, Y. ; MIOTO, J.A. (eds) Geologia Estrutural Aplicada - Estudo de casos. São Paulo, IPT, p. 399-410.

IBGE (1990a) Mapa Magnético do Brasil – elemento intensidade total. Rio de Janeiro, IBGE/Diretoria de Geociências/Observatório Nacional. (Escala 1:10.000.000).

IBGE (1990b) Mapa Magnético do Brasil – elemento declinação. Rio de Janeiro, IBGE/Diretoria de Geociências/Observatório Nacional. (Escala 1:10.000.000).

JENSEN, M.L. ; BATEMAN, M. (1981) Economic Mineral Deposits. New York, John Wiley & Sons, 593 p.

KATZ, S.Z. (1991) Emulating Expert System with Raster GIS. Computers & Geoscience, v. 17, p. 1033-1050.

KNECHT, T. (1938) Jazidas de minério de chumbo - Contribuição à gênese de algumas jazidas de minério de chumbo nos municípios de Apiaí e Capão Bonito, São Paulo. Mineração e Metalurgia, v. 3, n. 13, p. 41-43.

KEEFER, B.J. ; SMITH, J.L. ; GREGOIRE, T.G. (1991) Modeling and Evaluating the effects of stream mode digitizing errors on map variables. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 557, n. 7, p. 957-963.

LARGE, D.E. (1980) Geological parameters associated with sediment hosted, submarine exhalative Pb-Zn deposits: An empirical model for mineral exploration. Geologisches Jahrbuch, Serie D, v. 40, p. 59-129.

LARGE, D.E. (1983) Sediment-hosted massive sulphide lead-zinc deposits: An empirical model. In: SANGSTER, D.F. (ed) Sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits. Toronto, Mineralogical association of Canada, p. 1-29. (Short Course Handbook, n.9)

- LEONARDOS, O. (1934) Chumbo e Prata no Brasil. Boletim Serviço de Fomento Produção Mineral, 2, p. 111.
- LICHT, O.A.B ; TARVAINEN, T. (1996) Multipurpose geochemical maps produced by integration of geochemical exploration datasets in the Paraná Shield, Brazil. Journal of Geochemical Exploration, v. 56, p. 167-182.
- LOPES, O.F. (1983) Faixa Perau: Uma unidade faciológica e tectono-metamórfica do Grupo Açungui. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 190-203.
- LYDON, J.W. (1990) Volcanogenic Massive Sulphide Deposits. In: ROBERTS, R.G. ; SHEAHAN, P.A. (eds) Ore Deposit Models. Geoscience Canada, reprint series 3, Geological Association of Canada, 194p.
- MACEDO, A.B. ; ADDAS, W. ; BATOLLA JÚNIOR, F. (1981) Metodologia de prospecção geoquímica em Minas do Vale do Ribeira (PR). In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1981. Atas. Curitiba, SBG, v. 1, p. 71 - 81.
- MACEDO, A.B. (1986) Prospecção litogeoquímica na mina do Perau, Paraná. São Paulo, 162 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MACEDO, A.B. (1996) Reflexões sobre tratamentos de dados geoquímicos. São Paulo, 151 p. (Tese - Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MAGUIRE, D.J., DANGERMOND, J. 1993, The functionality of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W., Geographical Information Systems: Principles and Applications. New York, Longman, 1991, p/319 - 336.

- MAIDMENT, R.D., (1998) Watershed, stream network, and drainage area delineation in grid, disponível na internet: <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/docs/amls/wtrshd.htm>.
- MARES, S. (1984) Introduction to applied geophysics. Dordrecht, D.Reidel Publishing Company, 581 p.
- MARINI, O.J.; TREIN, E.; FUCK, R.A. (1967) O Grupo Açungui no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, v.23, n. 25, p. 43-104.
- MELCHER, G.C. ; JOHNSON, R.F. (1956) Geologia e depósitos de Chumbo do Vale do Ribeira de Iguape. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, 68 p. (inédito).
- MELCHER, G.C. (1968) Contribuição ao Conhecimento do Distrito Mineral do Ribeira de Iguape, Estados de São Paulo e Paraná. São Paulo, 122 p. (Tese - Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- MELLO, I.S.C. (1995) Geologia e estudo metalogenético do Maciço Itaoca, Vale do Ribeira, SP e PR. São Paulo, 168 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MMAJ-JICA (1981) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 1. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 79p.
- MMAJ-JICA (1982) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 2. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 119 p.
- MMAJ-JICA (1983) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 3. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 111p.
- MMAJ-JICA (1984) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 3. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 57p.

- MORGENTAL, A.; BATOLLA JÚNIOR, F.; PINTO, G.G.; PAIVA, I.P.; DRUMOND, J.B.V. (1975) Projeto Sudelpa: fichas de ocorrências. São Paulo: Sudelpa/CPRM, 1975, 18v.
- MORGENTAL, A.; SILVA, A.A.G.P. da; BORIN JÚNIOR, T.; ALEGRI, V.; OLIVEIRA, P. E.P. de. (1978) Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira: relatório final. São Paulo, DNPM/CPRM. 8 v. (escala 1:100.000)
- NICKELSEN, R.P. (1974) Early jointing and cumulative fracture patterns. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE NEW BASEMENT TECTONIC, 1., Proceedings. Utah Geological Association Publication, n. 5, p. 193-199.
- NORTHFLEET, A.A. ; BETTINI, C. ; CHAVES, H.A.F. (1971) Aplicação de geomatemática à prospecção de petróleo, análise de fraturas por poliedros ortogonais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. Anais. São Paulo, SBG, v. 3, p. 61 - 70.
- ODAN, Y. ; FLEISCHER, R. ; ESPOURTEILLE, F. (1978) Geologia da Mina de Chumbo de Pannels - Adrianópolis - PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais. Recife, SBG, v. 4, p. 1545-1552.
- OLIVEIRA, E.P. (1937) A jazida de galena argentífera das Pannels de Brejaúvas, Bocayuva - Paraná. Mineração e Metalurgia, v. 1, n. 5, p. 182.
- OSTROVSKY, E.Y. (1973) Antagonism of radioactive elements in wallrock alterations fields and its use in aerogammaspectrometric prospecting. International Geology Review, v. 17, n. 2. p. 461-468.
- PERROTA, M.M. (1996) Potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geoquímicos, geofísicos e de sensores remotos num sistema de informações geográficas. São Paulo, 149 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- PETTINATI, F. (1983) Modelamento Digital e representação gráfica de superfícies. São Paulo, (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PETRI, S. ; SUGUIO, K. (1969) Sobre os metassedimentos do extremo sul do Estado de São Paulo. São Paulo, convênio USP/DAEE (Publicação especial).
- PIRAJNO, F.B. (1992) Hydrothermal mineral deposits: principles and fundamental concepts for the exploration geologist. Berlin, Springer, 709p.
- PIERKARZ, G.F. (1981) Reconhecimento de unidades correlacionáveis à seqüência mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1981. Atas. Curitiba, SBG, 417 p.
- PLICKA, (1974) Observations on joint zones in Moravia, Czechoslovakia. New basement tectonics contribution, v. 30, p. 279-289.
- RAMSAY, J.G. ; HUBER, M.I. (1987) The techniques of modern structural geology: - folds and fractures. v. 2 United Kingdom, Academic Press, 700 p.
- RODRIGUES, M. (1990) Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1, São Paulo, 1990, EPUSP, p. 1-27.
- ROSTIROLLA, S.P. (1997) Alguns aspectos da avaliação de favorabilidade em geologia exploratória. Revista Brasileira de Geociências, v. 27, n. 4, p. 327-338.
- ROSTIROLLA, S.P. ; Soares, P.C. ; Chang, H.K. (1998) Bayesian and Multivariate Methods applied to favorability quantification in Recôncavo Basin and Ribeira Belt, Brazil. Nonrenewable Resources, v. 7, n. 1, p. 7-24.

- SAWKINS, F.J. (1976) Massive sulfide deposits in relation to geotectonics. Geological Association Canadian. Special Publication, v. 14, p. 221–240.
- SANTOS, A.R. (1986) Estudos sobre a tectônica de fraturamento na região do quadrilátero ferrífero e em partes do complexo migmatito-granulítico de Minas Gerais, com base em sensoriamento remoto. São Paulo, 172 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SCHÖLL, W.V. ; SILVA, A.C.G.A. ; MONASTIER, M.S. (1982) A Formação Setuva do Pré-Cambriano no Estado do Paraná; uma revisão crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais. Salvador. SBG, v.1, p.55-63.
- SILVA, R. B. ; MAEYAMA, O. ; PEROSA, P. T. ; ALMEIDA, E.B. ; SARAGIOTTO, J.A.R. (1982) Considerações sobre as mineralizações de chumbo, zinco e prata do Grupo Açungui no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, 1982. Anais. Salvador, SBG, v. 3, p. 972 - 986.
- SILVA, C.R. ; TAKAHASHI, A.T. ; CHIODI FULHO, C. ; BATOLLA JR., F. (1982) Geologia e mineralizações na região do Perau - Água Clara, Vale do Ribeira, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, 1982. Anais. Salvador, SBG, v. 3, p. 1024-1036.
- SILVA, D.C. ; MANTOVANI, M.S.M. (1994) Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul: uma abordagem semi-quantitativa. Revista Brasileira de Geociências, v. 24, n. 2, p.120-127.
- SINCLAIR, A. J. (1974) Selection of Threshold Values in Geochemical data Using Probability Graphs. Journal of Geochemical Exploration, v. 3, p. 129-149.
- SOARES, P.C. ; FIORI (1976) Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica, v. 16, n. 32, p. 71-40.

SOUZA, I.M.; CAMPANHA, G.A.C. (1977) Chumbo e cobre no Vale do Ribeira, mina Barra do Perau, município de Adrianópolis, estado do Paraná. Mineração e Metalurgia, v. 40, n. 384, p. 4-7.

STANLEY, C.R. (1987) An interactive computer program to fit mixtures of Normal (or log-Normal) Distributions with maximum likelihood optimization procedures - version 1.0. Association of Exploration Geochemists Canada, Special Volume 14, 40p.

TAKAHASHI, A.T. *et al.* (1981) Projeto integração e detalhe no Vale do Ribeira, área Ribeirão do Perau. São Paulo, convênio DNPM/CPRM.

TASSINARI, C.G.C. ; BARBOUR, A.P. ; DAITX, E.C. ; SATO, K. (1990) Aplicação dos isótopos de Pb e Sr na determinação da natureza das fontes das mineralizações de chumbo do Vale do Ribeira – SP e PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. Anais. Natal, SBG, v. 3, p. 1254 – 1266.

WILLIAMS, X.K. (1967) Statistics in the Interpretation of Geochemical Data. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, v. 10, p. 771-97.

VENEZIANI, P. (1987) Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do espinhaço meridional (MG): Uma correlação com processos evolutivos. São Paulo, 186 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

YAMAMOTO, J.K. (1986) Representações gráficas espaciais em geologia – aplicações no complexo alcalino de Anitápolis. São Paulo, 167 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ANEXOS

Anexo I - AML ArcInfo

Anexo II - Mapa Geológico

Anexo III - Mapa de Ocorrências Minerais

Apresenta-se abaixo a AML executada no ArcInfo 7.1 para traçar automaticamente bacias de drenagem a montante de um ponto. Os dados de entrada consistem de um modelo numérico de terreno (tin) e de um arquivo vetorial (coverage) com os pontos de amostragem.

Este programa foi baseado em um exemplo de Maidment (1998) obtido na Internet: Center for Research in Water Resources - University of Texas at Austin / Examples of Hydrology AMLs for ArcInfo 7.0.

```
/* Um AML (GRID) para Bacias (WATERSHED), Rede de drenagem, e tracado de
area de drenagen
/*
/* AML NAME: bacia.aml (roda a partir do prompt "Grid")
/* FUNCAO: Traca redes de drenagens, bacias, e areas de drenagem
/* a partir de um DEM
/*
/* INPUTS:
/* MNTdem - Modelo Numérico de Terreno (grid)
/* geoquimica - Pontos de amostragem (geoquimica,coverage)
/* borda - borda (limite) da área de interesse (coverage)
/*
/* Parametros: fill = (em metros) profundidade de bacia a ser preenchida
/* Parametros: flowdirection (con) tamanho (em celulas) da bacia a ser
delineada
/*
/* Na AML, as seguintes siglas sao utilizadas:
/* lat = arquivo lattice original
/* prj = lattice projetado para coordenadas reais
/* fil = grid projetado nos quais as bacias forma preenchidas
/* fdr = grid flow direction
/* fac = grid flowaccumulation
/* str = grid de drenagens
/* lnk = ligacoes criadas com um segmento de cada drenagem
/* out = celula de saida no fundo de cada ligacao
/* shd = bacias para cada saida
/*****
***
/*
/* Inicio da execucao da AML
/* parametros da AML
&sv altur = [response 'Valor da altura para preenchimento da bacia em
metros? =']
&sv thres = [response 'Valor do Limiar do tamanho da bacia em celulas?
=']
&sv celula = [response 'Valor do tamanho da celula para fazer o snap ?
=']
&sv snap = [response 'Tolerancia de snap (snappour) para corrigir posicao
dos pontos em relacao as drenagens? =']
/* Define bacias maiores que o valor fornecido pelo usuario (metros)
/* para serem preenchidas
fill MNTdem MNTfil SINK %altur% #
/* Determina o grid de direcao de fluxo
MNTfdr = flowdirection (MNTfil)
```

```

/* Calcula o grid de acumulacao de fluxo
MNTfac = flowaccumulation (MNTfdr)
/* Pede ao usuario o limiar de celulas da acumulacao de fluxo que serao
usados
/* para formar uma drenagem
/* isola as celulas que tem pelo menos o limiar da acumulacao de fluxo
MNTstr = con (MNTfac > %thres%, 1)
/* faz cada ligacao de drenagem unica
MNTlnk = streamlink (MNTstr, MNTfdr)
/* faz uma coverage a partir da ligacao de drenagens
covlnk = gridline(MNTlnk)
/* encontra ligacoes de saida
MNTacc = zonalmax (MNTlnk, MNTfac)
MNTout = con ( MNTacc == MNTfac, MNTlnk)
/* faz as bacias a partir destas saidas
MNTshd = watershed (MNTfdr, MNTout)
/* faz uma coverage de poligonos das bacias
covshd = gridpoly (MNTshd)
/* transforma a coverage em grid mantendo o identificador do usuario
pontosgrid = pointgrid (geoquimica, geoquimica-id, #, #, %celula%,
nodata)
/* coloca todos os pontos na drenagem fazendo um snap a partir do valor
definido pelo usuario
pontosnap = snappour (pontosgrid, mntfac, %snap%)
/* transforma o grid em coverage mantendo o identificador do usuario
pontos = gridpoint (pontosnap, geoquimica-id)
/* volta ao prompt do Arc/Info
quit
/* cria uma coverage de pontos dos pontos de corrente "local" a partir da
coverage com projecao
clip pontos borda locpontos point
/* coloca coordenadas x e y aos pontos
addxy locpontos
/* chama o GRID
grid
/* define a localizacao dos pontos como sub-bacias "pontos de saida"
dentro das bacias
/* tracadas acima
ptsdrena = selectpoint(MNTshd,locpontos)
/* **CUIDADO** Se a localizacao dos pontos de corrente nao cairem nas
drenagens
/* tracadas dentro do grid MNTshd, entao o grid ptsdrena grid pode ser
gerado a
/* partir de um processo interativo atraves do uso de
selectpoint(MNTshd,*).
/* traca as areas de drenagem para cada ponto de corrente
shdareas = watershed(mntfdr,ptsdrena)
/* cria uma coverage de poligono equivalente ao grid de areas de drenagem
covareas = gridpoly(shdareas)
&return
/*****FIM DA AML*****/

```


Ocorrências Minerais.
Sulfetos de chumbo, cobre e zinco.

Identificador	Tipologia	Mineralogia	Local	Município	Projeto	Símbolo	Substância	Recorrido geológico (H)	Yenore	Legenda
1	3	FILOEANO	BARRA DO AZUL	CERRO AZUL	METALOGENETICO003	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	COBRE	N/D	N/D	METACALCARIOS GRANITO
2	3	FILOEANO	PA. TABOARA / R. RIBEIRA	RIBEIRA	METALOGENETICO004	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
3	3	FILOEANO	ADUSTO MIGUEL	RIBEIRA	METALOGENETICO005	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
4	3	FILOEANO	VILVA FERRAZ DO PASSO FUNDO	CERRO AZUL	METALOGENETICO006	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
5	3	DISSEMINADO	ESTRADA CERRO AZUL - MATO PRETO	CERRO AZUL	METALOGENETICO007	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
6	3	IRREGULAR	MATO PRETO	IPORANGA	METALOGENETICO008	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
7	3	IRREGULAR	INFORMAÇÃO NÃO DISPONÍVEL (N/D)	IPORANGA	METALOGENETICO009	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
8	1	FILOEANO	SÃO FRANCISCO IV	RIBEIRA	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
9	1	FILOEANO	SÃO FRANCISCO III	CERRO AZUL	CPRM / METALOGENETICO010	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
10	1	FILOEANO	SÃO FRANCISCO II	CERRO AZUL	CPRM / METALOGENETICO011	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
11	1	FILOEANO	BASSETTI / SÃO FRANCISCO I, COTA 520 I	CERRO AZUL	CPRM / METALOGENETICO012	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
12	1	FILOEANO	BASSETTI / COTA 500	CERRO AZUL	CPRM / METALOGENETICO013	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
13	1	FILOEANO	ESPERANÇA I, ESMA	CERRO AZUL	CPRM / METALOGENETICO014	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
14	1	FILOEANO	ESPERANÇA II, ESMA	CERRO AZUL	CPRM / METALOGENETICO015	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
15	1	FILOEANO	TORINHO CASTRO	CERRO AZUL	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
16	1	FILOEANO	ESPERANÇA DO COTA 420	CERRO AZUL	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
17	1	FILOEANO	PACHECOINHO (ROCHA)	CERRO AZUL	MICROSSIGMA / METALOGENETICO016	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
18	1	FILOEANO	TACUARA LIMA	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO017	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
19	1	FILOEANO	RIBEIRÃO DO RIOCHA - COTA 380	ADRIANÓPOLIS	CPRM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
20	1	FILOEANO	MATÃO II OU COTA 540	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
21	1	FILOEANO	RIBEIRÃO DO RIOCHA OU COTA 280	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
22	1	FILOEANO	MATÃO IV	CERRO AZUL	SILVANI / INTEGRAÇÃO E DETALHE	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
23	1	FILOEANO	PACHECO	CERRO AZUL	MICROSSIGMA / INTEGRAÇÃO E DETALHE	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
24	1	FILOEANO	MATÃO III	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / INTEGRAÇÃO E DETALHE	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
25	1	FILOEANO	MORCEGO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / INTEGRAÇÃO E DETALHE	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
26	1	FILOEANO	ONCA	ADRIANÓPOLIS	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
27	1	FILOEANO	40 OITAVAS / BARRA DO PAUL	RIBEIRA	CPRM / METALOGENETICO018	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
28	1	FILOEANO	40 OITAVAS / JULIO BOM ROQUE	RIBEIRA	MICROSSIGMA / SUBSOLPA018 / METALOGENETICO019	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
29	1	FILOEANO	TEJO GRABATÓTIPO FURNAS/BARRIO DOS VERMELHOS	TUNAS DO PARANÁ	METALOGENETICO020	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
30	1	FILOEANO	40 OITAVAS / ESCOTA PRIMARIA	RIBEIRA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO021	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
31	1	FILOEANO	ONCA I	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO022	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
32	1	FILOEANO	APL. LITE. CORREIO PAQUEIRO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO023	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
33	1	FILOEANO	PAQUEIRO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO024	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
34	1	FILOEANO	BRAD CARMELO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO025	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
35	1	FILOEANO	40 OITAVAS / AGUA PAIDA DA LAGOA	RIBEIRA	CASERONNE	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
36	1	FILOEANO	PAQUEIRO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO026	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
37	1	FILOEANO	40 OITAVAS / LAGOA II	RIBEIRA	TRINCHERA	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
38	1	FILOEANO	ABELEIRO	ADRIANÓPOLIS	CPRM / METALOGENETICO027	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
39	3	N/D	BUELO	ADRIANÓPOLIS	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
40	1	ESTRATIFORME	CAL. DE LAGOA	ADRIANÓPOLIS	CPRM / METALOGENETICO028	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
41	2	ESTRATIFORME	40 OITAVAS / LAGOA I	ADRIANÓPOLIS	UNIOE	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
42	2	ESTRATIFORME	AGUA CLARA / MORRO DO ZINCO	TUNAS DO PARANÁ	MICROSSIGMA / METALOGENETICO029	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
43	2	DISSEMINADO	EDUARDO	BOCA DE GALERIA	IDEM / METALOGENETICO030	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
44	2	N/D	TRIO DA ANA GORDA	ADRIANÓPOLIS	JICA / METALOGENETICO031	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
45	3	FILOEANO	MINA DIOSIO LOPES	ADRIANÓPOLIS	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
46	3	ESTRATIFORME	PIERAI	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO032	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
47	1	ESTRATIFORME	BARRINHA LOCAL 4	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO033	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
48	2	N/D	PRATA GRANDE	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO034	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
49	1	ESTRATIFORME	TEJO GRABATÓTIPO FURNAS/BARRIO DOS VERMELHOS	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO035	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
50	1	ESTRATIFORME	CORREIO BARRINHA LOCAL 8	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO036	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
51	1	ESTRATIFORME	CERESIA	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO037	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
52	1	ESTRATIFORME	LARANJA BARRINHA	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO038	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
53	3	IRREGULAR	BARRA GRANDE	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO039	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
54	3	ESTRATIFORME	CANÇAS	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO040	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
55	2	ESTRATIFORME	PRETINHO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
56	1	FILOEANO	PINHA ZINCO	ADRIANÓPOLIS	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
57	3	ESTRATIFORME	CINCRAS	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
58	3	FILOEANO	RIO PADMAL	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / Cassidiana, 1972, 1972	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
59	1	FILOEANO	PANELAS DE BREJAUVAS	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO041	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
60	1	FILOEANO	MURO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO042	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
61	3	FILOEANO	FAZENDA CARACA	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO043	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
62	3	DISSEMINADO	TACUARA	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO044	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
63	3	FILOEANO	SITIO DO MEIRA	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO045	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
64	3	FILOEANO	SÃO SEBASTIAO	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / METALOGENETICO046	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
65	3	IRREGULAR	CORREIO SECO	N/D	MICROSSIGMA	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
66	3	N/D	ITACCA	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO	
67	3	N/D	RIB. SÃO SEBASTIAO	ADRIANÓPOLIS	IDEM	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
68	1	FILOEANO	SANTA CONSTANÇA E VITORINO (SANTO ANTONIO PAVAO)	ADRIANÓPOLIS	SUDEPA020 / Cassidiana, 1972, 1972 / METALOGENETICO047	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
69	1	FILOEANO	SANTO ANTONIO DO PAVAO (SANTA MARINA)	ADRIANÓPOLIS	MICROSSIGMA / Cassidiana, 1972 / SUBSOLPA019	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
70	1	FILOEANO	SULFETO DE DA SQUINHA / FURCUM	IPORANGA	IDEM / Cassidiana, 1972 / METALOGENETICO048	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
71	1	N/D	LAGOADO (SANTANA I)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO049	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
72	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA II)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO050	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
73	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA III)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO051	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
74	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA IV)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO052	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
75	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA V)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO053	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
76	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA VI)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO054	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
77	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA VII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO055	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
78	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA VIII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO056	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
79	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA IX)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO057	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
80	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA X)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO058	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
81	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XI)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO059	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
82	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO060	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
83	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XIII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO061	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
84	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XIV)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO062	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
85	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XV)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO063	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
86	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XVI)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO064	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
87	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XVII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO065	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
88	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XVIII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO066	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
89	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XIX)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO067	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
90	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XX)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO068	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
91	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXI)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO069	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
92	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO070	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
93	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXIII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO071	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
94	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXIV)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO072	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
95	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXV)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO073	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
96	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXVI)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO074	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
97	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXVII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO075	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
98	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXVIII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO076	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
99	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXIX)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO077	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
100	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXX)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO078	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
101	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXXI)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO079	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
102	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXXII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO080	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
103	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXXIII)	IPORANGA	MICROSSIGMA / METALOGENETICO081	OCORRÊNCIA / INDÍCIO	CHALCOPITA / FLUORITA / CALCOPIRITA	N/D	N/D	GRANITO
104	1	FILOEANO	LAGOADO (SANTANA XXXIV)	IPORANGA</						

Mapa Geológico - Quadrículas Cerro Azul e Apiaí
(SG-22-X-B-IV/ SG-22-X-B-V)

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

ARTICULAÇÃO DA ÁREA NA FOLHA
ITARARÉ, 1:250.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: Córrego Alegre - Minas Gerais
Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 51°W.GR."
Acréscidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

LEGENDA

- Quaternário (Q)
Aluviões em geral.
Cretáceo (K)
ca: corpos alcalinos
ALFA - Suítes e corpos alcalinos
Jurássico - Cretáceo (JK)
ib: intrusivas básicas
IB - Intrusivas básicas tabulares (soleiras e diques). Diabásios, lamprófitos e gabros
Triássico-Jurássico (TJ)
CG: Corpos Gábricos
GB - Olivina Gabros, quartzo monzogabros, gabros subofíticos, diabásios, essexitos
Neoproterozóico a Cambrio-Ordoviciano (PSO)
pt: Suítes e Corpos Graníticos Pós-Tectônicos (Pos tecto)
Gama A - Granitoides intrusivos, normalmente equigranulares, róseas, composição álcali-feldspato granito a granito 3A e quartzo sienito
Gama AP - álcali-sienito pórfiro
Neoproterozóico (PS)
stt: Suítes e Corpos Graníticos Sin- a Tardi-Tectônicos (sin tardi tecto)
Gama B - Biotita-hornblenda granitos e granodioritos, porfiríticos e/ou equigranulares, cinza, com enclaves de microgranitos, quartzo dioritos e gnaisses
Gama G - Ortognaisses predominantes, com migmatitos, granitos de anatexia e milonito gnaisses porfiribolíticos, subordinados.
Gama H - Granitoides homogêneos a foliados com enclaves de anfibolitos e mármores.
cgr: Complexos Granitoides
Gamal - Rochas granitoides de composição e texturas diversas, englobando desde granitoides a granitoides pós-tectônicas e, possivelmente, também porções de embasamento
ga: Gabro de Apiaí e correlatos (a)
G - Metagabros, metadiabásios e metabasaltos
Mesoproterozóico (PM)
Grupo Itaoca (I)
F - Filitos, sericitita xistos, metassiltitos, metargilitos, filitos grafitosos, ardósias e metarritmitos. Subordinadamente, metarenitos, quartzitos, mármores dolomíticos e clorita xistos.
M - Mármores dolomíticos com estruturas estromatolíticas e raras oolíticas e pisolíticas. Ocorrem intercalações de metachert, metapelitos e xistos carbonosos, subordinadamente.
X - Quartzito-sericitita xistos com intercalações de quartzitos e metassiltitos
Grupo Votuverava
Subgrupo Lajeado (vl)
Formação Gorutuba: metassedimentos rítmicos, incluindo metassiltitos, filitos carbonáticos, mármores, filitos cálcio-silicáticos e metarenitos(S)
Formação Passa Vinte: (m)mármores, em geral bandados
Formação Serra da Boa Vista: estaurolita-muscovita-biotita xistos e mica xistos(X); metarenitos bandados com estratificação cruzada, localmente microconglomeráticos, com intercalações de filitos e metassiltitos (A)
Formação Mina de Furnas: mármores impuros, margosos, localmente bandados, calcíticos com intercalações de filitos carbonáticos (F) e metarenitos(M); xistos (X)
Formação Água Suja: quartzo-biotita-muscovita xistos, clorita-quartzo-muscovita xistos e quartzo-grafta -muscovita xistos(X); Filitos(F); mármores(M)
Formação Bairro da Serra: mármores localmente bandados, calcíticos com intercalações de filitos e xistos carbonáticos, filitos e metassiltitos(M)
Formação Betari: metassiltitos e filitos com intercalações de metarenitos finos(S); metarenitos, lentes de metaconglomerados oligomíticos, metarenitos arcoseanos, metarenitos com grânulos, metassiltitos e filitos (A)
Formação Iporanga (vi)
AF - Metarritmitos, metassiltitos, filitos e ardósias com intercalações de metargilitos, metarenitos (por vezes conglomeráticos) e metacóseos.
R - Metaconglomerados e metabrechas polimíticas com matriz filítica
AC - Metarenitos e metaconglomerados polimíticos de matriz arcoseana
Q - Quartzitos com intercalações de metassiltitos

72781
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Subgrupo Ribeira (v)
AF - Metarritmitos predominantemente metassiltitos finos; ardósias e filitos com intercalações de quartzo filitos, quartzitos, carbonato filitos, metassiltitos, metargilitos naciões, clorita filitos, xistos verdes, filitos grafitosos, metaconglomerados oligomíticos, mármores, metacherts, formações ferríferas e metatufos
F - Filitos e xistos finos, incluindo metassiltitos, quartzitos, filitos grafitosos, metarritmitos, ardósias e intercalações de metabasitos e xistos com plagioclásio.
Q - Quartzitos, metarenitos, metaconglomerados, metacóseos e raros metacherts.
M - Mármores, rochas cálcio-silicáticas e alternância de mármores dolomíticos e mica xistos com tremolita
MX - Alternância de mármores dolomíticos e mica xistos com tremolita
AS - Metargilitos e metassiltitos finos com estrutura maciça predominante
FF - Formação Ferrifera
H - Hornfels
XC - Carbonato filitos e metamargos com lentes de metapelitos, metarenitos e mármores
B - Metavulcânicas básicas e ácidas, incluindo anfibolitos, epidoto-actinolita fels, clorita-carbonato fels e prováveis metatufos.
Formação Perai (vp)
X - Quartzito-muscovita-biotita xistos, com intercalações locais de quartzitos, xistos com plagioclásio, granada, anfibólito e magnetita.
MX - Alternância de mármores dolomíticos e mica xistos com tremolita
Q - Quartzitos finos
CS - Carbonato xistos com intercalações de mármores
B - Metavulcânicas básicas e ácidas, incluindo anfibolitos, epidoto-actinolita fels, clorita-carbonato fels e prováveis metatufos
Mármores da Tapagem (t)
M - Mármores dolomíticos com intercalações de cálcio xistos, mica-quartzo xistos e quartzitos
Formação Capitu (c)
F - Filitos, metassiltitos, filitos grafitosos, metarritmitos e ardósias
M - Mármores dolomíticos com finas intercalações de metachert
Q - Quartzitos, metarenitos e metacóseos
H - Hornfels
Grupo Setuva (s)
M - Mármores dolomíticos com intercalações de cálcio xistos, mica-quartzo xistos e quartzitos
XC - Carbonato-xistos, quartzitos cálcio-silicáticos, filitos e xistos finos carbonáticos, clorita xisto, mármores e rochas cálcio-silicáticas indiferenciadas
Q - Quartzitos, quartzitos finos por vezes micáceos, quartzo xistos, metarenitos, metacóseos e raros gônitos
X - Mica xistos e mica xistos feldspáticos, por vezes com granada e estaurolita; quartzo xistos, anfibólito xistos, xistos grafitosos, xistos cálcio-silicáticos e quartzitos; intercalações de filitos, metarenitos, metassiltitos, metacóseos, mármores dolomíticos e hornblenda-quartzo gnaisses.
B - Anfibólito xistos, clorita-quartzo xistos, biotita xistos, quartzo xistos, xistos grafitosos, quartzitos e metabasitos.
G - Gnaisses ocales interdigitados com migmatitos estromatolíticos, gnaisses filados, gnaisses leucocráticos e xistos feldspáticos.
FX - Xistos finos e filitos, por vezes granatíferos, metargilitos, xistos e filitos grafitosos, metarritmitos, ardósias e raras intercalações de metabasitos, gônitos e gnaisses.
Paleoproterozóico (Pl)
Plgme Plgme Plgme Plgme
Complexo Gnaissico-Migmatítico (gm)
E - Migmatitos embrechíticos e/ou nebulíticos e granito gnaisses
ME - Migmatitos estromatolíticos com paleossomas de anfibólito-biotita e/ou biotita-hornblenda gnaisses, predominantes, e mica-quartzo xistos, ultrabasitos, metabasitos e anfibólitos, subordinados.
OG - Ortognaisses (a biotita, biotita-hornblenda, hornblenda e muscovita) de composição diorítica e granodiorítica, com intercalações subordinadas de quartzitos, anfibólitos, metabasitos e metaurbasitos.

ÍNDICE DAS FONTES UTILIZADAS NA COMPILAÇÃO
NA ESCALA 1: 25.000
MMA/JICA, 1982. Report on geological survey of Anta Gorda, phase II.
MMA/JICA, 1983. Report on geological survey of Anta Gorda, phase III.
DATTY et al., 1983. Projeto Anta Gorda, mapeamento da área norte, fase III - DNP/CMCRM.
NA ESCALA 1: 50.000
Campanha, 1991. Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. Tese de Doutorado, IGUSP.
Mello, 1995. Geologia e estudo metalogenético do maciço Itararé, Vale do Ribeira (SP e PR). Tese de Doutorado, IGUSP.
NA ESCALA 1: 100.000
Silva et al 1981. Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. DNP/CMCRM.
NA ESCALA 1: 250.000
Biondi, 1983. Mapa Geológico da área de Embasamento do Estado do Paraná. Mineral/SGCP.
Campanha et al 1998. Carta Geológica do Estado de São Paulo. Folha Itararé IPT.

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia
Mapa Geológico - Quadrículas Cerro Azul e Apiaí
(SG- 22-X-B-IV / SG-22-X-B-V)
1999
Apoio Fapesp
(processos 97/04664-0 e 97/04272-0)
Compilação e edição
Carlos César de Araújo e Ginaldo A. da C. Campanha
Orientador
Arlei Benedito Macedo
Colaboração
Fernando Benegas Valladares
Alexandre Carnier Nunes da Silva
Sérgio Nobuo Godoy Saito