UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

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.

Mônica Mazzini Perrotta

Orientador: Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
1996

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

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

MÔNICA MAZZINI PERROTTA

Orientador: Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 2419
e. 2
U. S. P.

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt	
Examinadores:	Prof. Dr. Ginaldo Ademar da C.Campanha	
	Prof. Dr. Ardemirio Barros	
	Prof. Dr. Gilberto Amaral	
	Prof. Dr. Paulo César Soares	

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC
30900005389

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.

Mônica Mazzini Perrotta

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
TZ419
e.2
U. S. P.

Orientador: Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
1996

ÍNDICE

Agradecimentos ix

ABSTRACT x

RESUMO xi

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. PROPOSTAS E POSSIBILIDADES EM PESQUISA MINERAL 1

1.2. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 4

1.3. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA 5

1.4. OBJETIVOS E MÉTODOS 5

2. CONTEXTO GEOLÓGICO 9

2.1. ASPECTOS REGIONAIS 9

2.2. GEOLOGIA DA ÁREA MINERALIZADA E ADJACÊNCIAS 15

2.3. REGISTRO GEOCRONOLÓGICO 23

2.4. GEOQUÍMICA DE ROCHAS METABÁSICAS 24

2.5. SÍNTESE EVOLUTIVA E PROBLEMAS 35

3. DADOS AEROGEOFÍSICOS 37

3.1. COMPORTAMENTO RADIOMÉTRICO DOS CONJUNTOS LITOLÓGICOS 37

3.2. FACIOLOGIA RADIOMÉTRICA DOS PRINCIPAIS CORPOS GRANITÓIDES 48

3.3. POTENCIALIDADE DOS MÉTODOS GAMAESPECTROMÉTRICOS NA EXPLORAÇÃO AURÍFERA 52

4. DADOS DE IMAGENS DE SATÉLITE 59

4.1. FOTOINTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE SATÉLITE 62

5. DISCUSSÃO DOS MODELOS GENÉTICOS PROPOSTOS PARA A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA 67

5.1. TABELA DE OCORRÊNCIAS MINERAIS 71

6. GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE E CONCENTRADOS DE BATEIA 73

7. MÉTODOS DE ENTRADA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS 76

7.1. ENTRADA DE DADOS 76

7.1.1. Mapa geológico 76

7.1.2. Bacias de captação das amostras de geoquímica de sedimento de corrente 76

7.1.3. Tabelas 77

7.1.4. Produtos do processamento digital de imagens de satélite 77

7.1.5. Imagens Aerogeofísicas 78

7.2. IMPORTAÇÃO DOS DADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS 78

7.2.1. Transformação de dados 79

8. MAPEAMENTO DO POTENCIAL AURÍFERO DA ÁREA DE ESTUDO 95

8.1. HIPÓTESES DE TRABALHO 95

8.2. MODELO DA INDEXAÇÃO DE *OVERLAYS* 97

8.2.1. Construção dos submodelos 97

8.2.1.a. Submodelo litológico 98

8.2.1.b. Submodelo geoquímico 101

8.2.1.c. Submodelo estrutural 103

8.2.2. Indexação dos Submodelos 107

8.3. MÉTODO DOS PESOS DE EVIDÊNCIA 113

8.3.1. Método dos pesos de evidência (teoria e aplicação no mapeamento de potencial mineral) 113

8.3.2. Aplicação do método dos pesos de evidência ao mapeamento do potencial aurífero da área de estudo 119

8.3.2.a. Seleção dos mapas de evidência 121

8.3.2.b Teste de independência condicional 127

8.3.2.c. Mapa do potencial aurífero estimado por pesos de evidência 128

9. COMPARAÇÃO DOS MODELOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 133

10. BIBLIOGRAFIA 139

ANEXO 1 - Mapa geológico da área na escala 1:250 000

ANEXO 2 - Tabela de ocorrências de ouro e outros metálicos

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1. Resultado de análises químicas de rochas metabásicas da Unidade Piririca (Nogueira 1990). 26

Tabela 2.2. Resultados de análises químicas de rochas metabásicas das Unidades Ribeirão das Pedras, Piririca e Rubuquara (Campanha 1991). 26

Tabela 2.3.Comparação dos teores médios de óxidos de maiores e menores das unidades estudadas, com as composições médias típicas de basaltos, basanitos (Cox 1979) e picritos toleíticos (Clarke 1970). 31

CAPÍTULO 6

Tabela 6.1. Limiares definidos como anômalos (*percentil* > *95%*) para cada elemento analisado no levantamento geoquímico de sedimentos de corrente do Projeto Sudelpa (Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975 a, b). 74

Tabela 6.2. Limiares definidos como anômalos (*percentil* > *95%*) para cada elemento analisado no levantamento geoquímico de sedimentos de corrente do Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.* 1978). 74

Tabela 6.3. Limiares definidos como anômalos (*percentil* > *95%*) para cada elemento analisado no levantamento geoquímico de sedimentos de corrente dos Projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu e Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional (IPT 1983, 1985). 75

CAPÍTULO 8

Tabela 8.1. Tabela de reclassificação do mapa final da somatória das anomalias geoquímicas, em ordem crescente de favorabilidade. 103

Tabela 8.2. Hierarquia das evidências no submodelo estrutural, classes segundo ordem crescente de favorabilidade. 107

Tabela 8.3. Matriz de Indexação elaborada para utilização na modelagem por indexação de *overlays*. 108

Tabela 8.4. Tabela de contingência para teste de independência condicional. 119

Tabela 8.5. Pesos de evidência calculados para o mapa litológico. 122

Tabela 8.6. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de proximidade do contato com unidades metabásicas favoráveis. 122

Tabela 8.7. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de arsênio. 123

Tabela 8.8. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de chumbo. 123

Tabela 8.9. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de cobre. 123

Tabela 8.10. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de ferro. 123

Tabela 8.11. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de cromo. 123

Tabela 8.12. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de níquel. 123

Tabela 8.13. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de prata. 124

Tabela 8.14. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de ouro. 124

Tabela 8.15. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de zonas de cisalhamento transcorrente dúctil-rúptil e rúptil-dúctil de direção NE. 124

Tabela 8.16. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de estruturas rúpteis NE-SW/EW. 124

Tabela 8.17. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de zonas de cisalhamento normais distensivas de direção NE. 125

Tabela 8.18. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de fraturas NS. 125

Tabela 8.19. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de lineamentos magnéticos NE-SW. 125

Tabela 8.20. Pesos de evidência calculados para o mapa de gamaespectrometria razão U/K (26 níveis). 126

Tabela 8.21. Teste de independência condicional entre as evidências selecionadas. 127

Tabela 8.22. Matriz de combinação dos mapas *niquas* e *litndesf* para geração do mapa *niquasb*. 129

Tabela 8.23. Pesos de evidência calculados para o mapa *niquasb*. 129

Tabela 8.24. Resultado do teste de independência condicional entre os mapas selecionados para modelagem final por pesos de evidência. 130

Tabela 8.25. Pesos de evidência utilizados na estimativa do potencial aurífero da área. 130

CAPÍTULO 9

Tabela 9.1. Tabela de reclassificação aplicada ao mapa de *unique conditions* gerado a partir da combinação dos mapas finais de indexação e probabilidade posterior 133

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Mapa de localização. 6

Figura 1.2. Fluxograma das atividades envolvidas na modelagem. 8

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Mapa índice dos trabalhos utilizados na compilação do mapa geológico. 10

Figura 2.2. Corte geológico AB. Localização no mapa geológico do Anexo 1. 18

Figura 2.3. Corte geológico BC. Localização no mapa geológico do Anexo 1. 19

Figura 2.4. Feições de contato exibidas entre metabrechas e metarenitos líticos da Unidade Rubuquara. 21

Figura 2.5. Diagramas de variação MgO X óxidos de elementos maiores e menores para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 27

Figura 2.6. Diagramas de variação de multielementos (*spidergrams*) para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 29

Figura 2.7. Diagrama de variação SiO_2 X álcalis de Le Bas *et al.* (1986) para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 30

Figura 2.8. Diagrama de variação de multielementos para as composições químicas médias dos anfibolitos das Unidades Rubuquara e Nhunguara, comparadas com as composições médias de basaltos toleíticos típicos de arcos de ilhas e de cadeia meso-oceânica. 30

Figura 2.9. Diagramas de variação $Fe_2O_3^t$ X elementos traços e MgO X Mg# para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 32

Figura 2.10. Diagrama AFM (de Irvine & Baragar 1971) para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 33

Figura 2.11. Diagrama Al_2O_3-FeO-MgO de Jensen (1976) para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 33

Figura 2.12. Diagrama de variação sílica X álcalis (de Irvine & Baragar 1971) para dados litogeoquímicos de anfibolitos da região estudada. 34

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Imagem aerogeofísica - magnetometria, tema campo-total. 38

Figura 3.2. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, canal da contagem-total. 40

Figura 3.3. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, canal do tório. 41

Figura 3.4. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, canal do urânio. 42

Figura 3.5. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, canal do potássio. 43

Figura 3.6. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, razão U/Th. 44

Figura 3.7. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, razão U/K. 45

Figura 3.8. Imagem aerogeofísica - gamaespectrometria, razão Th/K. 46

Figura 3.9. Comportamento radiométrico do tório no Granito Agudos Grandes. 49

Figura 3.10. Comportamento radiométrico do urânio no Granito Agudos Grandes. 49

Figura 3.11. Comportamento radiométrico da razão U/Th no Granito Agudos Grandes. 50

Figura 3.12. Padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes com relação aos canais do tório, urânio e razão U/Th. 50

Figura 3.13. Correlação das anomalias geoquímicas de berilo e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 54

Figura 3.14. Correlação das anomalias geoquímicas de cobre e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 54

Figura 3.15. Correlação das anomalias geoquímicas de molibdênio e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 55

Figura 3.16. Correlação das anomalias geoquímicas de nióbio e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 55

Figura 3.17. Correlação das anomalias geoquímicas de estanho e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 56

Figura 3.18. Correlação das anomalias geoquímicas de ítrio e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 56

Figura 3.19. Correlação das anomalias geoquímicas de zircônio e padrão radiométrico do Agudos Grandes. 57

Figura 3.20. Comportamento radiométrico do canal contagem total no Granito Agudos Grandes. 57

Figura 3.21. Interpretação possível para a faciologia radiométrica do Granito Agudos Grandes. 58

Figura 3.22. Interpretação possível para a faciologia radiométrica do Granito Agudos Grandes com contatos delimitados com ajuda de fotointerpretação de imagens de satélite digitais realçadas. 58

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Resultado de realce por decorrelação aplicado a imagens digitais do satélite LANDSAT TM-5. Bandas 4, 5 e 1, nesta ordem de atribuição aos canais RGB. 60

Figura 4.2. Resultado de filtragem direcional NW-SE aplicada na imagem Principal Componente 1, obtida da análise de principais componentes de imagens digitais do satélite LANDSAT TM-5. Bandas 1,2,3,4,5 e 7. 61

Figura 4.3. Resultado da fotointerpretação da imagem filtrada da figura 4.2. 65

Figura 4.4. Mapa de comparação entre as zonas de cisalhamento dúctil fotointerpretadas e mapeadas. 66

CAPÍTULO 5

Figura 5.1. Mapa de ocorrências de ouro primárias e aluvionares conhecidas na área de estudo. 72

CAPÍTULO 7

Figura 7.1. Proximidade das zonas de cisalhamento dúctil mapeadas. 80

Figura 7.2. Proximidade de falhas normais mapeadas. 81

Figura 7.3. Proximidade de lineamentos rúptil-dúcteis de orientação E-W e N45-50E fotointerpretados. 82

Figura 7.4. Proximidade de fraturas NS fotointerpretadas. 83

Figura 7.5. Proximidade de lineamentos magnéticos de orientação NE. 84

Figura 7.6. Proximidade do contato de metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca e possíveis correlatas do domínio Votuverava. 85

Figura 7.7. Mapa de anomalias de cobre em sedimentos de corrente. 87

Figura 7.8. Mapa de anomalias de cromo em sedimentos de corrente. 88

Figura 7.9. Mapa de anomalias de chumbo em sedimentos de corrente. 89

Figura 7.10. Mapa de anomalias de ferro em sedimentos de corrente. 90

Figura 7.11. Mapa de anomalias de níquel em sedimentos de corrente. 91

Figura 7.12. Mapa de anomalias de arsênio em sedimentos de corrente. 92

Figura 7.13. Mapa de anomalias de prata em sedimentos de corrente. 93

Figura 7.14. Mapa de anomalias de ouro em concentrados de bateia. 94

CAPÍTULO 8

Figura 8.1. Mapa base *booleano* utilizado na modelagem pelo método da indexação de *overlays*. 99

Figura 8.2. Submodelo litológico utilizado na modelagem pelo método da indexação de *overlays*. 102

Figura 8.3. Resultado da integração dos mapas de anomalias geoquímicas. 104

Figura 8.4. Submodelo geoquímico utilizado na modelagem pelo método da indexação de *overlays*. 105

Figura 8.5. Submodelo estrutural utilizado na modelagem pelo método da indexação de *overlays*. 109

Figura 8.6. Mapa do potencial aurífero da região estudada estimado por modelagem pelo método da indexação de *overlays*. 111

Figura 8.7. Mapa de reclassificação do modelo da figura 8.6, mostrando as áreas de maior potencialidade para mineralizações auríferas. 112

Figura 8.8. Mapa base *booleano* utilizado na modelagem pelo método dos pesos de evidência. 120

Figura 8.9. Mapa da probabilidade posterior de depósitos auríferos. Resultado da modelagem pelo método dos pesos de evidência. 131

Figura 8.10. Mapa de reclassificação do modelo da figura 8.9, mostrando as áreas de maior probabilidade de mineralizações auríferas. 132

CAPÍTULO 9

Figura 9.1. Mapa de correlação entre os dois modelos propostos, na região de afloramento da Unidade Piririca. 137

Figura 9.2. Mapa do potencial aurífero estimado por modelagem pelo método da indexação de *overlays*, detalhe da área da bacia do Rio Pedro Cubas. Com superposição do vetor de bacias fortemente anômalas em ouro. 138

Figura 9.3. Mapa da probabilidade posterior de depósitos auríferos, detalhe da área da bacia do Rio Pedro Cubas. Com superposição do vetor de bacias fortemente anômalas em ouro. 138

Agradecimentos

Paulo Cesar Pereira Branco, Mario da Costa Campos Neto, Claudemir Severiano de Vasconcellos, Mario Mota Câmara, José Motta Filho, Idio Lopes Júnior, Paulo Cezar Santarem da Silva, Arlindo Akio Yamato, Graeme F. Bonham-Carter, Ricardo Moacyr de Vasconcellos, Carlos Alfredo G. da Vinha, José Carlos Garcia Ferreira, Seiji Oki, Roylane Barbosa, Mario José Metelo, Ribamar Lopes Bezerra, Ivan Lopes S. dos Anjos, Helius de Almeida Guimarães Filho, Arlei Benedito Macedo, Ginaldo Ademar da Cruz Campanha, Silvia Maria Morais, José da Costa Pinto, Marina das Graças Perin, Lauro Gracindo Pizzatto, Ruy Edy Iglesias da Silveira, Marília Ribeiro Brambilla, Vilmário Antunes da Silva, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CAPES, Maria Auxiliadora Mazzini Perrotta, José Milton Perrotta, Néa Carvalho de Campos, Carlos Lemos de Campos.

ABSTRACT

The gold potential of a region in the Ribeira Valley district was estimated by two distinct modelling methods, carried out in a Geographic Information System.

A geographic information system is a computer system for managing geocoded spatial data from diverse sources organised as thematic maps and attribute tables and brought together into a unified database. In mineral exploration, many kinds of spatial evidence for mineral deposits, such as geology, structure, geochemical and geophysical characteristics, can be empirically analysed by establishing their spatial relationships to known gold occurrences and combined together in map form to predict the favourability for gold.

Our dataset included a geologic map, compiled on a 1:50,000 scale from maps ranging between 1:10,000 and 1:250,000 scales, geochemistry of stream sediments and panned concentrates, geochemistry of basic volcanic rocks, gamma-ray and magnetic airborne data, thematic mapper data, and mineral occurrences data.

The most widespread mineralised lithological unit was informally designated the Piririca unit, a metavolcanic-sedimentary sequence of deep-water carbonaceous phyllites, grading up to shallow-water carbonate-bearing phyllites associated with basanite volcanism of a distensive tectonic regime, distinct from the adjacent units of basaltic volcanism that grade from MORB to island arc affinities.

The gold deposit model presumed metamorphic devolatilization of the volcano-sedimentary pile associated with an anomalously high geothermal gradient, with gold-bearing fluids moving along northeast trending brittle-ductile strike-slip shear zones, which developed late in regional metamorphism and during the emplacement of the Agudos Grandes granitic batholith.

The gold potential was estimated by the index overlays model, like the linear addition of maps, which involves a subjective choice of map weights, and by the weights of evidence model, which is objective in that it statistically determines the weight of each evidence map according to its spatial association with the known occurrences.

These analyses have as positive evidence the following factors: the presence of the Piririca Unit and correlative sequences, the presence of mainly basic/ultrabasic metavolcanic rocks and Ca-phyllites, the proximity of Piririca-like metavolcanic rocks, the presence of silver, arsenic, lead, copper, chromium and nickel geochemical anomalies, the proximity to northeast brittle-ductile strike-slip or normal shear zones and north-south fractures and finally the presence of gamma-ray U/K ratio signatures ranging from 0.105 to 0.151.

RESUMO

Uma área no distrito mineiro do Vale do Rio Ribeira de Iguape foi selecionada para estudo do seu potencial aurífero, através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Este tipo de sistema incorpora uma base de dados digitais, espacialmente registrados, organizados na forma de mapas temáticos e tabelas de atributos, que podem ser avaliados estatísticamente, a fim de se estabelecer, no caso de aplicação em pesquisa mineral, as interrelações empíricas entre as evidências e os depósitos conhecidos, com o objetivo de se prever novos depósitos. Mapas previsionais são gerados pela integração, através de operações lógicas entre os diversos mapas temáticos de evidências, segundo uma hierarquia de maior ou menor correlação com a mineralização.

A base de dados construída consiste de dados de cartografia geológica, geoquímica de sedimentos de corrente e concentrados de bateia, litogeoquímica de rochas metavulcânicas básicas; aerogeofísica (magnetometria e gamaespectrometria), imagens de satélite e dados metalogenéticos das ocorrências conhecidas.

Reconhecidamente aurífera, a região entre os Ribeirões Piririca e Ivaporunduva, foi objeto de estudo comparativo com as áreas adjacentes na tentativa de se determinar características geológicas que a diferenciavam das demais. Encontrou-se nesta região, como já indicavam mapas de detalhe de projetos prospectivos, uma unidade litologicamente distinta das adjacentes, denominada Unidade Piririca. São sedimentos pelágicos de ambiente redutor e sulfetado constituídos de pelitos e pelitos carbonosos de ambiente marinho profundo na base, que gradam no topo para águas mais rasas com pelitos carbonáticos. Associam-se a vulcanismo basanítico de regime tectônico distensivo, distinto das metabásicas das unidades adjacentes, que apresentam composições basálticas de filiação toleítica, e afinidade MORB/ arco insular vulcânico.

As características das mineralizações auríferas nesta unidade indicam gênese associada a devolatização metamórfica da pilha metavulcano-sedimentar, causada por um gradiente geotérmico anomalamente alto, que possibilitou a extração de fluidos, com ouro em solução, e cuja percolação, canalização e deposição foi facilitada por estruturas planares, associadas a zonas de cisalhamento de orientação NE, tardias ao metamorfismo regional e penecontemporâneas ao plutonismo granítico que deu origem ao Granitóide Agudos Grandes.

O potencial aurífero da região foi estimado através de dois métodos de modelagem, o método da indexação de *overlays*, semelhante a uma adição ponderada dos mapas temáticos, em que pesos são atribuídos subjetivamente, segundo a avaliação do pesquisador.

e o método dos pesos de evidência, de caráter objetivo, onde os pesos são calculados estatisticamente através de uma estrutura de probabilidades, que estabelece a correlação entre as evidências e as ocorrências conhecidas.

Estas análises indicaram como evidências de correlação positiva com a mineralização aurífera, a presença de litotipos da Unidade Piririca, principalmente metaultrabásicas e cálciofilitos; a proximidade do contato com metaultrabásicas/básicas desta unidade; a presença de anomalias geoquímicas de prata, arsênio, chumbo, cobre, cromo e níquel; a proximidade de zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis NE transcorrentes e normais, e de fraturas NS; e a presença de assinaturas gamaespectrométricas dentro do intervalo de 0,105 a 0,151 para a razão U/K.

1. INTRODUÇÃO

1.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. PROPOSTAS E POSSIBILIDADES EM PESQUISA MINERAL

Um Sistema de Informações Geográficas - **SIG** - é um sistema digital para tratamento de dados espaciais, cuja localização é conhecida, ou pode ser calculada, em termos de coordenadas geográficas (latitude e longitude). Como sistemas computacionais, os **SIG**s englobam vários componentes interligados, de funções variadas, capacitando-os para entrada, organização, visualização, pesquisa, integração, análise, previsão e saída de dados.

Nos **SIG**s as informações são organizadas na forma de mapas, imagens, tabelas e relatórios estatísticos, a partir de dados de fontes, escalas e estruturas digitais diversas, todos eles espacialmente registrados, combinados num banco de dados unificado.

O desenvolvimento dos **SIG**s no campo das geociências vem atender a necessidade de se manipular volumosos bancos de dados digitais, que vem sendo continuamente gerados e alimentados por agências governamentais, companhias privadas e pesquisadores universitários, como resultado de levantamentos geofísicos, geoquímicos e de monitoramento por sensores remotos.

No campo da Pesquisa Mineral, em particular, sua aplicação vem da possibilidade de se manipular níveis individuais de dados espaciais (mapas temáticos) e principalmente da capacidade de analisar e modelar as interrelações entre os diferentes níveis, permitindo a avaliação simultânea de vários tipos de evidências, tais como geologia, estrutura, alteração hidrotermal, assinaturas geofísicas e geoquímicas dos depósitos conhecidos numa região, na tentativa de se prever novos depósitos.

Assim, o propósito final de um **SIG** é possibilitar o estabelecimento de prioridades para explorações futuras com base em dados espaciais, integrados na forma de um mapa potencial.

A partir da década de 80, o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas, e sua ampla divulgação, tem interessado diversos pesquisadores na descoberta de suas potencialidades na área da pesquisa mineral e é provável que, num futuro próximo, sua utilização se torne obrigatória em empreendimentos mineiros.

Um dos primeiros estudos clássicos demonstrando a aplicação destes sistemas no campo da geologia exploratória do ouro é o trabalho de Bonham-Carter *et al.* (1988) na região de

Nova Escócia, Canadá, na tentativa de prever depósitos auríferos no Terreno Meguma. Nesta região os depósitos ocorrem em veios sulfetados de quartzo e carbonato, hospedados em grauvacas arenosas do Eopaleozóico (Formação Goldenville), afetadas por intrusões graníticas devonianas. Os veios de quartzo, no geral concordantes, ocorrem nas proximidades de charneira de dobras, ou discordantes, associam-se a falhas orientadas segundo NW-SE. Não há, entre os pesquisadores da região, consenso sobre a origem genética dos depósitos. Neste trabalho o **SIG** foi utilizado na avaliação empírica das relações espaciais entre diversas evidências que incluíram: geoquímica de sedimentos de corrente, litologia, proximidade de contatos entre formações, proximidade de eixos de dobras anticlinais e proximidade de lineamentos NW. Um modelo probabilístico baseado na estatística "bayesiana" foi então desenvolvido para previsão das mineralizações auríferas segundo estas relações empíricas. Este modelo continuou a ser desenvolvido sob a denominação de método dos pesos de evidência, em Agterberg (1989 *in:* Bonham-Carter 1991), Agterberg *et al.* (1990), Bonham-Carter (1991) e outros trabalhos destes pesquisadores do *Geological Survey of Canada* (*GSC*).

Os resultados obtidos indicaram como fatores fortemente positivos a presença de anomalias geoquímicas favoráveis e a proximidade de eixos anticlinais; moderadamente positiva é a presença da Formação Goldenville, particularmente nas proximidades do contato com a Formação Halifax (onde folhelhos são os litotipos predominantes) e fracamente correlacionadas com os depósitos na área são as evidências de proximidade com granitos e com lineamentos NW. Além do mapa do potencial aurífero, construído com base nestes resultados, estas conclusões mostram que a modelagem digital dos dados espaciais em um **SIG** é capaz de fornecer informações acerca do modelo prospectivo da área, que podem ser extrapoladas para áreas adjacentes, geologicamente similares, sem depósitos conhecidos.

Resultados coerentes na avaliação de potencialidades auríferas através de um **SIG** foram também obtidos por pesquisadores do *BRGM* (*Bureau de Recherches Géologiques et Minières).* BRAUX *et al.* (1991), por exemplo, num estudo de cunho regional da Zona de Cisalhamento Sul-Armoricana, componente de um cinturão tectônico na região de Bretanha (França), basearam-se principalmente em dados estruturais coletados em imagens de satélite, de uma área bastante pobre em afloramentos, mas considerada como favorável à presença de mineralizações auríferas, do tipo epigenético, análogas às do Maciço Central da França. Dados geológicos, geoquímicos e geofísicos foram incorporados ao sistema para aprimoramento do modelo. Estes autores concluíram que a combinação de uma coleção de evidências é grandemente facilitada num Sistema de Informações Geográficas, que garante a

objetividade do cruzamento dos dados, já que as informações não são simplesmente superpostas, mas tratadas e filtradas de acordo com critérios escolhidos a partir de um modelo conhecido e ajustável. Ressaltam ainda a conveniência dos **SIG**s no armazenamento e organização de dados, que podem ser periodicamente atualizados de acordo com a evolução dos conhecimentos geológicos da área, bem como do tipo de mineralização pesquisada.

Pesquisadores do *United States Geological Survey (USGS)*, vem desenvolvendo um importante estudo previsional no distrito mineiro de Butte, Montana, através de um Sistema de Informações Geográficas (Elliott *et al.* 1993). Este distrito compreende mineralizações de diversos metais básicos, geneticamente distintas (tipos: veio, *skarn*, pórfiro, *stockwork, placer*) e associadas a diferentes conjuntos litológicos. Conta com uma coleção de dados geológicos, geoquímicos, geofísicos (gravimétricos e magnéticos), topográficos e de sensores remotos bastante significativa, complementada por um elevado número de depósitos conhecidos, que quase inviabilizaria um tratamento convencional satisfatório fora de um **SIG**. Os modelos de potencial mineral para cada metal, referentes a cada tipo genético, que vem sendo produzidos por este grupo de pesquisadores, baseiam-se num estudo metalogenético pormenorizado dos depósitos, e construção de submodelos de favorabilidade relativos a cada evidência. Este submodelos são hierarquizados através da atribuição de pesos de acordo com sua maior ou menor correlação com os depósitos conhecidos. A adição sucessiva dos diversos submodelos gera o modelo final, ou mapa potencial.

No Brasil, um exemplo de utilização de Sistema de Informações Geográficas na modelagem de mineralizações auríferas vem do estudo de Silva (1991) no *greenstone-belt* Contendas-Mirante de idade Arqueana. Neste trabalho, que consta de uma resenha bastante completa da aplicação destes sistemas em exploração mineral, a coleção de dados analisada compreendeu: informações geológicas e geoquímicas da seqüência vulcano-sedimentar Contendas-Mirante e do magmatismo associado; arcabouço estrutural; geoquímica de sedimentos de corrente; aerogeofísica (dados magnéticos e radiométricos) e dados obtidos do tratamento digital de imagens de satélite e de radar. A análise estatística detalhada destes dados determinou com bastante precisão as evidências favoráveis, que foram traduzidas em mapas. Para integração destes mapas no **SIG**, eles receberam pesos segundo uma potência inteira de dois, mais alto quanto maior a correlação com as mineralizações, e foram somados, gerando-se um mapa de fusão de dados onde cada possibilidade de combinação dos fatores resultou em um único valor de classe. A convergência de fatores geológicos favoráveis,

determinada pelos mais altos valores desta somatória, resultou na seleção de quatro áreas potenciais à mineralização, que representam cerca de 12% do total da área estudada.

Para avaliação do potencial aurífero de uma região no Vale do Rio Ribeira de Iguape utilizou-se no presente trabalho, dois métodos de modelagem baseados em um Sistema de Informações Geográficas. O método da indexação de *overlays*, semelhante aos utilizados em Elliot *et al.* (1993) e Silva (1991) no seu caráter subjetivo e de adição sucessiva de mapas temáticos (submodelos), hierarquizados segundo sua maior favorabilidade, e o método dos pesos de evidência desenvolvido por Bonham-Carter e colaboradores.

O Sistema de Informações Geográficas utilizado foi o *SPANS-GIS*. Este sistema tem capacidade de análise e modelagem de dados em formato matricial (*raster*), principalmente, mas possibilita a visualização e análise de dados na forma de vetores e tabelas de pontos com atributos, bem como permite a geração de mapas a partir destes dados. Uma descrição da estrutura dos arquivos matriciais neste sistema foi apresentada em Ebdon (1992), que abordou ainda suas possibilidades na manipulação e transformação de dados vetoriais e tabelas, na visualização das informações, e sua capacidade na modelagem de dados espaciais.

1.2. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região do Vale do Ribeira, nacionalmente conhecida como produtora de chumbo, foi responsável até o ano de 1954 por todo o minério de chumbo produzido no país. Hoje, entretanto, todas as lavras estão paralisadas.

Atualmente a produção mineira do Vale do Ribeira resume-se principalmente à exploração de bens minerais não metálicos, como calcário, argila, *chert*, talco, fosfato, rocha ornamental e fluorita.

A existência de ouro nesta região é conhecida desde o século XVI, quando bandeirantes exploravam exclusivamente depósitos aluviais do rio Ribeira de Iguape e seus principais afluentes da margem esquerda. De pequenas dimensões volumétricas, estes depósitos foram praticamente esgotados.

O único depósito de ouro primário que foi explorado na região é conhecido como Morro do Ouro, nas proximidades da cidade de Apiaí (Knecht 1939), cuja lavra está paralisada desde 1942.

Projetos de reconhecimento geoquímico regional, desenvolvidos pela CPRM (Projetos Sudelpa - Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975a, b - e Geoquímica no Vale do Ribeira -

Morgental *et al.* 1978) a partir dos anos 70, indicaram anomalias significativas de Cobre, Chumbo e Zinco que nortearam pesquisas locais visando a prospecção de ouro e sulfetos associados. Através destes trabalhos conheceu-se os depósitos auríferos de Piririca e Ivaporunduva, além de uma série de ocorrências, destacando-se as do Cavalo Magro e São Pedro (Addas & Pinto 1979, Addas *et al.* 1979, Pinto *et al.* 1979, Alegri *et al.* 1980, Borin Jr. *et al.* 1980, Paiva & Morgental 1980, Macedo *et al.* 1981, Morgental *et al.* 1981, Silva 1982, Borin Jr. 1983, Lopes Jr. *et al.* 1994).

Apesar do potencial para conter mineralizações auríferas e das constantes pesquisas locais da CPRM, o Vale do Ribeira carece de um modelo prospectivo regional, principalmente devido as suas condições ínvias e conseqüente dificuldade de acesso. Por outro lado, uma coleção de dados de prospecção geoquímica regional e local necessitava de integração e reavaliação. A possibilidade de combinação destes dados com as informações geológicas, aerogeofísicas e de sensores remotos disponíveis, através de um Sistema de Informações Geográficas, e modelagem no sentido de avaliação do potencial aurífero, norteou a seleção de uma área no Vale do Ribeira, que incluísse as unidades litoestratigráficas reconhecidamente auríferas, e uma quantidade significativa de ocorrências de ouro.

1.3. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área selecionada para estudo (figura 1.1) tem como limites as coordenadas UTM de 740.000 a 796.000 de longitude e de 7.272.000 a 7.322.000 de latitude (meridiano central 51), perfazendo 2.800 km^2. Nela estão incluídas, em parte, as folhas topográficas (escala 1:50.000), de Iporanga (SG.22-X-B-V-2), Braço (SG.22-X-B-VI-1), Jacupiranga (SG.22-X-B-VI-1), Mina do Espírito Santo (SG.22-X-B-II-4), Serra do Aboboral (SG.22-X-B-III-4), Guapiara (SG.22-X-B-II-2), Capão Bonito (SG.22-X-B-III-1), Taquaral (SG.22-X-B-III-4) e na porção central da área a folha Ribeirão Itacolomi (SG.22-X-B-III-3) na sua totalidade.

1.4. OBJETIVOS E MÉTODOS

Este trabalho, que começou a ser desenvolvido vinculado a um projeto institucional da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), teve como principal objetivo a elaboração do mapa do potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, através da integração de dados geológicos, metalogenéticos, geoquímicos, geofísicos e de sensores remotos num Sistema de Informações Geográficas (**SIG**). Visou, paralelamente, o desenvolvimento metodológico das técnicas de entrada e

LEGENDA

- Área de estudo
- Estrada pavimentada
- Estrada não pavimentada
- Limite interestadual
- Drenagem
- Cidade

Figura 1.1. Mapa de localização

análise espacial de dados num **SIG**, que tem se revelado como eficiente ferramenta na pesquisa mineral, facilitando a construção de mapas previsionais.

A maioria das ocorrências de vulto na área classificam-se como do tipo epigenético, com concentração do ouro em veios de quartzo, controlados por feições estruturais, e hospedados principalmente em rochas metabásicas, afetadas por alteração hidrotermal. Assim a análise dos dados se deu no sentido da identificação do conjunto de estruturas envolvido nos processos de canalização e deposição dos fluidos mineralizantes, das características químicas do magmatismo básico, que deve ter constituído a principal fonte do ouro carreado nas soluções, e das assinaturas geofísicas e geoquímicas das ocorrências bem como das unidades mineralizadas. Identificadas estas características, a avaliação empírica das suas relações espaciais é feita estatisticamente, dentro do sistema de informações geográficas, onde, com base nestes resultados, os dados são modelados com a finalidade de se encontrar áreas em que as evidências se associem favoravelmente.

Dois métodos distintos de estimativa do potencial aurífero foram aplicados, o método da indexação de *overlays*, de caráter subjetivo, em que pesos são atribuídos aos dados pelo pesquisador, de acordo com sua experiência, e o método dos pesos de evidência, de caráter objetivo, onde os pesos são calculados estatisticamente através de uma estrutura de probabilidades, que estabelece a correlação entre as evidências e as ocorrências conhecidas.

As atividades envolvidas nos processos de coleta, incorporação, transformação e modelagem dos dados num sistema de informações geográficas são apresentadas esquematicamente no fluxograma da figura 1.2.

Os dados geológicos encontram-se descritos no capítulo 2 em que se discute a contextualização regional da área, a geologia da unidade mineralizada, evolução geocronológica e dados de litogeoquímica que contribuíram no ajuste do modelo metalogenético/prospectivo. Os capítulos 3 e 4 trazem a descrição e análise dos dados obtidos indiretamente, da aerogeofísica e de imagens de satélite. No capítulo 5 apresenta-se uma discussão dos modelos genéticos propostos para a mineralizações auríferas na área, e no capítulo 6 aborda-se os dados de geoquímica de sedimentos de corrente e concentrados de bateia.

Os métodos envolvidos na incorporação dos dados digitais ao **SIG** e sua transformação em mapas de evidências são descritos no capítulo 7 e no capítulo 8 descrevem-se os dois métodos de modelagem espacial de dados desenvolvidos e os mapas do potencial aurífero produzidos. No capítulo 9 finaliza-se com a discussão do resultados obtidos.

PLANEJAMENTO DA INTEGRAÇÃO DE DADOS PARA EXPLORAÇÃO MINERAL NUM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEORREFERENCIADAS - SIG

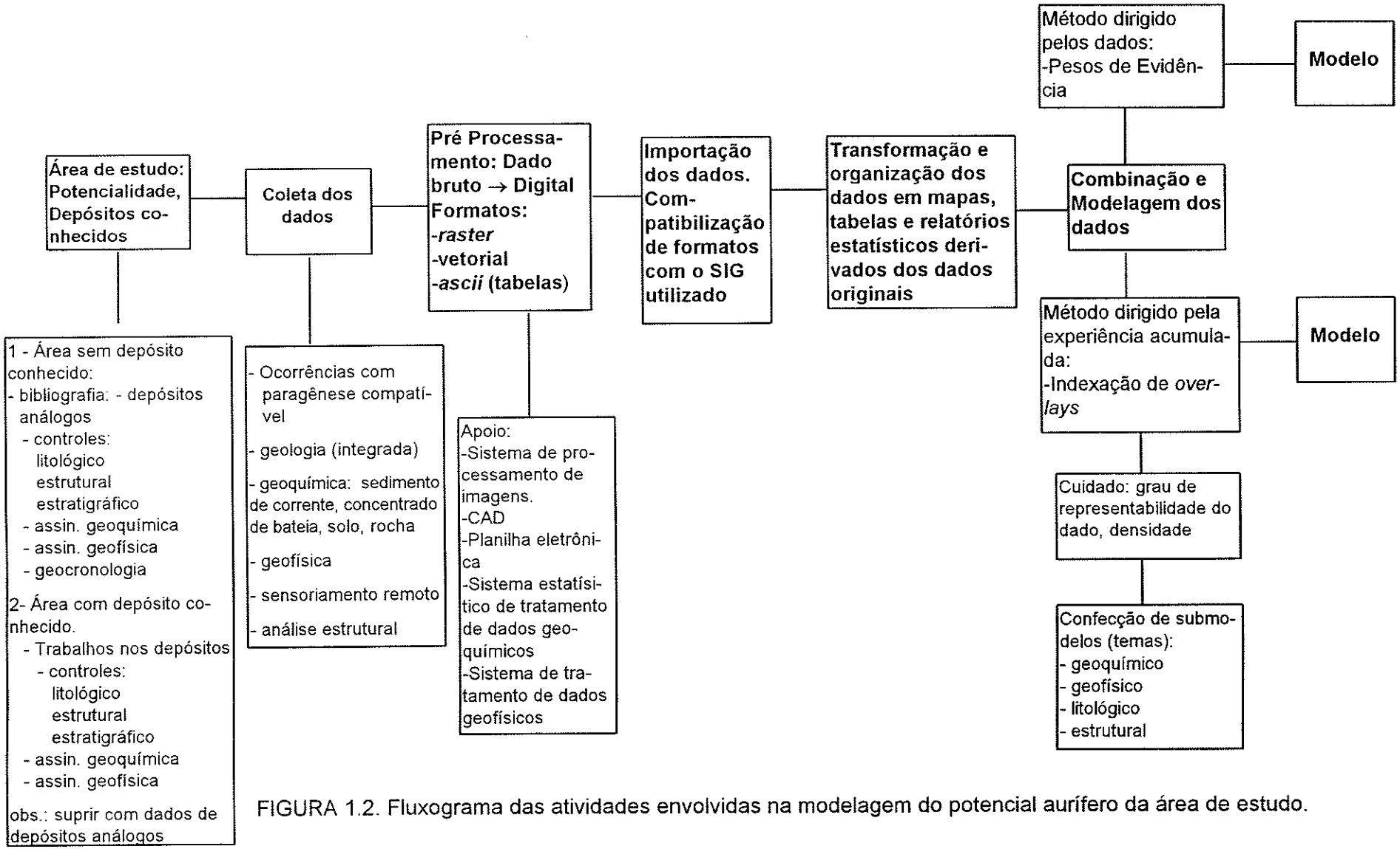


FIGURA 1.2. Fluxograma das atividades envolvidas na modelagem do potencial aurífero da área de estudo.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. ASPECTOS REGIONAIS

Os dados geológicos foram compilados e integrados em uma base 1:50.000 a partir de mapas prévios de escalas variáveis desde 1:10.000 até 1:250.000. Foram utilizados nesta compilação mapas publicados e anexos de relatórios internos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e Pró-Minério incluídos nos seguintes trabalhos: Campanha (1991), Campanha *et al.* (1985, 1988), Takahashi *et al.* (1984), Algarte *et al.* (1972), Chiodi Filho *et al.* (1983), Borin Jr. e Ferrari (1986), Silva *et al.* (1981), Vasconcelos & Câmara (1995), Pinto & Borin Jr. (1982), Daitx *et al.*(1983) (figura 2.1). O mapa geológico compilado, modificado por dados obtidos no presente trabalho é mostrado no anexo 1.

A grande maioria dos conjuntos litológicos mapeados na área de estudo encontra-se no domínio tectônico da Faixa Apiaí de Hasui *et al.* (1975), definida como integrante da Microplaca Apiaí-Guaxupé, de evolução orogênica no Neoproterozóico por Campos Neto & Figueiredo (1995). Segundo estes autores a evolução da Faixa Apiaí compreendeu um estágio *rift* inicial com a deposição de seqüências vulcano-sedimentares de afinidades N-MORB e E-MORB, gradando para basaltos e shoshonitos de arco imaturo (Frascá *et al.* 1990, Juliani 1993). Estas seqüências afloram localmente, e idades de aproximadamente 1,7 a 1,5 Ga, foram obtidas através de U/Pb em zircão e Pb/Pb em galena (Van Schmus *et al.* 1986, Tassinari *et al.* 1990). Um arco magmático do tipo Cordilheirano, compreendido principalmente por batólitos granitóides porfiríticos a biotita e hornblenda, calcioalcalinos de alto potássio, parece estar associado à subducção relativa à orogênese do "Brasiliano I" e responsável pela microplaca Apiaí-Guaxupé (Figueiredo & Campos Neto 1994). Um plutonismo tardi-orogênico alcali-cálcico, a 610 Ma, grada para Fe-hastinguisita biotita granitos rapakivi de 600 a 580 Ma (Vlach & Cordani 1986, Janasi & Ulbrich 1991) marcando o estágio pós-orogênico e definindo o *trend* nordeste do Cinturão Granitóide Itu (Vlach *et al.* 1990), oblíquo ao cinturão dos batólitos calcioalcalinos de alto-potássio mais antigos.

As seqüências supracrustais predominantes na região de estudo, orientam-se segundo direção geral NE-SW, e incluem faixas metassedimentares de unidades terrígenas, químicas e clastoquímicas, com intercalações vulcânicas e subvulcânicas básicas atribuídas ao Grupo Açungui. São cortadas por corpos granitóides sin a tardi orogênicos (Espírito Santo e Agudos Grandes) de idades não determinadas. Corpos granitóides pós-orogênicos ocorrem

MAPA ÍNDICE DOS TRABALHOS UTILIZADOS NA COMPILAÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO

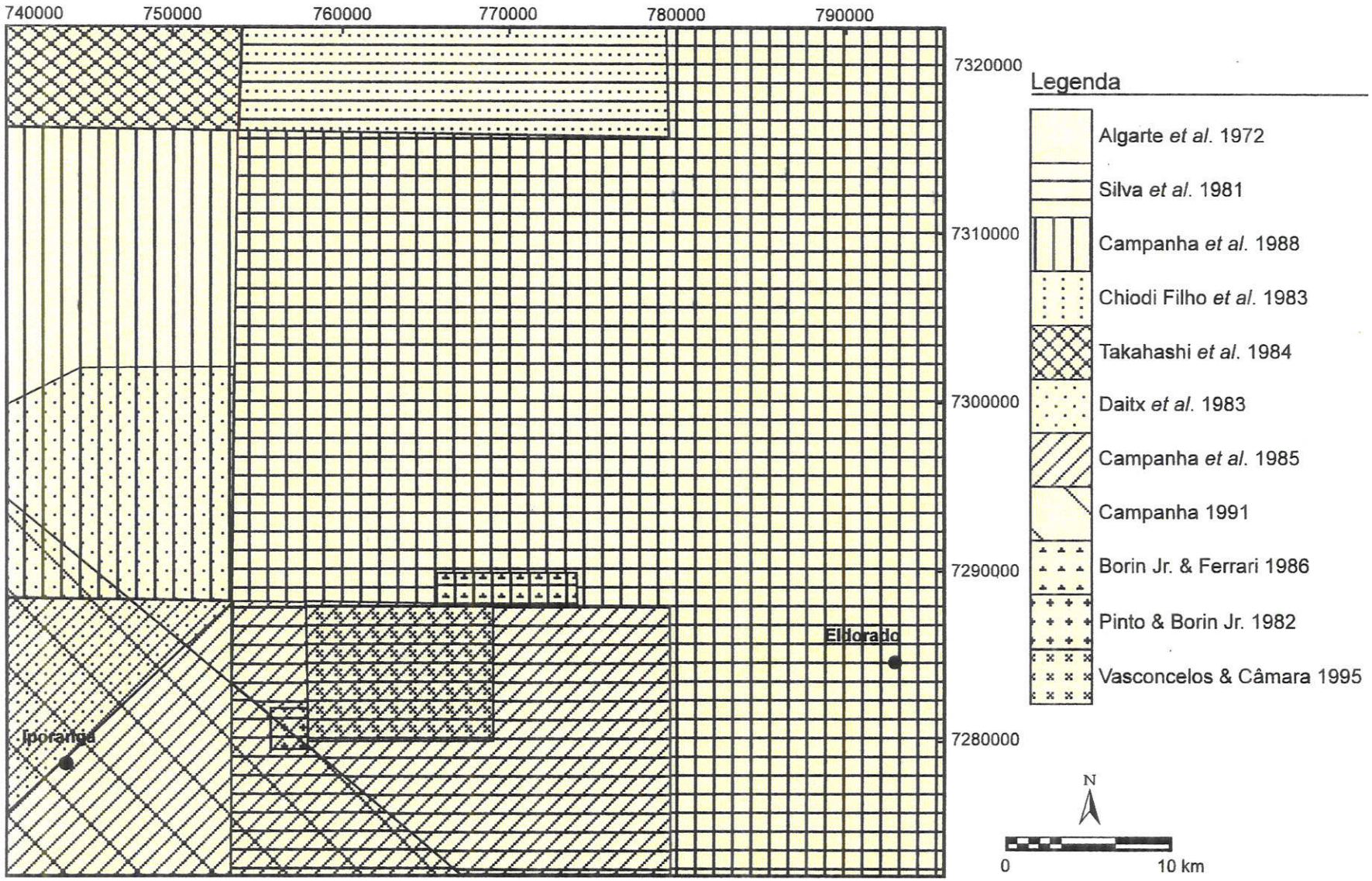


Figura 2.1. Mapa índice dos trabalhos utilizados na compilação do mapa geológico.

localmente. No período Mesozóico, associado a tectônica de abertura do oceano Atlântico e reativação da Plataforma Brasileira, ocorreu magmatismo básico fissural, com a intrusão do enxame de diques básicos do Arco de Guapiara (Bettencourt & Ruegg 1972). Também de idade mesozóica ocorrem intrusões alcalinas do tipo Jacupiranga.

No extremo noroeste da área afloram as seqüências metavulcano-sedimentares químicas, clasto-químicas e com contribuição básica da Formação Água Clara. Inclui-se ainda neste conjunto uma faixa de xistos que estende-se para SW até a região de Apiaí (Xistos Morro do Ouro, de Campanha 1991). A Formação Água Clara foi descrita na Folha Araçaíba por Almeida *et al.* (1986) e Almeida (1989) como de grau metamórfico médio, gradando de leste para oeste da zona da actinolita para a zona do diopsídio.

Balizados pela Zona de Cisalhamento Espírito Santo, a sudeste da Formação Água Clara, ocorrem metassedimentos clásticos e clasto-químicos definidos por Pires (1990, 1991) como Seqüência deposicional Furnas-Lajeado. Na sua base aflora, na área, o membro superior, metapelítico, da Seqüência deposicional Betari. Pires (*op. cit.*), concluiu que estas duas seqüências compreendem um ciclo transgressivo-regressivo completo, sendo que a Betari, representada por sistemas turbidíticos, é retrogradacional em caráter mas associada a um episódio transgressivo, enquanto que a Furnas-Lajeado, progradacional relacionada a um episódio regressivo, é representada por sedimentos numa plataforma rasa sob o domínio de ondas, que transiciona para sedimentos terrígenos de borda de talude, seguido por rampa carbonática.

Já Campanha *et al.* (1985, 1986) e Campanha (1991) incluíram estas seqüências na sua definição de Subgrupo Lajeado, em suas unidades intermediária e basal, enquanto que a seqüência metapsamítica da Formação Serra da Boa Vista compõe parte de sua unidade superior.

Todo o conjunto denominado de Subgrupo Lajeado em Campanha (*op. cit.*) tem registro metamórfico no grau fraco, na zona da clorita, atingindo localmente a zona da biotita (Campanha 1991) com ou sem cloritóide (Pires 1990, Campanha 1991). É cortado, na área de estudo, pelo Granitóide Espírito Santo, que segundo a pouca informação disponível, tem composição de granito 3B, é porfirítico, isótropo ou localmente foliado.

Intrusivo na Formação Serra da Boa Vista, com uma forma semelhante a um lacólito, ocorre ainda o Gabro de Apiaí. São gabros e diabásios a hiperstênio e com texturas ofítica a subofítica e intergranular bem preservadas; quimicamente caracterizam-se como basaltos de filiação toleítica enriquecidos em Na e Fe (Campanha 1991, Frascá *et. al.* 1992). Apresentam

valores K/Ar em plagioclásio na ordem de 675 +/- 41 M.a. (Silva *et. al.* 1981), e Rb/Sr (em rocha total?) de cerca de 805 +/- 85 M.a. (Daitx *et al.* 1990).

A Zona de Cisalhamento Figueira baliza o contato das seqüências metassedimentares anteriores com a Formação Iporanga, esta metamórfica no grau fraco e predominantemente metapelítica, com intercalações espessas de metapsamitos, metarruditos e metabrechas polimíticas com seixos e fragmentos de diversos tamanhos e litologias dispostos em matriz lamítica. Pires (1988) interpretou esta seqüência como depósitos de *debris flow* e turbiditos canalizados.

Em contato com a Formação Iporanga, balizado pela Zona de Cisalhamento Agudos Grandes, ocorre um conjunto litológico, que representaria a continuidade da Formação Votuverava definida no Estado do Paraná por Fuck *et al.* 1971 (*apud* Bigarella e Salamuni, 1958) para metassedimentos predominantemente clásticos, finos, caracterizados pela associação rítmica de metargilitos, metassiltitos e metarenitos. Intercalam camadas de quartzitos e metaconglomerados oligomíticos e polimíticos, além de metabasitos e mármores calcíticos (calcarenitos na base e calcilutitos na porção superior da formação).

Pires (1988) descreve esta seqüência como um complexo turbidítico de águas relativamente profundas, com fácies distais representadas por metarritmitos microgradados, fácies hemipelágicas por metargilitos maciços e fácies arenosas/conglomeráticas depositadas por fluxos turbidíticos de alta densidade.

Campanha *et al.* (1986) e Campanha (1991) correlacionaram este conjunto à Formação Perau, mas em Campanha *et al.* (1995) estes autores passaram a considerá-la como seqüências do que redefiniram como Grupo Votuverava (do Supergrupo Açungui), que incluiria o Subgrupo Lajeado e a Formação Iporanga, além da Água Clara, que permaneceria com a hierarquia de formação.

Campos Neto (1983) considerou, na região entre Barra do Turvo e Iporanga, sob a denominação de Seqüência Ribeirão das Pedras, litotipos deste conjunto, compreendidos por metapelitos com leitos químicos e possíveis emanações vulcânicas.

Evita-se, neste trabalho, ao nível atual de conhecimento, assumir o *status* de Formação ou de Grupo a essa assembléia metavulcano-sedimentar. Pode-se reconhecer seqüências de distintos ambientes deposicionais, cujas relações estratigráficas, mascaradas pelos contatos tectônicos, não podem ainda ser assumidas com segurança. Assim, descreve-se neste domínio tido como Votuverava, balizado a noroeste pelo contato com a Formação Iporanga, a sul pelo Lineamento Ribeira, e a leste pelo contato com o Grupo Embu as seguintes unidades: Nhunguara, Piririca, Rubuquara e Ribeirão das Pedras (que serão descritas adiante).

O Granitóide Agudos Grandes, intrusivo neste domínio, possui uma forma alongada segundo nordeste, dimensões batolíticas e é provavelmente constituído por intrusões múltiplas, polidiapíricas sin a tardi orogênicas. Maciços circulares, possivelmente mais jovens e composicionalmente distintos, são evidenciados nos mapas aerogeofísicos de gamaespectrometria (ver discussão adiante). Metamorfismo de contato foi observado na região do Córrego Ivaporunduva, na área do depósito homônimo (Borin Jr. 1983), materializado no crescimento de biotita em anfibólio *fels* e na geração de biotita hornfels feldspático. Descreve-se ainda a presença, nesta região, de pirrotita nas assembléias mineralógicas das mineralizações auríferas, mineral cuja estabilidade está ligada às condições do grau médio metamórfico.

O extremo leste da área de estudo dispõe de poucos dados geológicos. Mapas anteriores mostram um pacote de xistos atribuídos ainda a Formação Votuverava, mas que podem em parte representar a extensão do Grupo Embu. São cortados pelo granito Serra do Aboboral, que apresenta em imagens aerogeofísicas assinaturas similares aos granitos tipo A.

Na porção sul da área, balizado pelos Lineamentos Ribeira e Lancinha-Cubatão, ocorrem os metassedimentos clásticos, clasto-químicos e químicos da Seqüência Serra das Andorinhas.

A sul do Lineamento Lancinha afloram lentes de xistos finos, filitos e quartzitos correlatos a Seqüência Turvo-Cajati de Silva *et al.* (1981) ou Seqüência Turvo-Areado de Campanha *et al.* (1985, 1986) e Campanha (1991), em meio a gnaisses e migmatitos atribuídos ao Paleoproterozóico. São cortados pelo Granitóide quartzo-monzonítico Itapeúna.

O arcabouço estrutural da área é definido por um sistema anastomosado de zonas de cisalhamento transcorrentes de caráter dúctil ou dúctil-rúptil, que delineiam blocos lenticulares, em cujo interior preserva-se, com intensidade variável, a estruturação anterior a este ou estes eventos. Zonas de cisalhamento suborizontais, de expressão menos significativa na área, são atribuídas em parte a eventos deformais anteriores e em parte contemporâneos às transcorrências.

De dimensões regionais cortam a área as Zonas de Cisalhamento Transcorrentes Quarenta-Oitava, Espírito Santo, Figueira, Agudos Grandes, Ribeira e o Sistema Lancinha-Itapeúna-Cubatão. A zona deformada associada a estes lineamentos varia de bastante restrita a espessuras de algumas centenas de metros, obliterando quase totalmente os registros deformais anteriores. A orientação das quatro primeiras respeita uma direção de aproximadamente N25-30E, enquanto que o Lineamento Ribeira orienta-se segundo N55-70E

na porção centro sul da área, infletindo-se, a leste, para N35-40E; a direção predominante no Sistema de Cisalhamento Lancinha-Itapeúna-Cubatão, na área, é de N45-50E.

Das zonas de cisalhamento transcorrentes regionais que cortam a área, foram visitadas em campo o Sistema de Cisalhamento Lancinha-Itapeúna-Cubatão, Lineamento Ribeira e Zona de Cisalhamento Ivaporunduva.

A primeira desenvolve foliação protomilonítica a milonítica em xistos a norte de Jacupiranga e biotita granitóide da região de Itapeúna, tem caráter linear a plano linear e movimentação lateral dextral. Nas proximidades de Itapeúna já em domínios considerados da Zona de Cisalhamento Cubatão, o granitóide, de composição quartzo-monzonítica, foi afetado por esta estrutura, segundo movimentação sinistral precoce no seu desenvolvimento, e preservado da influência da movimentação final dextral no interior de *mega-pods*. Indicação de movimentação sinistral foi também identificada em veios de quartzo dobrados, em meio a clorita filito milonítico.

Menos claro é o caráter milonítico da foliação desenvolvida no Lineamento Ribeira, onde a plasticidade dos litotipos absorveu de forma mais efetiva os efeitos da deformação, mas indicadores cinemáticos refletem a movimentação lateral dextral. Esta estrutura regional parece ser responsável pelo contato entre a Seqüência Serra das Andorinhas a sul e o Domínio Votuverava a norte.

A Zona de Cisalhamento Ivaporunduva, de orientação geral N45E, demonstrou caráter transcorrente dextral com componente oblíqua compressiva.

Os sistemas transcorrentes sobrepõe-se a pelo menos duas estruturas planares anteriores, de importância regional, registradas nas rochas supracrustais. Uma foliação S_1, no geral paralela ou subparalela ao acamamento S_0, raramente associada a dobras e mais comumente a zonas de cisalhamento suborizontais como a Falha de Arapongas, a oeste da área de estudo, no contato entre a Formação Serra da Boa Vista e a Seqüência Furnas-Lajeado (Pires 1991).

Uma segunda foliação S_2, clivagem ardosiana ou xistosidade fina, de orientação geral NE-SW, foi desenvolvida como plano axial de dobramentos no geral assimétricos, inclinados ou recumbentes e é principal na área. É paralela ou subparalela ao acamadamento original das rochas. As variações na direção da foliação S_2 parecem estar condicionadas pelo padrão anastomosado dos blocos estruturais, delimitados pelas zonas de cisalhamento transcorrentes.

Os registros metamórficos descritos para os diversos conjuntos litológicos estão no geral associados à foliação S_2 (Campanha 1991, Pires 1991) e indicam grau fraco metamórfico, na

zona da clorita, exceto nos metassedimentos da Seqüência Andorinhas, onde atinge-se a zona da biotita. Já nos xistos da Formação Água Clara o metamorfismo atinge a zona da granada.

Ainda de importância regional ocorre uma foliação S_3 associada a dobramentos inclinados, contínuos e holomórficos. Desenvolve-se nos metapelitos como clivagem de crenulação zonal a discreta, com eixos no geral suborizontais, na direção geral de S70W ou N70E nas proximidades do Lineamento Ribeira, e de S45W ou N45E a noroeste deste lineamento. Os planos axiais tem direção próxima a EW e mergulhos fortes a moderados para sul ou norte condicionados por sua disposição em leque.

Observam-se ainda falhas de cavalgamento dúctil-rúptil tardias, com sentido de transporte para noroeste, responsáveis por rejeitos da ordem de alguns centímetros.

Posteriores, e de caráter rúptil a rúptil-dúctil ocorrem falhas inversas oblíquas de transporte para nordeste; falhas de movimentação normal, com abatimento do bloco sudeste, como a que ocorre com direção paralela e a oeste da Zona de Cisalhamento Ivaporunduva (anexo 1) e falhas sinistrais, também de direção NE, (como a de André Lopes) que rejeita o Lineamento Ribeira no sul da área.

Enquanto parte das várias orientações de fraturas rúpteis observadas estão associadas ao evento de colocação dos diques básicos mesozóicos segundo a direção N40-50W, um conjunto mais jovem, provavelmente terciário, de movimentações normais e inversas com componente oblíqua, de direções, respectivamente, N10E/20-30SE e N60E/45NW, causam rejeitos da ordem de centímetros nestes mesmos diques e chegam a afetar solos antigos.

2.2. GEOLOGIA DA ÁREA MINERALIZADA E ADJACÊNCIAS

Perfis realizados em campo durante este trabalho (figuras 2.2 e 2.3 - localização no anexo 1) cortaram o Domínio Votuverava a partir do seu contato com a seqüência Serra das Andorinhas adentrando os domínios da Formação Iporanga até a cidade homônima.

Reconheceu-se neste domínio, a partir do contato com a Seqüência Serra das Andorinhas, três conjuntos litológicos distintos denominados: Unidade Nhunguara, em contato pela zona de falha Ivaporunduva, dextral a componente oblíqua de cavalgamento, com a Unidade Piririca, e a Unidade Ribeirão das Pedras. Entre as duas últimas e entre a Unidade Ribeirão das Pedras e a Formação Iporanga ocorrem faixas de metassedimentos/metavulcânicas denominados Unidade Rubuquara, de posição estratigráfica incerta.

Admitindo-se a estrutura sinformal que tem sido mapeada na região da Caverna do Diabo, identificou-se na base da **Seqüência Serra das Andorinhas** um pacote de filitos carbonosos com intercalações de sericita filitos, sobrepostos por sericita clorita filitos e estes por um conjunto de mármores calcíticos maciços, homogêneos ou bandados com margas associadas. Intercalam ortoquartzitos finos, homogêneos e maciços, mais raros em direção ao topo da seqüência. Em lâmina delgada, amostras desta seqüência evidenciam um grau metamórfico já adentrando a zona da biotita e granada, e crescente para sul. Parte dos filitos descritos em campo tratam-se de xistos finos a muscovita, clorita e/ou biotita e rara granada. Os minerais micáceos dispõe-se segundo a foliação principal, plano axial de arcos poligonais bem apertados. Microcrenulação posterior desenvolve clivagem de crenulação zonal oblíqua.

Hornblenda é o principal mineral máfico de bancos de anfibolito nesta seqüência, apresenta retrometamorfismo para clorita, e epídoto já substituiu quase que totalmente o plagioclásio original.

Através de contato estabelecido pela Zona de Cisalhamento Ribeira ocorre a norte da Seqüência Serra das Andorinhas a **Unidade Nhunguara**. Caracterizam esta unidade (clorita) sericita metapelitos homogêneos a finamente laminados, predominantes, com intercalações centimétricas a milimétricas de filito carbonoso (que chegam a definir pacotes de alternância rítmica com o litotipo predominante); sericita clorita carbonato filito; bancos esparsos e pouco espessos de metamarga e bancos de metarenitos maciços que gradam a laminados em direção aos filitos mais comuns. Estruturalmente no topo deste conjunto ocorre pacote de clorita sericita filito localmente com cloritóide, com intercalações métricas de metabásica, metamargas bandadas e mármores calcíticos. Em lâmina delgada verificou-se a presença de biotita fina e muscovita em amostras de filito, e a foliação principal apresenta-se localmente como traço axial de dobras apertadas delineadas pelo bandamento, aparentemente paralelo a uma foliação anterior, e definido por bancos de metapelitos alternados com bancos de muscovita metarenitos finos, mal selecionados. Um dique básico disposto paralelamente ao bandamento, mostrou-se homogêneo em lâmina delgada, com textura subofítica preservada. Compreende sua mineralogia hornblenda; plagioclásio de provável composição andesina; e restos de piroxênio. Minerais retrometamórficos associados são tremolita, biotita, clorita, talco e sericita.

Aparentemente na base da Unidade Nhunguara, a **Unidade Piririca**, importante neste trabalho por seu potencial aurífero é balizada a leste pela Zona de Cisalhamento Ivaporunduva e a oeste pela Zona de Cisalhamento Piririca. Predominam filitos carbonosos (microporfiroclásticos) com espessas intercalações de metabásicas/ultrabásicas quase

sempre afetadas por alteração hidrotermal nas zonas da cloritização e/ou carbonatação. Sericita quartzo filitos ocorrem como intercalações centimétricas freqüentes, ou localmente como lentes espessas, e mais raros são bancos de metamargas bandadas no topo da seqüência, associados a calciofilitos que podem ocorrer como faixas mapeáveis.

Em contraste com as seqüências metassedimentares adjacentes, onde filitos carbonosos aparecem como intercalações esparsas, provavelmente associados a presença de matéria orgânica nos sedimentos, nesta seqüência, de característica metavulcano-sedimentar, este litotipo é predominante. Sua associação freqüente com metabásicas sugere uma origem distinta, provavelmente sedimentar com forte contribuição vulcânica.

Devido a alta concentração de ocorrências de ouro no domínio desta seqüência, acredita-se que ela represente o principal metalotecto paleogeográfico para a área fonte do ouro, originalmente associado às metabásicas\ultrabásicas. A concentração aurífera epigenética se dá em zonas de cisalhamento em associação com emanações hidrotermais.

Duas amostras de metavulcânicas desta seqüência revelam em lâmina delgada composições distintas. Numa predominam anfibólios da série tremolita-actinolita, retrometamórficos em relação a hornblenda, com talco e opacos ocorrendo em pequenas proporções. Remetem a uma composição ultrabásica da rocha original. Na outra, já de composição básica, ocorrem actinolita-tremolita, epídoto retrometamórfico ou de alteração de plagioclásio e opacos como acessórios.

Os filitos da Unidade Piririca, apresentam na foliação principal, sericita, clorita e mica branca que, juntamente com o quartzo e localmente com carbonato, definem um fino (submilimétrico) bandamento diferenciado ou uma clivagem de crenulação discreta. Recristalização tardi-cinemática em arcos poligonais de mica branca e clorita são freqüentes. Localmente esta foliação encontra-se crenulada admitindo uma clivagem de crenulação S_3, que evolui a transposição e recristalização de sericita e hidróxidos de ferro.

Na região do Poço Grande, a **Unidade Ribeirão das Pedras** (descrita em Campos Neto 1983) caracteriza-se por pacotes rítmicos de filitos brancos sericíticos, metacherts, metassiltitos e metarenitos finos ferruginosos ou magnesianos, alternando-se em bancos centi-decimétricos. Seu contato tectônico com as unidades anteriores mascara as relações estratigráficas, mas a presença de lentes de metarenitos ferruginosos mapeados em área não percorrida em campo, mas na extensão da Unidade Nhunguara sugere uma possível variação lateral de fácies dentro da mesma unidade. Por outro lado, encontra-se sobre a Unidade Rubuquara, descrita a seguir, em contato abrupto e desconhecido.

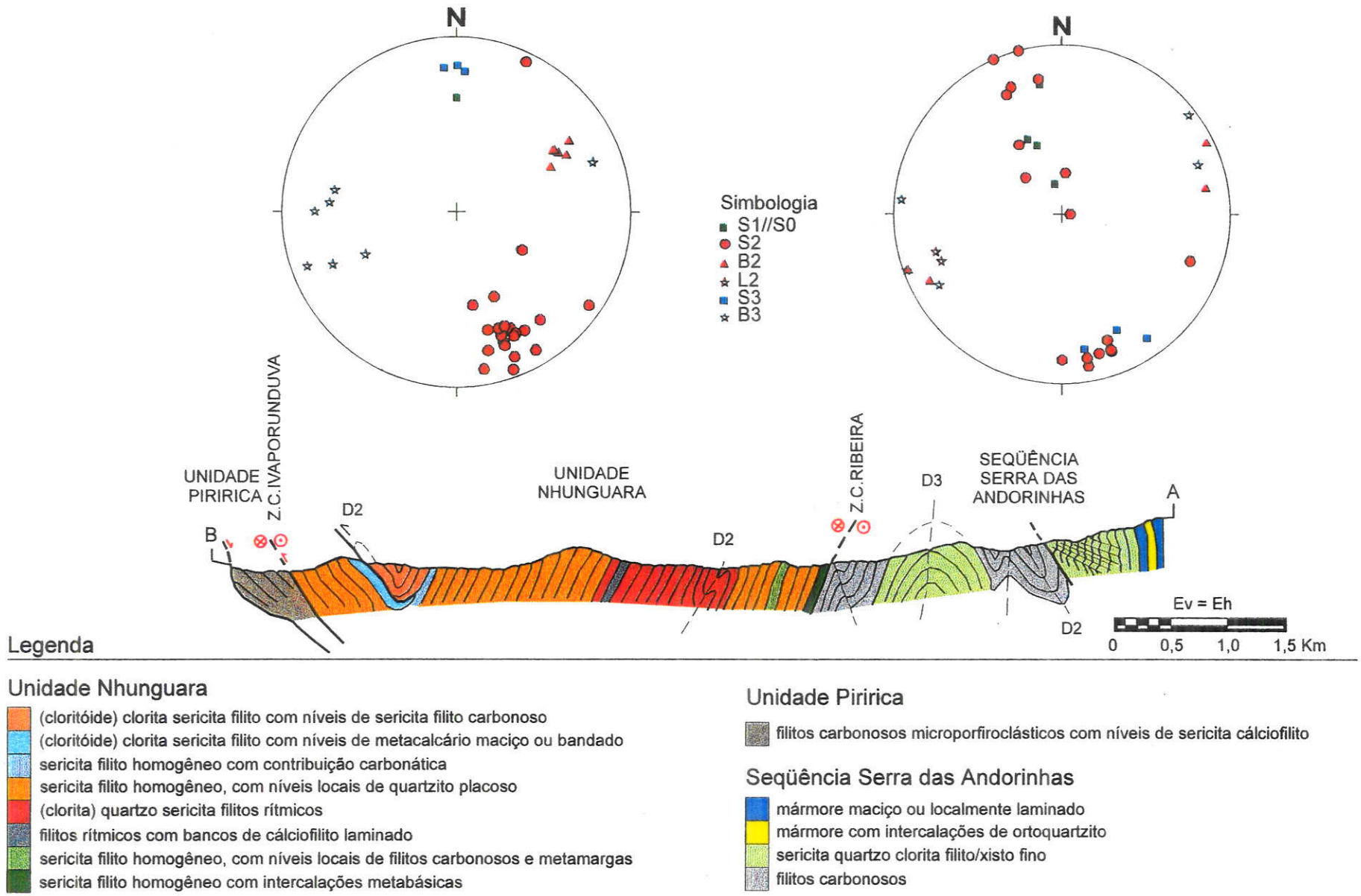
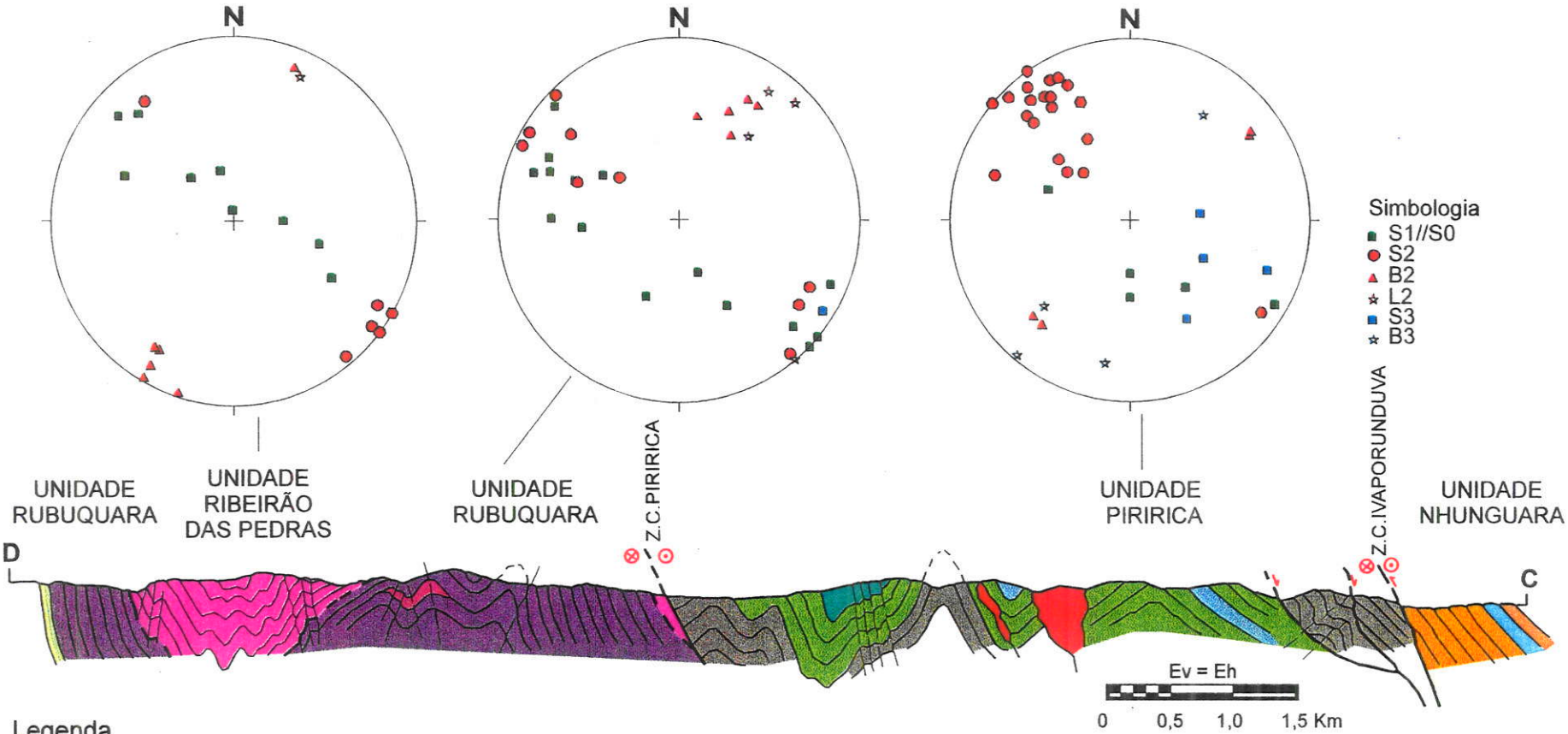


Figura 2.2. Perfil geológico AB. Localização no mapa do anexo 1.



Legenda

Unidade Ribeirão das Pedras

- rocha bandada pela alternância rítmica centimétrica de sericita filito e metassiltito ferruginoso. Presença de níveis de metachert e de seqüência ferrífera bandada com bancos de hematita com manganês

Unidade Rubuquara

- subvulcânica básica a intermediária
- sericita filito homogêneo com níveis de metassiltito e intercalações de metarenito gradado
- metabrechas oligomíticas e metaconglomerados polimíticos com seixos subangulosos

Unidade Nhunguara

- (cloritóide) clorita sericita filito com níveis de sericita filito carbonoso
- (cloritóide) clorita sericita filito com níveis de metacalcário maciço ou bandado
- sericita filito homogêneo, com níveis locais de quartzito placoso

Unidade Piririca

- greisen
- granito hololeucocrático a duas micas
- clorita metamarga gradando para cálciofilito
- cálciofilito
- metabásica frequentemente hidrotermalizada
- filitos carbonosos microporfiroclásticos com níveis de sericita filito

Figura 2.3. Perfil geológico CD. Localização no mapa do anexo 1.

A **Unidade Rubuquara** é caracterizada pela predominância de sericita filitos ardosianos violáceos homogêneos ou bandados, com intercalações de bancos de metarenitos microconglomeráticos de matriz mal selecionada alternados com metargilito maciço e laminado. Na base deste pacote ocorrem lentes espessas de metabrechas polimíticas e oligomíticas a seixos angulosos, em matriz pelito arenosa mal selecionada e cimento carbonático. Dois tipos principais de fragmentos podem ser descritos: fragmentos angulosos, lamelares, em parte contínuos com a estratificação da matriz e fragmentos já metamórficos e deformados, em parte subarredondados (os mais resistentes). Os primeiros, que dispõem-se preferencialmente em níveis e no geral encontram-se imbricados, são de metassiltito e metarenito muito fino, alaranjados, violáceos ou esbranquiçados e exibem um metamorfismo no grau muito fraco, compatível com a matriz. Devem representar o retrabalhamento a partir de abalos sísmicos penecontemporâneos a sedimentação. Os segundos são de metachert, quartzito (maciço ou com laminações micáceas), filitos esverdeados a cinza azulados e quartzito cataclástico (milonítico ?). Possuem evidências de recristalizações metamórficas mais altas que a matriz (clorita-muscovita xistos finos) texturalmente arranjadas em uma foliação pretérita à deposição. As metabrechas apresentam contatos bruscos a gradacionais com quartzitos líticos (figura 2.4) e metarenitos microconglomeráticos que, não raramente, exibem estruturas tipo acamadamento gradacional com granodecrescência ascendente indicando, no caso de depósitos controlados por fluxos gravitacionais diversos, posição estratigráfica normal. Em lâmina delgada, amostras de filitos e metarenitos mostraram um grau metamórfico muito baixo capaz de preservar feldspato alcalino e muscovita, detríticos em metarenitos arcoseanos.

A partir da região de Jurumirim os litotipos da Unidade Rubuquara, passam a aflorar com intercalações espessas de subvulcânicas básicas ou localmente, intermediárias (mela-microtonalitos).

As variedades litológicas presentes nesta unidade parecem admitir correlação com os litotipos descritos para a Formação Iporanga a oeste.

É interessante ressaltar o zoneamento metamórfico, que aumenta de noroeste para sudeste, com passagens das condições metamórficas estabelecidas grosseiramente pelas zonas de cisalhamento. Assim, a oeste da Zona de Cisalhamento Piririca os metassedimentos da Unidade Rubuquara mostram um grau metamórfico fraco que chega a preservar feldspato potássico e muscovita detríticos, a leste desta estrutura os metavulcano-sedimentos da Unidade Piririca encontram-se no grau fraco, zona da clorita, até a Zona de Cisalhamento Ivaporunduva, e a sudeste desta os metassedimentos da Unidade Nhunguara atingem a zona

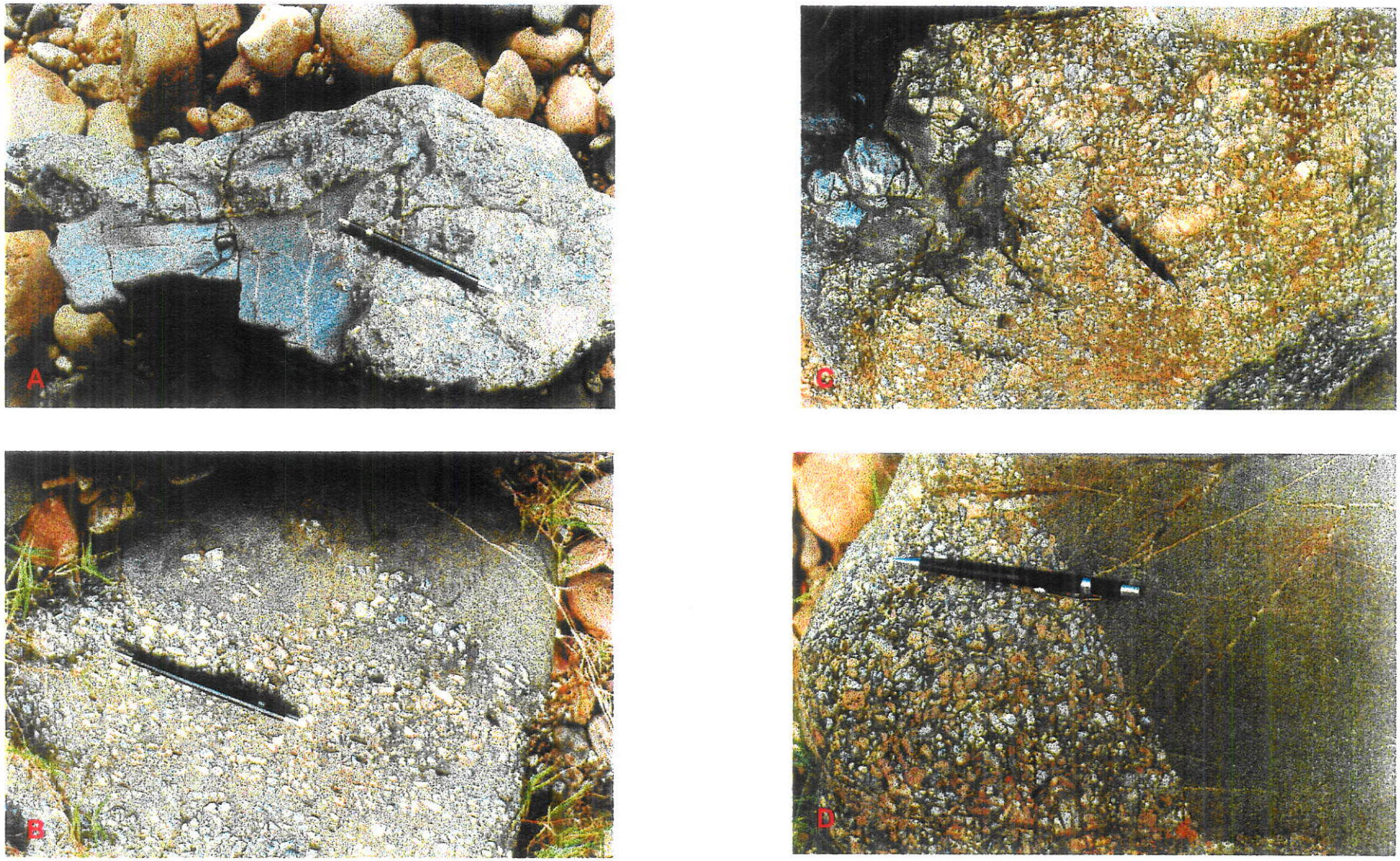


Figura 2.4. Metabrechas polimíticas da Unidade Rubuquara exibindo, em matacões na margem do Rio Ribeira, relações de contato brusco (D) ou gradacional (A, B e C) com metarenito lítico.

da biotita. A sul da Zona de Cisalhamento Ribeira os metassedimentos da Seqüência Andorinhas são xistos finos já adentrando a zona da granada.

Desta forma, a Zona de Cisalhamento Ribeira, que pode ter representado o movimento lateral mais significativo na região, aparentemente não interrompeu este zoneamento. A movimentação nesta zona de cisalhamento foi quantificada em 18 km de rejeito dúctil a norte do lineamento, estimado através do cálculo da área sob a curva de cisalhamento *versus* distância a partir de isógonas do ângulo da direção da foliação das rochas em relação a direção do lineamento, ou em 50 km de rejeito total, sendo 16 km de rejeito dúctil e 14 km de rejeito rúptil, no bloco a norte do lineamento e 20 km de rejeito dúctil no bloco a sul, estimados através das correlações estratigráficas e da própria inflexão regional das estruturas (Campanha 1991).

O arcabouço estrutural regional estabelece orientação NE-SW geral da foliação (S_2) principal com mergulhos que variam de SE para NW. É uma clivagem ardosiana ou xistosidade fina, plano axial de dobramentos inclinados e localmente recumbentes (figura 2.3), paralela ao acamadamento original das rochas, ou subparalela, quando geram lineações de intersecção com caimento fraco até 15° para S80W. Estas dobras associam-se, obliquamente, a transporte no sentido NW, materializado em falhas de cavalgamento locais, que geram dobras em bainha com L_x médio orientado segundo S20E/50° e paralelo às lineações de estiramento e minerais.

A foliação principal e o acamamento encontram-se dobrados em antiformes e sinformes cilíndricos e normais, no geral orientados segundo as faixas delimitadas pelas zonas de cisalhamento e com caimento fraco dos eixos para sudoeste-nordeste. Estas dobras, descontínuas, admitem uma clivagem de crenulação S_3 como plano axial disposta em leque, e que nas proximidades das principais zonas de cisalhamento laterais passam a uma transposição de alto ângulo e com recristalização retrometamórfica na zona da clorita. Nestes domínios as dobras passam a apertadas e a quase isoclinais. São características fortemente sugestivas de um dobramento do tipo *en echéllon* (Fiori 1990) ou não, desenvolvido em zonas transpressivas no interior das grandes amêndoas de cisalhamento lateral.

A foliação S_3, que nos filitos é uma clivagem de crenulação zonal a discreta de alto ângulo, associa-se a lineações do tipo B (eixos B em charneiras e lineação de intersecção S_3/S_2) que orientam-se estatisticamente nas direções S70W-N70E na Unidade Serra das Andorinhas, N80W ou N70E na Unidade Nhunguara, S45W ou N45E na Unidade Piririca (ver estereogramas nas figuras 2.2 e 2.3).

As variações na direção da foliação principal na área parecem estar condicionadas pelo padrão anastomosado dos blocos estruturais, delimitados pelas zonas de cisalhamento transcorrentes, de forma que na região de afloramento da Seqüência Serra das Andorinhas e contato com a Unidade Nhunguara, condicionada pelo Lineamento Ribeira, está orientada próximo a leste-oeste, passando a nordeste na Unidade Piririca e, a partir da Unidade Rubuquara para norte-nordeste (ver estereogramas das figuras 2.2 e 2.3).

Sobre as possíveis idades das rochas e eventos metamórficos na região, Campanha (1991) encontrou em metabasitos da Unidade Rubuquara idade de aproximadamente 1745 M.a. em isócrona Rb/Sr, com razão inicial de 0,7089. Já idade de 765 M.a. com razão inicial de 0,7316 foi obtida em ardósias da Unidade Ribeirão das Pedras e interpretada como idade do metamorfismo principal.

2.3. REGISTRO GEOCRONOLÓGICO

Resenhas geocronológicas para a Faixa Apiaí foram apresentadas em Campanha (1991), Gimenez Filho (1993) e Reis Neto (1994). são dados K-Ar, Rb-Sr e Pb-Pb em galenas, e mais recentemente, U-Pb em zircões, Pb-Pb em rocha total e feldspatos e Sm-Nd em rocha total.

Grande parte destes dados são conflitantes e podem admitir interpretações isotópicas que não necessariamente conduzam a idades dos eventos geológicos principais.

O resfriamento da faixa se deu no Neoproterozóico III - Cambriano, com base no registro K-Ar. As rochas plutônicas sin-orogênicas e que portam a foliação metamórfica principal desenvolvida por cisalhamento dúctil de baixo ângulo encontram-se entre o Criogeniano e o Neoproterozóico III: Rb/Sr-rocha total em 788 +/- 76 M.a. e K/Ar-biotitas em 658 +/- 7 M.a. (Gimenez Filho 1993, em granitóides foliados do Complexo Granítico Três Córregos). Os granitos porfiróides do Complexo Três Córregos, tardi-orgênicos, possuem Rb/Sr-rocha total em 652 +/- 60 M.a (Souza 1990), 509 +/- 31 M.a. (Reis Neto 1992) e 664 +/- 62 M.a. (Gimenez Filho 1993); K-Ar/biotitas entre 615 a 624 M.a e U/Pb-zircão em 719 +/- 162 M.a. (Gimenez Filho 1993). Os granitos pós-orogênicos, no geral em corpos não deformados, datam do Cambriano-Ordoviciano, e possuem Rb/Sr-rocha total em 480 +/- 19 M.a. e 523 +/- 21 M.a. (Gimenez Filho 1993).

Compatíveis com esses valores têm-se registros do metamorfismo em: isócronas Rb/Sr-rocha total em 728 +/- 26 M.a. e 765 +/- 35 M.a. (respectivamente xistos da Formação Setuva e ardósias da Formação Perau - Campanha 1991); K/Ar-biotitas de xistos da Formação Setuva em 723 M.a.; diagrama isocrônico Rb/Sr em 586+/- 8 M.a. (filitos do Grupo Açungui -

Teixeira 1982); K/Ar em 587+/- 17 M.a. e em 537 +/- 32 M.a. e K/Ar-rocha total (filito) em 560 +/- 20 M.a.(metassedimentos da Formação Setuva e Grupo Açungui - Teixeira 1982).

Na área de estudo metabasitos possuem dados Rb/Sr-rocha total em 1745 +/- 14 M.a. em (Campanha 1991).

As idades das rochas básicas, fora da área estudada, na região do Grupo Itaiacoca possuem idades mais jovens em cerca de 1072 M.a.(Pb/Pb-rocha total) e 1036 +/- 122 M.a. (em diagrama isocrônico Rb/Sr-rocha total) (Reis Neto 1994).

Dentro deste quadro e se atendo a área de estudo, pode-se admitir:

- Dados Pb/Pb em galenas de veios hidrotermais concentrados entre 1,3 e 1,1 M.a. (Tassinari *et al.* 1990): parecem indicar um processo hidrotermal, penecontemporâneo ou posterior ao vulcanismo. Essa interpretação é mais provável que evento metamórfico (Tassinari *et al.* 1990) na medida em que não se tem evidências metamórficas em paragêneses, texturas minerais e em estruturas, mais antigas que aquelas registradas no Neoproterozóico III.

- O valor Rb/Sr, pouco mais antigo que o metamorfismo, para o Gabro de Apiaí, rocha ígnea não metamórfica, não deve representar a idade da intrusão. Como se encontra dobrado em amplo sinforme normal da fase transpressiva, seu posicionamento deve ter-se dado entre o metamorfismo principal e a fase transpressiva das zonas de cisalhamento laterais.

2.4. GEOQUÍMICA DE ROCHAS METABÁSICAS

Dados litogeoquímicos da região de estudo foram resgatados dos trabalhos de Campanha (1991) e Nogueira (1990), e restringem-se essencialmente à rochas metabásicas que tem sido interpretadas como de origem vulcânica.

Como na área estudada dados de campo sugerem seqüências deposicionais distintas, generalisadamente tidas como Formação Perau em Campanha *et al.* (1986) e Campanha (1991), uma análise geoquímica conjunta destes resultados foi realizada na tentativa de se distinguir quimicamente o vulcanismo básico associado a cada uma delas. A amostragem em Campanha (1991) se deu no âmbito das Unidades Rubuquara, Nhunguara e Piririca, tal como foram definidas no presente trabalho (além de outras seqüências não representadas na área de estudo), enquanto que as amostras utilizadas por Nogueira (1990) representam exclusivamente as "metabásicas" da Unidade Piririca.

De Nogueira (1990) utilizou-se somente os resultados de análises das amostras de anfibolitos mais preservados da alteração hidrotermal (tabela 2.1), já agrupados pela autora

em dois conjuntos distintos com relação aos teores de FeO, TiO_2, CaO e MgO. Ambos os conjuntos, de afinidade toleítica, apresentam teores baixos de K_2O relativamente aos basaltos típicos, o que segundo a autora pode refletir alterações pós magmáticas. Tratam-se de actinolita/tremolita anfibolitos, com plagioclásio sódico tendendo a composição albita, comumente epidotizado, e têm clorita, carbonato e opacos como acessórios. Os anfibolitos mais ricos em TiO_2 e FeO apresentam caracteristicamente mais minerais opacos na sua composição.

De Campanha (1991) utilizou-se as amostras de actinolita-anfibolitos levemente e intensamente foliados (tabela 2.2), que segundo o autor representam dois conjuntos distintos, ambos de afinidade toleítica, mas o primeiro semelhante aos basaltos de arcos de ilhas enquanto o segundo aos basaltos de cadeias mesoceânicas. As amostras coletadas na Unidade Nhunguara foram classificadas petrograficamente pelo autor como piroxênio fels, tendo como mineral mais comum clinopiroxênio, seguido de clorita (magnesiana) e hornblenda+actinolita. Albita ocorre em menores proporções e os minerais opacos são o acessório mais comum. Nos actinolita anfibolitos o plagioclásio apresenta-se saussuritizado; opacos, titanita e quartzo ocorrem em pequenas proporções ou como traços. Muscovita ocorre como traço na amostra IP210B e na amostra GD541 de actinolita anfibolito intensamente foliado, onde também ocorre clorita. A amostra coletada na Seqüência Piririca foi classificada petrograficamente como hornblenda anfibolito, onde o plagioclásio ocorre saussuritizado; como traços ocorrem clorita, opacos, titanita, apatita, carbonato e muscovita. Quimicamente representa um basanito.

Numa primeira abordagem, os dados químicos foram plotados em diagramas de variação de MgO X óxidos de elementos maiores e menores (figura 2.5) tal como foram separados pelos autores. Simbologias distintas foram utilizadas para os anfibolitos que se encontravam nas unidades Rubuquara, Nhunguara e Piririca.

Através destes diagramas foi possível eliminar-se algumas amostras para a continuação do estudo: SN34, SN57, IP210B, GD391G e GD537, que no geral coincidem com teores de K_2O muito elevados e com a presença de muscovita na composição mineralógica.

Nota-se na maioria destes diagramas a coerência dos *trends* definidos e ainda a clara separação entre os alinhamentos Piririca e Rubuquara. Por outro lado, enquanto as duas amostras de actinolita anfibolitos intensamente foliados tendem a se alinhar com o *trend* Piririca as duas de clinopiroxênio fels da Unidade Nhunguara aproximam-se mais do alinhamento Rubuquara. As rochas metavulcânicas toleíticas Piririca distinguem-se dos actinolita-anfibolitos mais foliados Rubuquara no conteúdo menos elevado em sílica, que os

demais anfibolitos desta unidade distinguem-se dos piroxênio fels da Unidade Nhunguara no conteúdo mais elevado em K.

No geral o agrupamento definido pelas amostras da Unidade Piririca mostra uma tendência de correlação negativa entre a maioria dos óxidos e o MgO. Destaca-se uma trajetória onde o enriquecimento em Fe, Ti e Na está acompanhado pelo empobrecimento em MgO e CaO. Tal comportamento está refletido no aumento do plagioclásio sódico e óxidos de ferro e titânio, acompanhado pela diminuição em plagioclásio cálcico (já transformado em epídoto) e do provável aumento de moléculas de fe-actinolita na tremolita. Esta trajetória segue um incremento contínuo no conteúdo alcalino das rochas toleíticas originais.

	Anfibolitos Fe, Ti >			Anfibolitos Ca, Mg >; Fe, Ti <							
amostra	SN-11	SN-54	SN-71	SN-07	SN-27	SN-30	SN-34	SN-47	SN-55	SN-57	SN-66
SiO_2%	44,89	44,38	44,33	43,82	44,30	43,59	40,57	42,29	42,15	44,43	42,78
TiO_2%	1,11	1,11	1,02	0,33	0,28	0,36	0,33	0,33	0,68	0,62	0,76
Al_2O_3%	14,11	13,69	15,45	12,65,	11,69	11,74	13,50	12,71	13,84	17,27	13,37
FeO%	11,12	11,26	11,21	7,02	6,79	7,42	6,15	6,64	9,10	6,50	9,85
MnO%	0,16	0,21	0,17	0,15	0,13	0,14	0,11	0,13	0,18	0,13	0,18
MgO%	6,96	7,14	5,82	9,59	10,33	10,44	7,87	10,06	9,28	5,07	9,15
CaO%	9,07	11,94	7,46	14,94	12,94	15,45	13,92	13,54	12,19	11,51	12,92
Na_2O%	3,30	2,42	3,34	1,27	0,84	1,21	1,83	0,73	1,61	3,14	2,02
K_2O%	0,14	0,06	0,06	0,31	0,06	0,16	0,27	0,06	0,06	0,45	0,06
P_2O_5%	0,11	0,11	0,09	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,06	0,07	0,06
Ba ppm	487	29	55	10	5	5	19	5	21	31	41
Cr ppm	276	269	110	717	694	610	473	631	556	109	501
Li ppm	21	12	20	17	16	13	26	8	20	24	25
Sr ppm	892	341	185	136	124	151	186	169	176	298	224
Zr ppm	56	61	49	20	20	17	12	11	32	28	43
V ppm	326	316	356	185	189	197	184	199	254	213	274
Y ppm	16	18	18	5	5	6	6	5	11	9	13

Tabela 2.1. Resultado de análises químicas de rochas metabásicas da Unidade Piririca (Nogueira 1990).

	piroxênio fels		actinolita anfibolitos levemente foliados							act. anfib. fol.	
amostra	IP637A	IP637B	GD537	IP210B	IP210C	IP210E	IP210J	IP210L	GD391	IP210I	GD541
SiO_2%	48,30	47,60	48,11	47,04	50,90	48,70	48,90	48,00	43,19	48,50	46,16
TiO_2%	0,47	0,45	0,42	0,40	0,42	0,35	0,38	0,41	1,12	1,10	1,27
Al_2O_3%	13,60	13,60	12,70	18,97	14,30	17,50	16,20	16,50	14,71	12,90	13,29
Fe_2O_3%	8,5	8,10	8,82	7,59	8,90	7,20	7,80	8,00	13,59	12,70	13,64
MnO%	0,19	0,24	0,18	0,17	0,20	0,16	0,16	0,18	0,27	0,20	0,20
MgO%	8,50	9,50	10,86	8,24	8,60	7,20	7,90	8,60	8,02	7,40	6,65
CaO%	14,60	16,80	13,76	11,74	12,00	13,30	14,60	13,20	11,99	12,80	11,74
Na_2O%	1,30	1,10	1,31	2,14	1,30	1,80	1,10	1,60	2,14	2,00	2,02
K_2O%	0,04	0,04	0,32	1,41	0,24	0,14	0,15	0,25	1,56	0,06	0,13
P_2O_5%	0,07	0,09	0,22	0,18	0,07	0,05	0,05	0,06	0,19	0,12	0,26
Sr ppm	120	140	78	180	110	180	170	140	370	170	160
Zr ppm	37	69	12	28	52	16	30	30	80	74	80
Y ppm	11	25	17	25	20	11	14	11	13	32	20

Tabela 2.2. Resultados de análises químicas de rochas metabásicas das Unidades Ribeirão das Pedras (IP637A e B), Piririca (GD391G) e Rubuquara (as demais) (Campanha 1991).

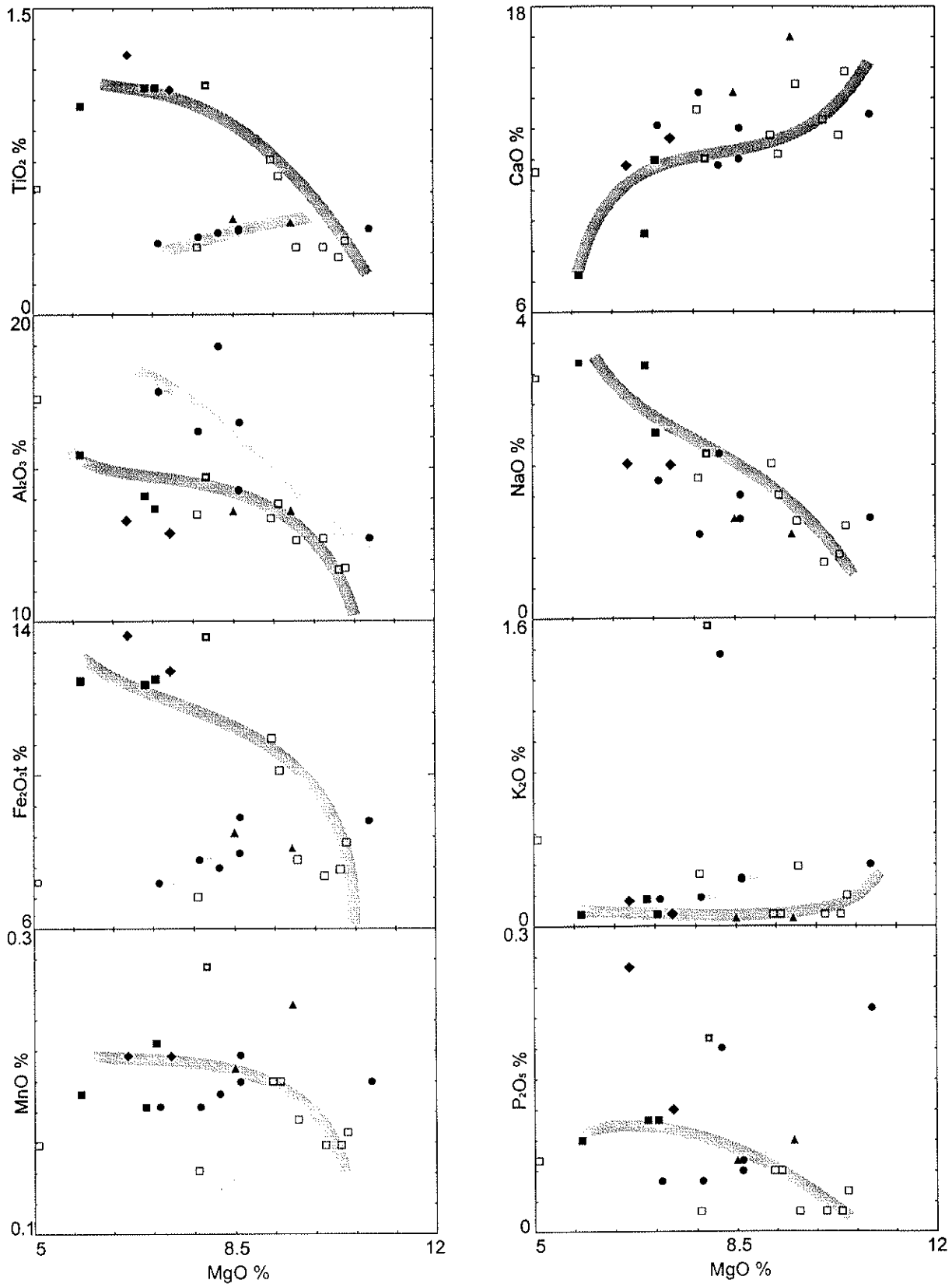


Figura 2.5. Diagramas de variação MgO X óxidos de elementos maiores e menores. Símbolos - Unidade Piririca: ▪ Anfibolitos > Fe e Ti; ▫ Anfibolitos > Ca e Mg (Nogueira 1990), ▫ Horblenda Anfibolito basanítico (Campanha 1991); Unidade Nhunguara: ▲ Piroxênio Fels; Unidade Rubuquara: • Actinolita anfibolitos levemente foliados, ◆ Actinolita anfibolitos fortemente foliados (Campanha 1991).

O agrupamento definido pelas amostras da Unidade Rubuquara e Nhunguara apresenta uma menor variação no teor de Mg e relativos baixos teores em Fe, Ti e P, com aumento em Al, Ca e K. As características deste agrupamento, ao contrário do anterior, situa-o nas séries com filiações limítrofes entre as toleíticas e as calcioalcalinas.

Nos de diagramas de variação de multielementos (*spidergrams* -figura 2.6) os anfibolitos Piririca foram agrupados em três conjuntos que podem ser definidos segundo seu teor relativo de Ti, mas, ressalta-se que, mesmo os valores mais altos em TiO_2 encontrados são bastante inferiores às proporções deste óxido típicas de rochas básicas.

Os actinolita anfibolitos mais intensamente foliados da Seqüência Rubuquara, confirmaram, nestes diagramas, seu caráter distinto dos menos foliados e os clinopiroxênio fels Nhunguara definiram ainda outro grupo.

Teores de K_2O muito baixos com relação aos comumente encontrados em rochas básicas, originadas em qualquer ambiente moderno, são observados principalmente nas metavulcânicas das Unidades Piririca e Nhunguara, mas também nos actinolita anfibolitos mais foliados da Unidade Rubuquara refletindo provável processo de empobrecimento, tardio na sua evolução.

Estas rochas metavulcânicas, exibem no diagrama SiO_2 X álcalis (figura 2.7) de Le Bas *et al.* (1986) composições basálticas. Os baixos teores em álcalis e conteúdo de SiO_2 médio de 43,4% classificariam as amostras da Unidade Piririca como picrobasaltos (ou olivina basaltos ultrabásicos), mais ricos em olivina e mais pobres em feldspatóides que os basanitos. No entanto, o conteúdo em MgO está compatível com ultrabásicas de médio a baixo teor em olivina, muito inferior aos teores deste óxido em picrobasaltos (tabela 2.3). Tais rochas poderiam, então, representar basanitos originais empobrecidos em Na, K e Ti, além de levemente enriquecidos em CaO (que segundo Nogueira 1990, pode estar relacionado à presença de microvênulas de carbonatos nas amostras). Se este empobrecimento pode por um lado estar associado aos processos de alteração hidrotermal, por outro pode estar relacionado com interações entre as rochas e água do mar quando do vulcanismo. Segundo Nogueira (1990), a comparação dos anfibolitos mais preservados da alteração com as rochas francamente afetadas pelo hidrotermalismo evidencia uma elevação nos teores de K, Na e Ca. Portanto o baixo conteúdo em Na e K dos anfibolitos originais não deve resultar deste processo; exceto se estas rochas representarem a origem dos fluidos de baixa salinidade que afetaram a pilha metavulcano-sedimentar, fornecendo estes componentes à solução. Já o conteúdo em Ti, praticamente inalterado, indica que os baixos teores deste óxido nos anfibolitos mais preservados não deve estar associado à alteração hidrotermal. Não se pode

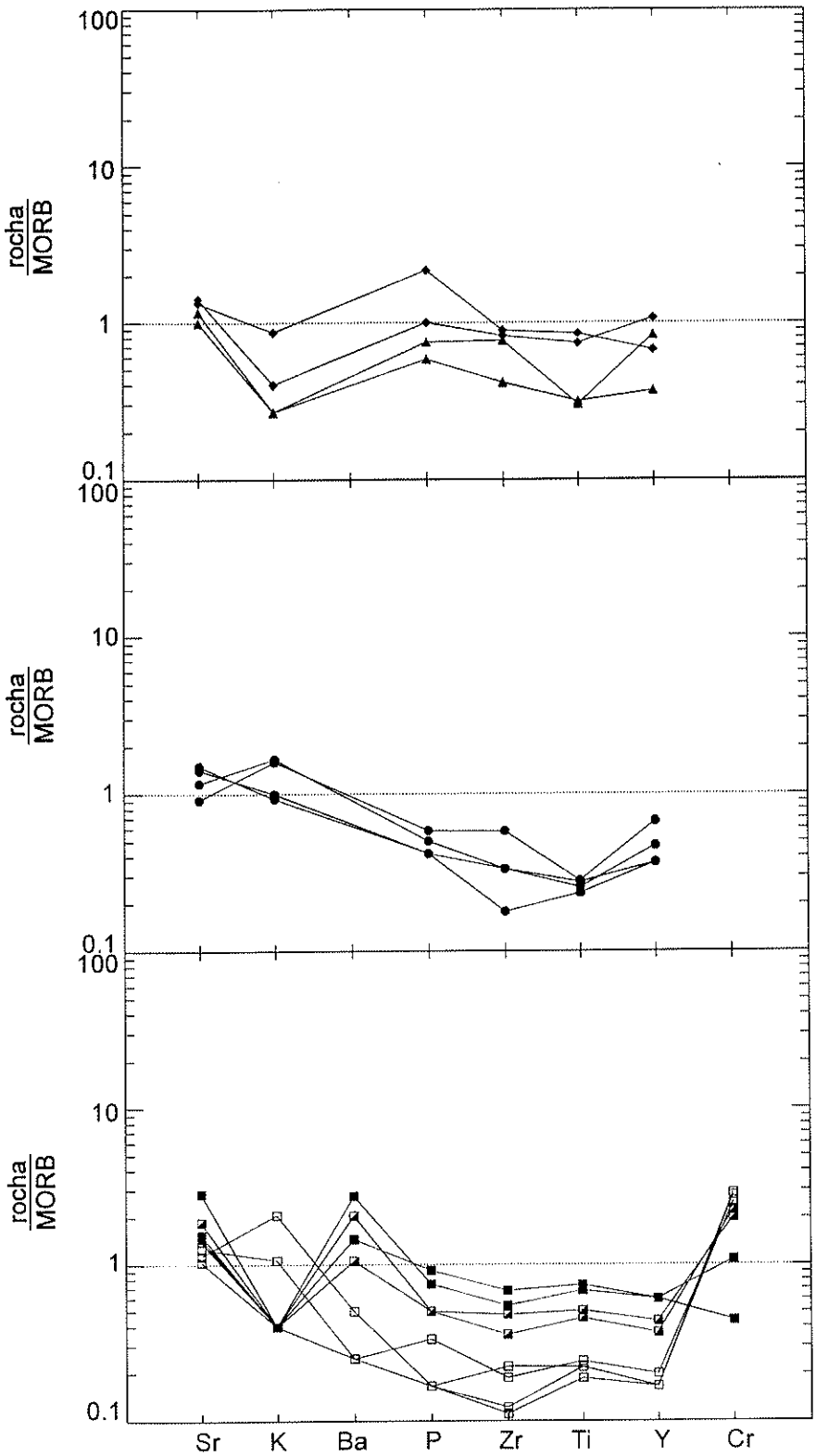


Figura 2.6. Diagramas de variação multielementos (*spidergrams*). Normalização do MORB segundo Pearce (1982): Sr=120; K_2O=0,15; Ba=20; P_2O_5=0,12; Zr=90; TiO_2=1,5; Y=30; Cr=250. Símbolos - Unidade Piririca: ▪ Anfibolitos > Ti; ▫ Anfibolitos < Ti; ◪ Anfibolitos de Ti intermediário entre os dois primeiros (dados de Nogueira 1990); Unidade Rubuquara: • Actinolita anfibolitos levemente foliados, ◆ Actinolita anfibolitos fortemente foliados; Unidade Nhunguara: ▲ Piroxênio Fels (dados de Campanha 1991).

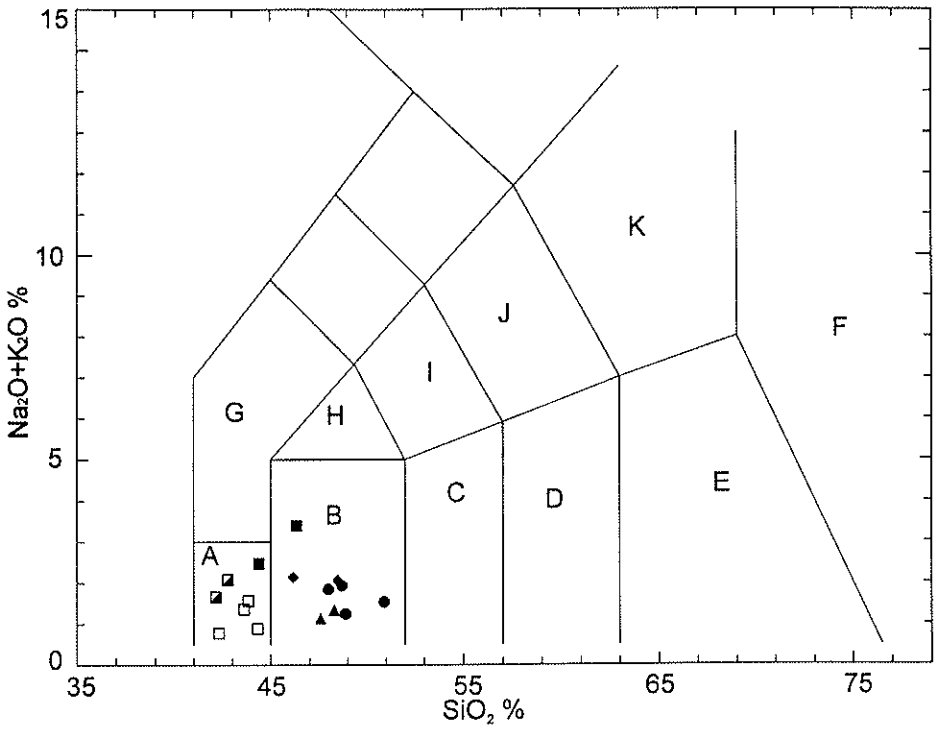


Figura 2.7. Diagrama sílica X álcalis com campos delimitados em Le Bas et al. (1986): A=picrobasalto, B=basalto, C=basalto andesítico, D=andesito, E=dacito, F=riolito, G=tefrito (olivina<10%) e basanito (olivina >10%), H=traquibasalto, I=basalto traquiandesítico, J=traquiandesito, K=traquito e traquidacito. Símbolos na figura 2.6.

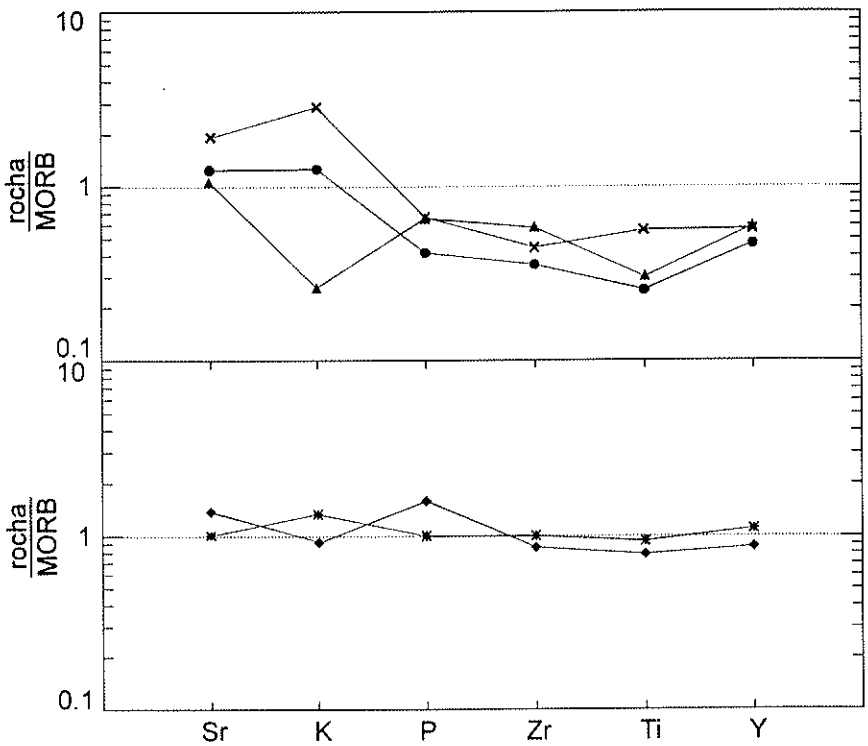


Figura 2.8. Diagramas de variação multielementos (*spidergrams*) para as médias das populações basálticas estudadas. Normalização do MORB segundo Pearce (1982): Sr=120; K_2O= 0,15; P_2O_5=0,12; Zr=90; TiO_2=1,5; Y=30. Símbolos-Unidade Rubuquara: • Actinolita anfibolitos levemente foliados, ◆ Actinolita anfibolitos fortemente foliados; Unidade Nhunguara: ▲ (dados de Campanha 1991); × Médias de basaltos toleíticos típicos de arcos de ilhas, ✳ Médias de basaltos toleíticos típicos de Cadeias Meso-oceânicas (dados de Pearce 1982).

descartar uma derivação destas rochas vulcânicas a partir de uma fonte originalmente empobrecida em Ti.

Os anfibolitos Rubuquara e Nhunguara correspondem composicionalmente às rochas básicas basálticas (figura 2.7) de muito baixo Ti e álcalis (tabela 2.3), que podem ter sido extraídos em processos semelhantes ao caso anterior. O Ca anormalmente elevado pode também representar vestígios de carbonatação nas amostras estudadas.

	Piririca	Rubuquara	Nhunguara	anf. foliados	basalto	basanito	picrito tol.
SiO_2	43,61	49,12	47,95	47,33	49,20	44,30	44,00
TiO_2	0,66	0,39	0,46	1,18	1,84	2,51	0,58
Al_2O_3	13,25	16,12	13,6	13,09	15,74	14,70	8,3
$Fe_2O_3^t$	8,93	7,97	8,3	13,17	12,27	12,19	11,2
MnO	0,16	0,18	0,21	0,20	0,26	0,16	0,19
MgO	8,75	8,08	9,0	7,02	6,73	8,54	26,0
CaO	12,27	13,27	15,7	12,27	9,47	10,19	7,3
Na_2O	1,86	1,45	1,2	2,01	2,91	3,55	0,90
K_2O	0,11	0,19	0,04	0,09	1,10	1,96	0,06
P_2O_5	0,06	0,06	0,08	0,19	0,35	0,74	0,07

Tabela 2.3. Comparação dos teores médios de óxidos de maiores e menores das unidades estudadas, com as composições médias típicas de basaltos, basanitos (Cox 1979) e picritos toleíticos (Clarke 1970).

A figura 2.8 mostra o *spidergram* dos teores médios destas seqüências comparados com as composições médias de basaltos toleíticos típicos de arcos de ilha e de cadeia mesoceânica (MORB), extraídas de Pearce (1982).

Dentre todos os conjuntos, os actinolita anfibolitos foliados é que se aproximam mais de uma afinidade com MORB, apesar de uma relativo enriquecimento em Sr e P_2O_5, anomalia negativa de K_2O e leve empobrecimento nos elementos de alto campo de força, estas variações em relação aos MORB pode caracterizá-los como mais semelhantes aos E-MORB, ou MORB enriquecido, comum nas proximidades de arcos vulcânicos.

Os demais grupos assemelham-se mais ao comportamento dos basaltos de arcos vulcânicos, mas no geral com empobrecimento em elementos de alto campo de força.

Os diagramas de variação MgO X Mg# e $Fe_2O_3^t$ X traços da figura 2.9 mostram mais uma vez a coerência dos *trends* definidos pelos agrupamentos principais, e o enriquecimento das amostras das Unidades Rubuquara (exceto os actinolita-anfibolitos intensamente foliados) e Nhunguara em Y e Zr (elementos incompatíveis de alto campo de força) com relação as metaultrabásicas, reforçando as evidências de maior afinidade das primeiras com os arcos de ilhas oceânicas.

A filiação toleítica destas séries magmáticas está destacada no diagrama AFM (de Irvine & Baragar 1971) da figura 2.10, separando-se entre toleítos de alto ferro e de alto magnésio

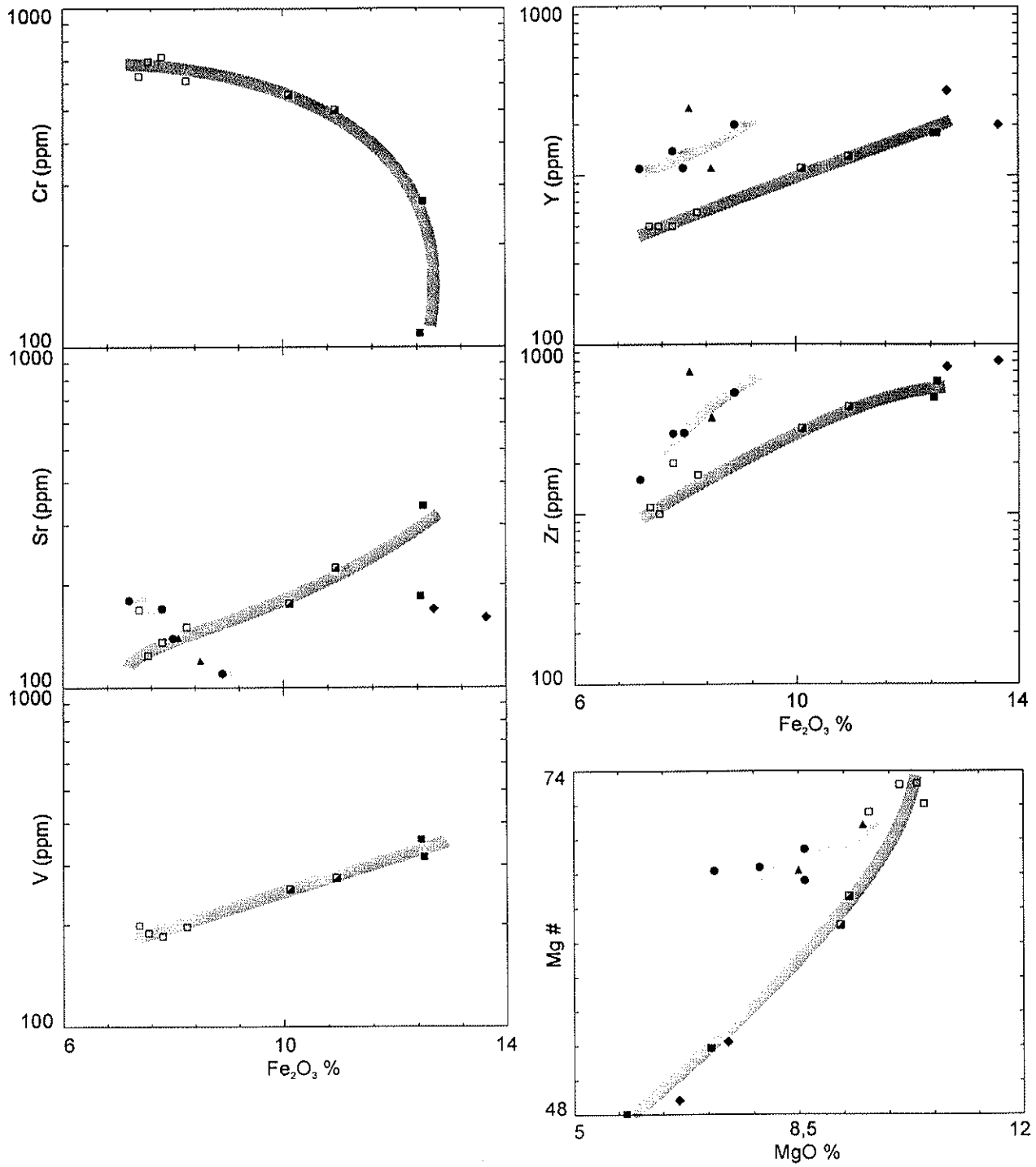


Figura 2.9. Diagramas de variação Fe_2O_3 X elementos traços e diagrama de variação MgO X Mg#. Símbolos- Unidade Piririca: ▪ Anfibolitos > Ti; ▫ Anfibolitos < Ti; ◪ Anfibolitos de Ti intermediário (Nogueira 1990). Unidade Nhunguara: ▲ Piroxênio Fels; Unidade Rubuquara: • Actinolita anfibolitos levemente foliados, ◆ Actinolita anfibolitos fortemente foliados (Campanha 1991).

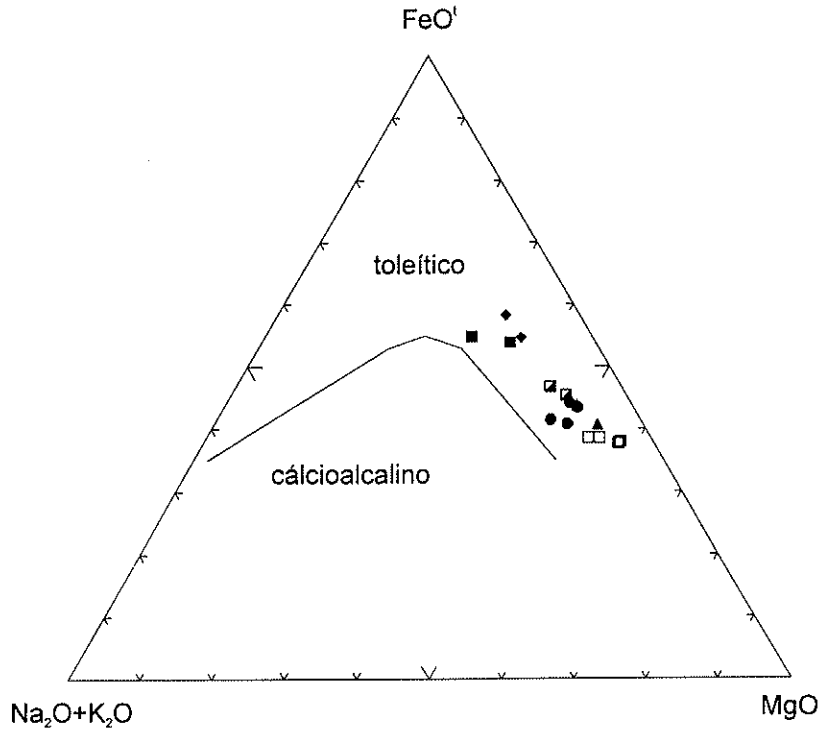


Figura 2.10. Diagrama AFM com campos toleítico e cálcioalcalino delimitados em Irvine & Baragar (1971). Símbolos na figura 2.9.

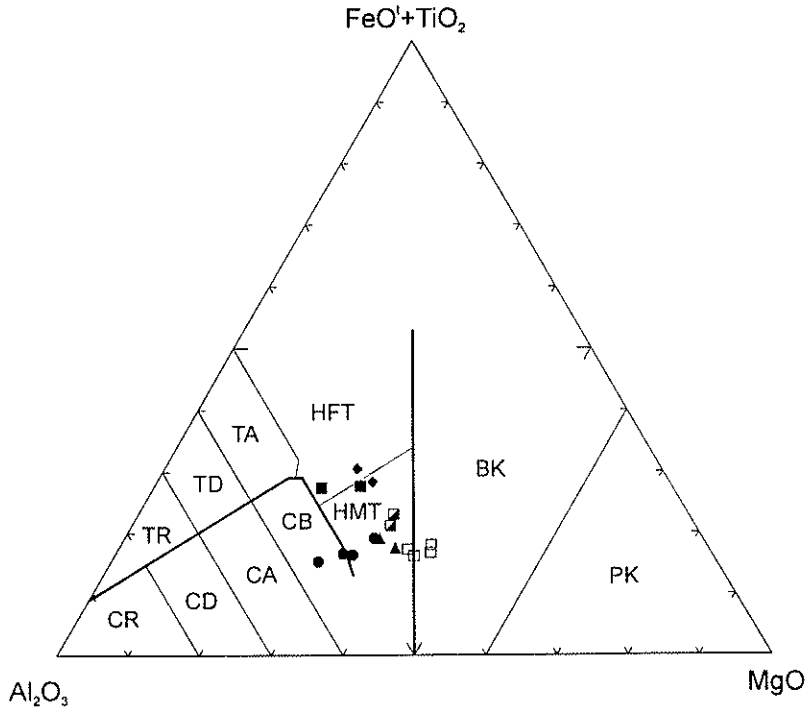


Figura 2.11. Diagrama Al_2O_3-MgO-FeO'+TiO2 com campos delimitados em Jensen (1976): TR=riolito toleítico, TD=dacito toleítico, TA=andesito toleítico, CR=riolito cálcio-alcalino, CD= dacito cálcio-alcalino, CA=andesito cálcio-alcalino, CB=basalto cálcio-alcalino, HFT=Toleíto alto ferro, HMT=toleíto alto magnésio, BK= komatiíto basáltico, PK=komatiíto peridotítico. Símbolos na figura 2.9.

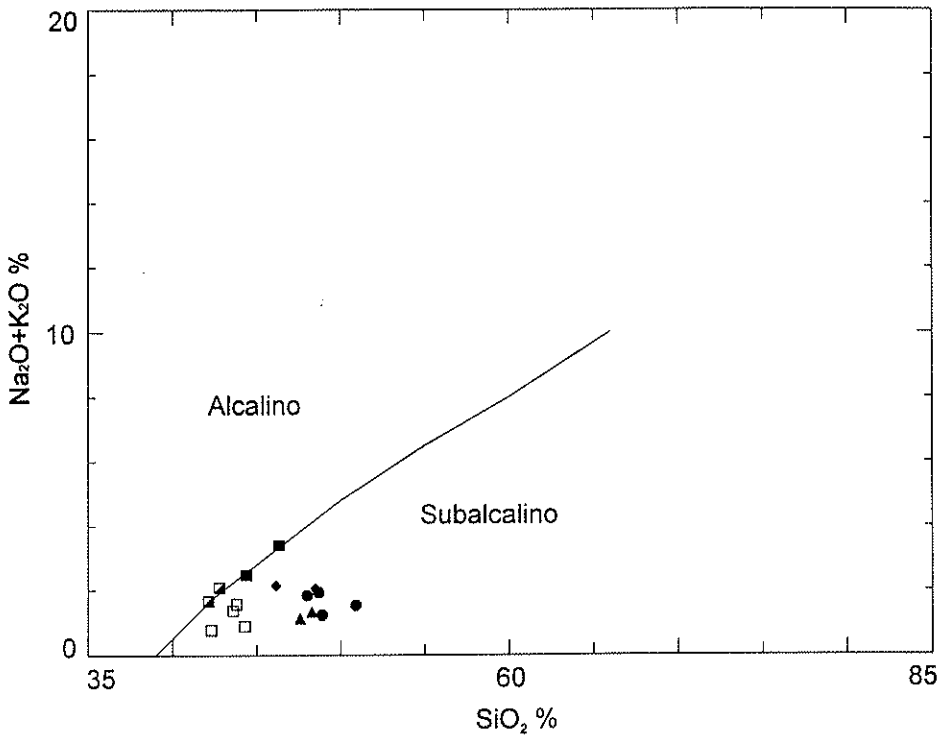


Figura 2.12. Diagrama de variação SiO_2 X álcalis, com campos alcalino e subalcalino delimitados em Irvine & Baragar (1971). Símbolos - Unidade Piririca: ■ Anfibolitos > Ti; □ Anfibolitos < Ti; ◪ Anfibolitos de Ti intermediário (Nogueira 1990). Unidade Nhunguara: ▲ Piroxênio Fels; Unidade Rubuquara: ● Actinolita anfibolitos levemente foliados, ◆ Actinolita anfibolitos fortemente foliados (Campanha 1991).

no diagrama de Jensen (1976) (figura 2.11), onde o conteúdo em alumínio confirma a transição aos basaltos calcioalcalinos para a Unidade Rubuquara.

O caráter subalcalino das metavulcânicas estudadas é mostrado no diagrama SiO_2 X álcalis, de Irvine & Baragar (1971) (figura 2.12), mas nota-se que a série ultrabásica tende, nos termos mais pobres em Mg, ao campo alcalino, principalmente se considerarmos o relativo empobrecimento em K e Na que estas rochas apresentam.

Estas evidências geoquímicas refletem, juntamente com o conteúdo litológico das diversas unidades, diferentes ambientes vulcano-sedimentares. No domínio Piririca predominam sedimentos pelágicos de ambiente redutor e sulfetado, distante de aportes terrígenos grossos. São pelitos e pelitos carbonosos de ambiente marinho provavelmente profundo, que gradam no topo a águas mais rasas com pelitos carbonáticos. Associam-se a vulcanismo basanítico de regime tectônico distensivo.

Por outro lado, a Unidade Rubuquara, provavelmente correlacionável à Formação Iporanga, parece representar um ambiente tectonicamente mais instável, com detritos grossos, brechas e conglomerados, que retrabalharam depósitos já metamórficos da própria bacia além de rochas de embasamento. Aí, as rochas metabásicas possuem uma filiação basáltica e mostram uma evolução para ambientes sob regimes tectônicos que tendem a compressivos.

2.5. SÍNTESE EVOLUTIVA E PROBLEMAS

Considerando-se as relações estratigráficas admitidas, que colocam a Unidade Piririca na base, o vulcanismo na região pode ter-se desenvolvido a partir de um magmatismo toleítico ultrabásico basanítico, com tendência alcalina e de regime distensivo. Evoluiu para filiações basálticas básicas, inicialmente de afinidade MORB, passando para arco insular vulcânico (Nhunguara). Apesar de pouco expressivos, esses ambientes parecem registrar a evolução de um estágio *rift* à uma bacia oceânica, com consumo de placa por subducção.

As Unidades Nhunguara e Ribeirão das Pedras, ambas admitidas no topo da pilha Piririca, encontravam-se em distintos ambientes paleogeográficos mas é provável que organizadas, estratigraficamente, em uma seqüência geral regressiva. A Unidade Ribeirão das Pedras (Campos Neto 1983), de sedimentos químicos e pelágicos, onde predominam pelitos ferro-manganesíferos, bandados e laminados, alternados com leitos de metachert e exibindo lentes carbonáticas no topo, parece indicar um ambiente marinho profundo, que evoluiu, em direção ao topo, para águas mais rasas acima da profundidade de compensação de

carbonato. Encontrava-se em posição mais distal, ou mais protegida, dos aportes terrígenos oriundos do continente.

Já na Unidade Nhunguara os depósitos foram terrígenos rítmicos, com leitos redutores e leitos clásticos grossos, denotando domínios de deposição mais proximais à área fonte. Também gradam à águas mais rasas expressas pelo aparecimento dos níveis carbonáticos superiores.

A Seqüência Furnas-Lajeado e a Unidade Serra das Andorinhas poderiam representar a plataforma para essas zonas paleogeográficas.

A tendência mais calcioalcalina para as metabásicas Rubuquara em relação às Nhunguara pode estar associada ao mecanismo de extração de álcalis que, se intenso naquelas e Piririca, aparentemente não agiu quando do vulcanismo Rubuquara. Caso tais relações possuam um conteúdo temporal e se somadas às características dos depósitos Rubuquara, torna-se fortemente provável que o contato entre a Unidade Ribeirão das Pedras sobre a Unidade Rubuquara seja tectônico. e que esta última seqüência represente depósitos do tipo *foreland* do avanço alóctone dos terrenos Ribeirão das Pedras, posteriormente deformados em conjunto na fase transpressional. Assim o ambiente Rubuquara seria tectonicamente instável e de uma fase de preenchimento e fechamento das zonas paleogeográficas (*flysch*). A idade destas unidades (Rubuquara e Iporanga) seria penecontemporânea ao evento metamórfico neoproterozóico.

3. DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados aerogeofísicos utilizados foram coletados no Projeto Aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM - 1979), em levantamento magnetométrico e gamaespectrométrico de 40.000 km de perfis lineares, segundo linhas de vôo de direção NS, espaçadas de 1000 m e com amostragem a cada 100m, a uma altitude de vôo de aproximadamente 150m. Estes dados foram processados pelo DIGEOF (Divisão de Geofísica da CPRM), onde foram gerados *grids* com células de 125 X 125 m dos seguintes temas de gamaespectrometria:

- canais de contagem total, tório, urânio e potássio e razões U/Th, U/K e Th/K.

Os *grids* foram gerados segundo transformação log-normal dos dados, dentro do intervalo média +/- 3 * desvio padrão, numa gridagem do tipo randônica, com filtros direcionais para correção de ruídos de linhas de vôo.

O *grid* aeromagnetométrico - tema campo total -, foi obtido no programa GEOSOFT, com célula de 250 X 250 m. Este *grid* foi corrigido com filtro de *Butterworth* para eliminação de ruídos decorrentes das linhas de vôo NS e submetido a filtro direcional de cosseno (ângulo de 40°), para que as anomalias de alta freqüência, definidas pelos diques básicos mesozóicos do Arco de Guapiara, tivessem seus efeitos minimizados e as de baixas freqüências, correspondentes às feições mais profundas e relacionadas aos conjuntos litológicos do Proterozóico, fossem realçadas. Com o mesmo objetivo o *grid* resultante desta filtragem foi realçado com relevo sombreado (declinação de 320° e inclinação de 45°) (figura 3.1).

Observa-se, na imagem produzida, zonas lineares, orientadas aproximadamente segundo N40E, que afetam principalmente as áreas internas e adjacentes ao Granitóide Agudos Grandes. Correspondem, de uma forma geral, a zonas de cisalhamento mapeadas na área. Podem ser identificadas nesta imagem por exemplo as Zonas de Cisalhamento Ivaporunduva, Piririca, Lancinha-Itapeúna-Cubatão, menos claramente a Ribeira, e ainda outras zonas anômalas que não encontram correspondentes diretos na superfície.

3.1. COMPORTAMENTO RADIOMÉTRICO DOS CONJUNTOS LITOLÓGICOS

Apesar do caráter superficial do dado representado pelas imagens aerogamaespectrométricas (90% da radiação é proveniente dos primeiros 20 cm da superfície), e da influência do ar, solo, umidade e biomassa, elas tem marcado os contrastes litológicos de forma mais eficiente que as imagens de satélite.

AEROMAGNETOMETRIA - TEMA CAMPO TOTAL - COM FILTRAGEM DIRECIONAL E RELEVO SOMBREADO

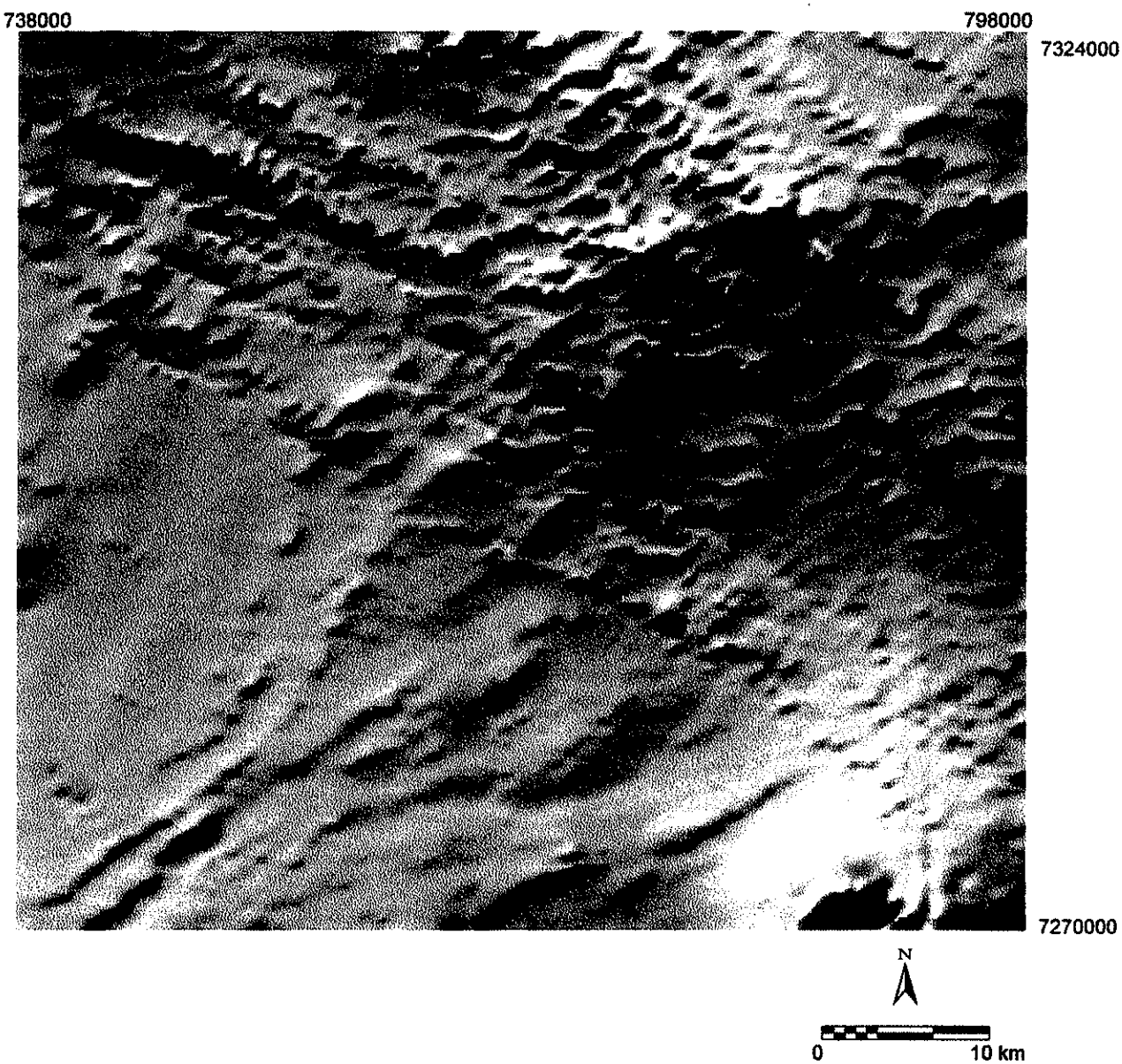


Figura 3.1. Imagem aerogeofísica-magnetometria, tema campo total. Grid construído no Programa Geosoft, submetido a filtro direcional de cosseno (orientação 40°) e sombreamento de relevo (declinação de 320° e inclinação de 45°). Desta imagem foram extraídos lineamentos magnéticos de direção NE-SW correlatos a estruturação dos conjuntos litológicos proterozóicos.

Nos levantamentos aerogamaespectométricos a medida das emissões de raios gama produzidas pelos isótopos K^{40}, Tl^{208} e Bi^{214} e captadas nos canais do potássio, tório e urânio, respectivamente, são as mais adequadas na determinação da radioatividade associada a estes elementos. A radioatividade global é obtida através de todos os raios gama captados no canal de contagem total. Além dos canais de tório, urânio, potássio e contagem total, as razões U/Th, U/K e Th/K são também utilizadas na gamaespectrometria na determinação do padrão radiométrico associado a cada material exposto na superfície.

Para análise do comportamento dos radioelementos nos diversos conjuntos litológicos da área utilizou-se as imagens reclassificadas para 26 intervalos (figuras 3.2 a 3.8). Apesar do controle dos valores de cps que estas imagens representam, esta avaliação teve caráter essencialmente qualitativo e reflete os contrastes radiométricos relativos entre as unidades litológicas mapeadas:

Formação Água Clara: Apresenta padrão intermediário a baixo de radiação nos canais de contagem total e urânio, tendendo a alto em tório e baixo em potássio. Em todos os canais, litotipos básicos revelam baixos radiométricos, assinatura comum a este tipo de rocha. Já as áreas com este tipo de assinatura, mas não mapeadas como rochas básicas, podem estar indicando a presença deste tipo de litologia. Com predomínio de rochas calciossilicáticas e calciopelíticas os padrões observados na Formação Água Clara indicam enriquecimento relativo de tório em relação ao urânio, próximo ao comportamento de carbonatos ricos em impurezas. A inversão deste padrão numa pequena região na porção noroeste da área de afloramento pode indicar maior concentração de matéria orgânica na rocha original (que potencialmente absorve urânio). As variações na concentração de potássio parecem refletir variações na contribuição pelítica, ou argilo minerais no depósito original.

Seqüência Furnas Lajeado: Mostra coerentemente padrões radiométricos intermediários a baixos, reflexo da predominância de metacalcários, por vezes impuros. As faixas pelíticas passam a um padrão intermediário a alto em todos os canais, exceto no urânio. Mas é neste canal que uma faixa lenticular, dentro da unidade dos metacalcários, a sudeste do Granito Espírito Santo, e outras menos extensas mais a norte, ocorrem com assinaturas elevadas, indicando a presença de um litotipo diverso. No mapa topográfico da área, sumidouros e um relevo cárstico indicam a presença de metacalcários, e portanto, este tipo de comportamento no canal de urânio, associado a assinaturas radiométricas baixas nos canais de tório e potássio, seria esperado em rochas carbonáticas, com o urânio substituindo o cálcio na estrutura molecular, ou com presença de minerais característicos de forte afinidade com o urânio (como apatita), além de pouca contribuição de argilo minerais na rocha original.

AEROGAMAESPECTROMETRIA - CANAL CONTAGEM TOTAL (CT)

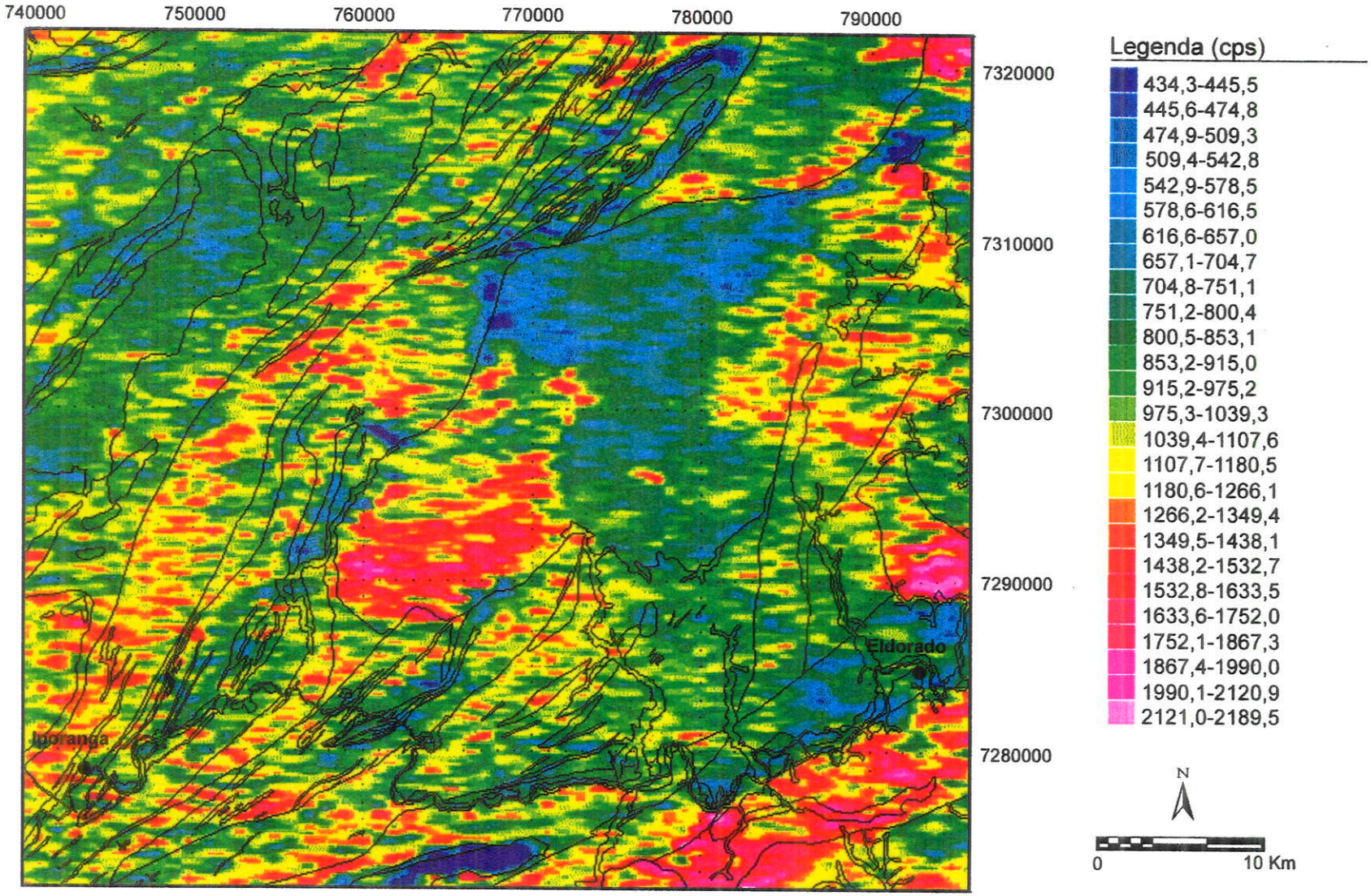


Figura 3.2. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Canal Contagem Total (CT), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos

AEROGAMAESPECTROMETRIA - CANAL DO TÓRIO (Th)

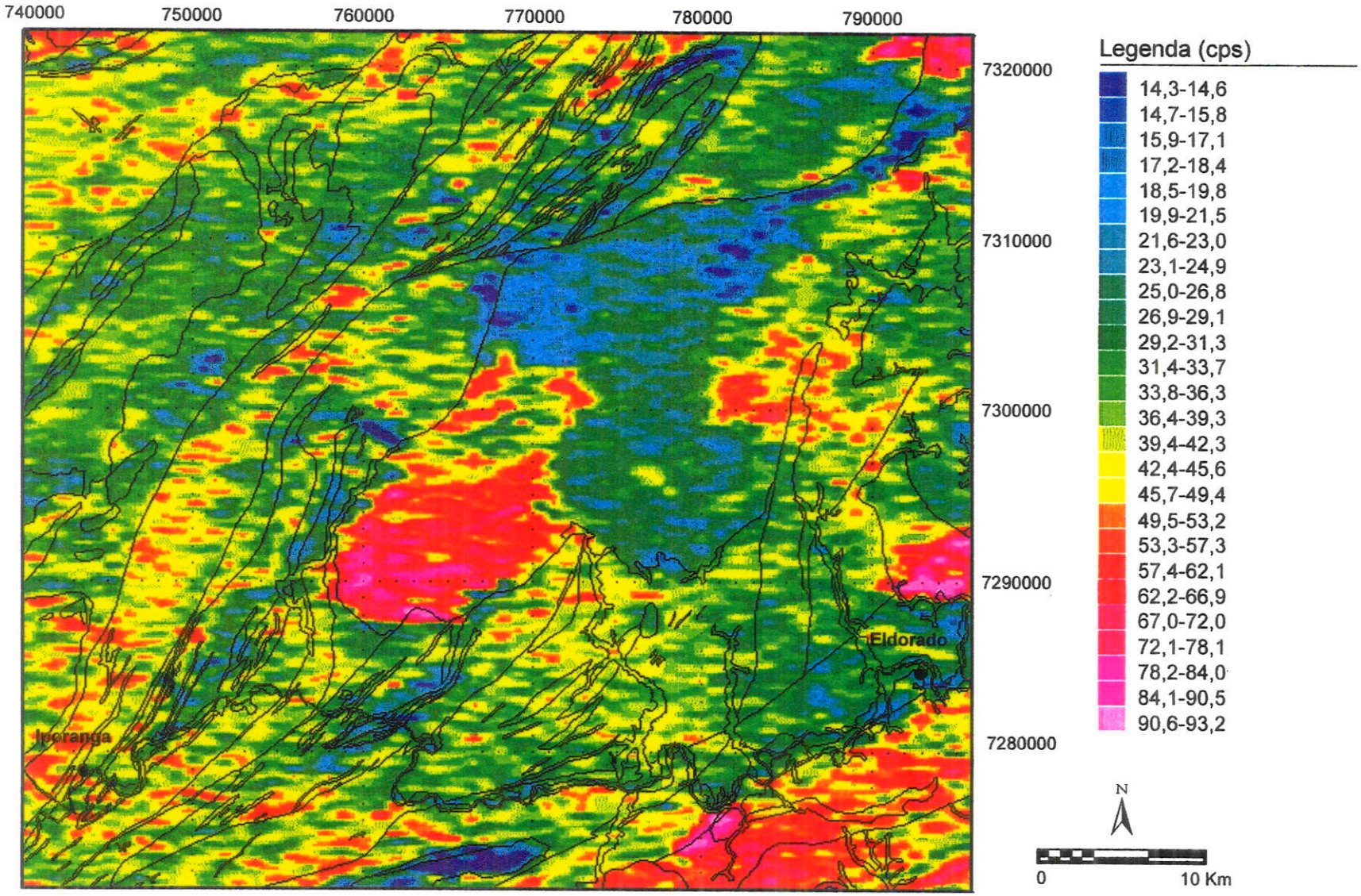


Figura 3.3. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Canal do Tório (Th), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos.

AEROGAMAESPECTROMETRIA - CANAL DO URÂNIO (U)

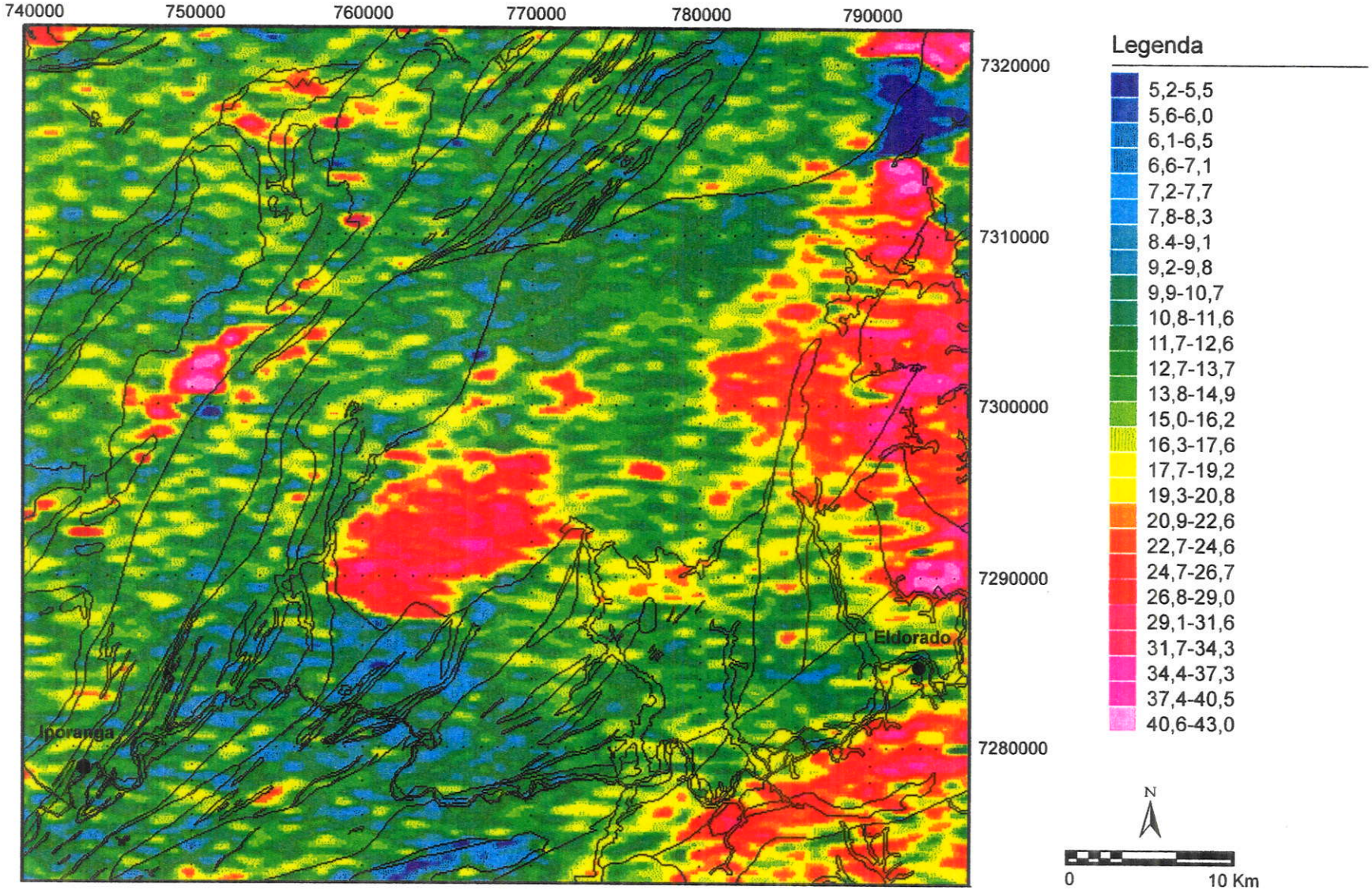


Figura 3.4. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Canal do Urânio (U), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos.

AEROGAMAESPECTROMETRIA - CANAL DO POTÁSSIO (K)

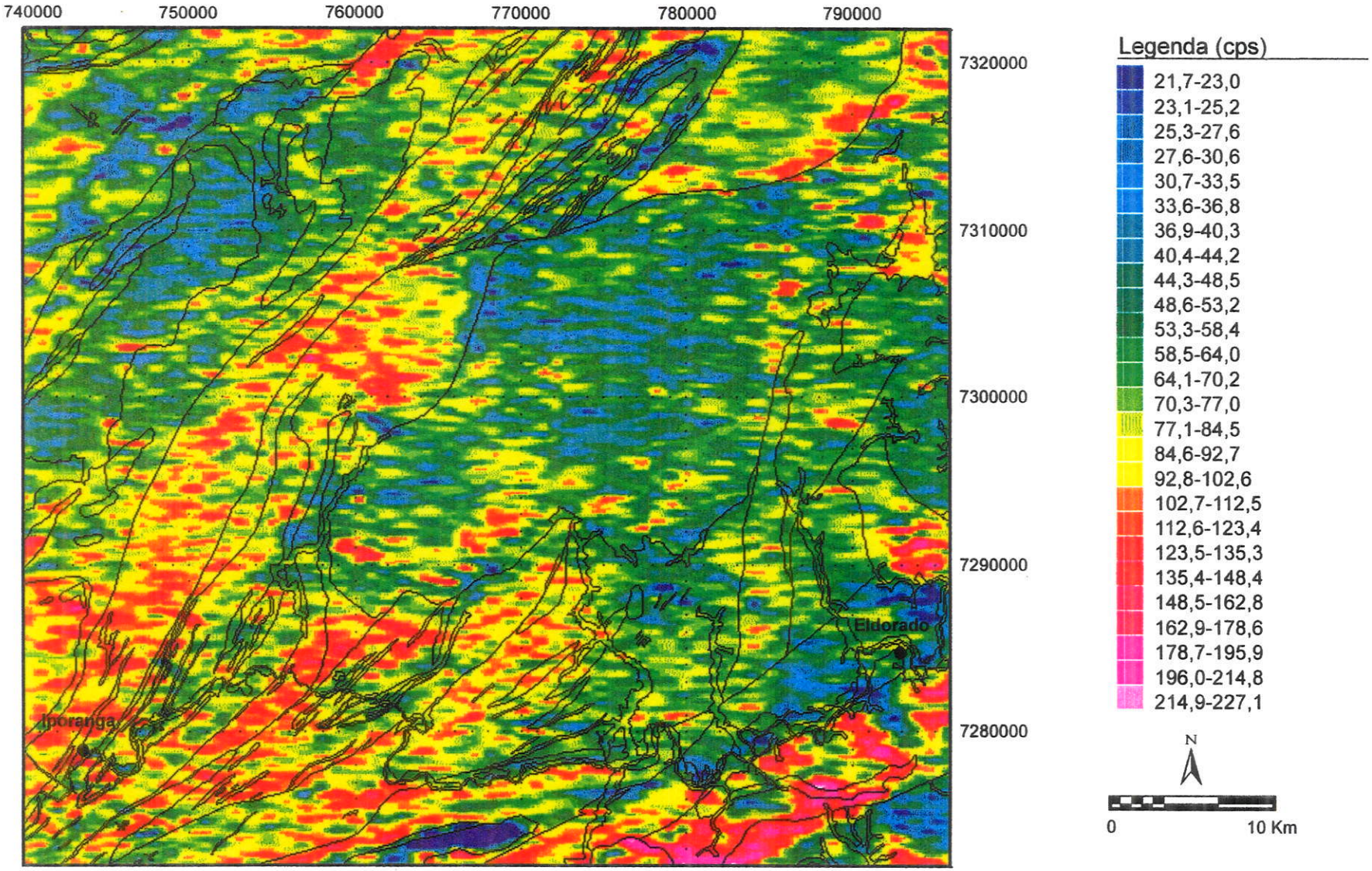


Figura 3.5. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Canal do Potássio (K), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos.

AEROGAMAESPECTROMETRIA - RAZÃO URÂNIO/TÓRIO (U/Th)

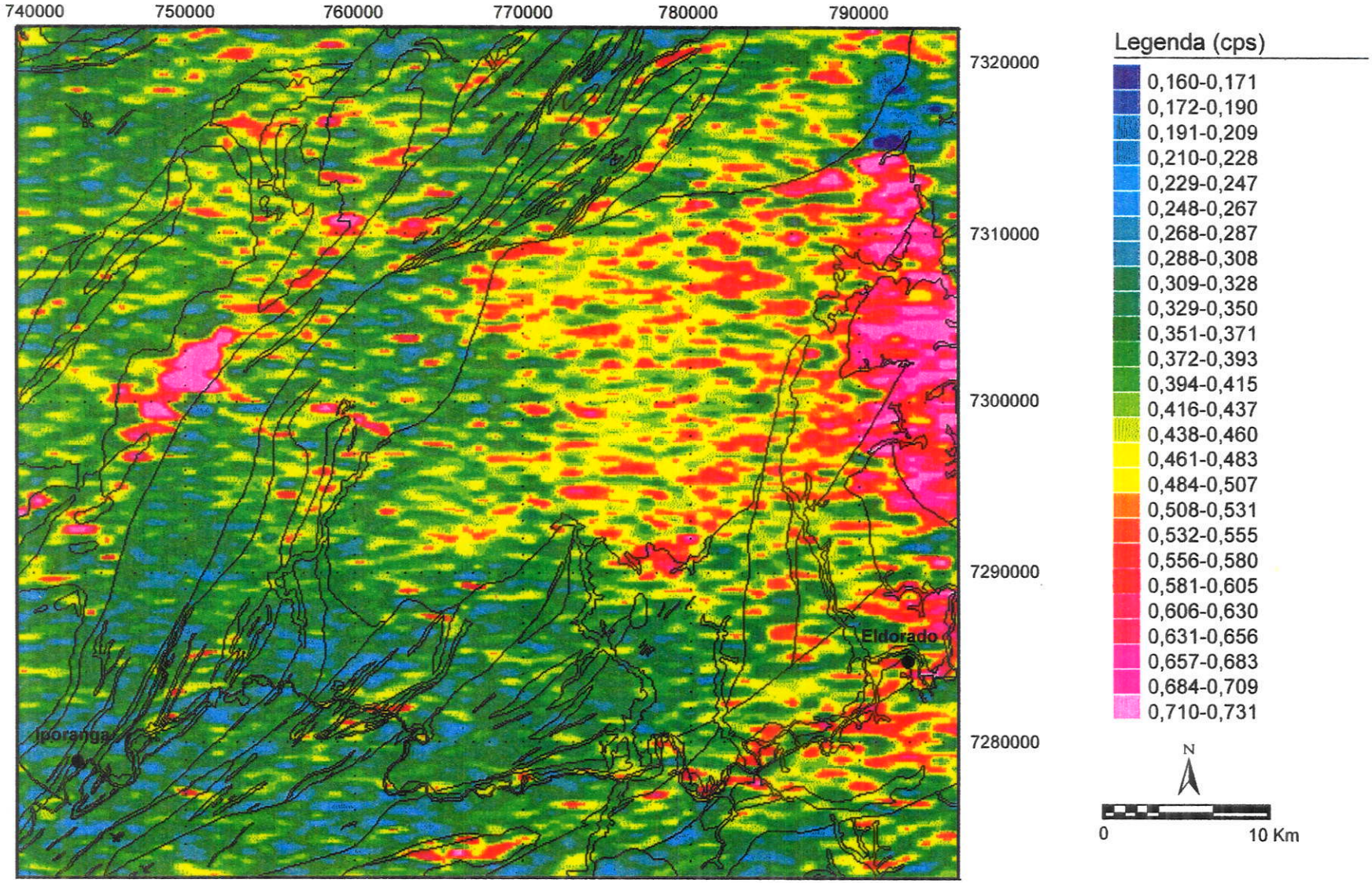


Figura 3.6. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Razão Urânio/Tório (U/Th), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos.

AEROGAMAESPECTROMETRIA - RAZÃO URÂNIO/POTÁSSIO (U/K)

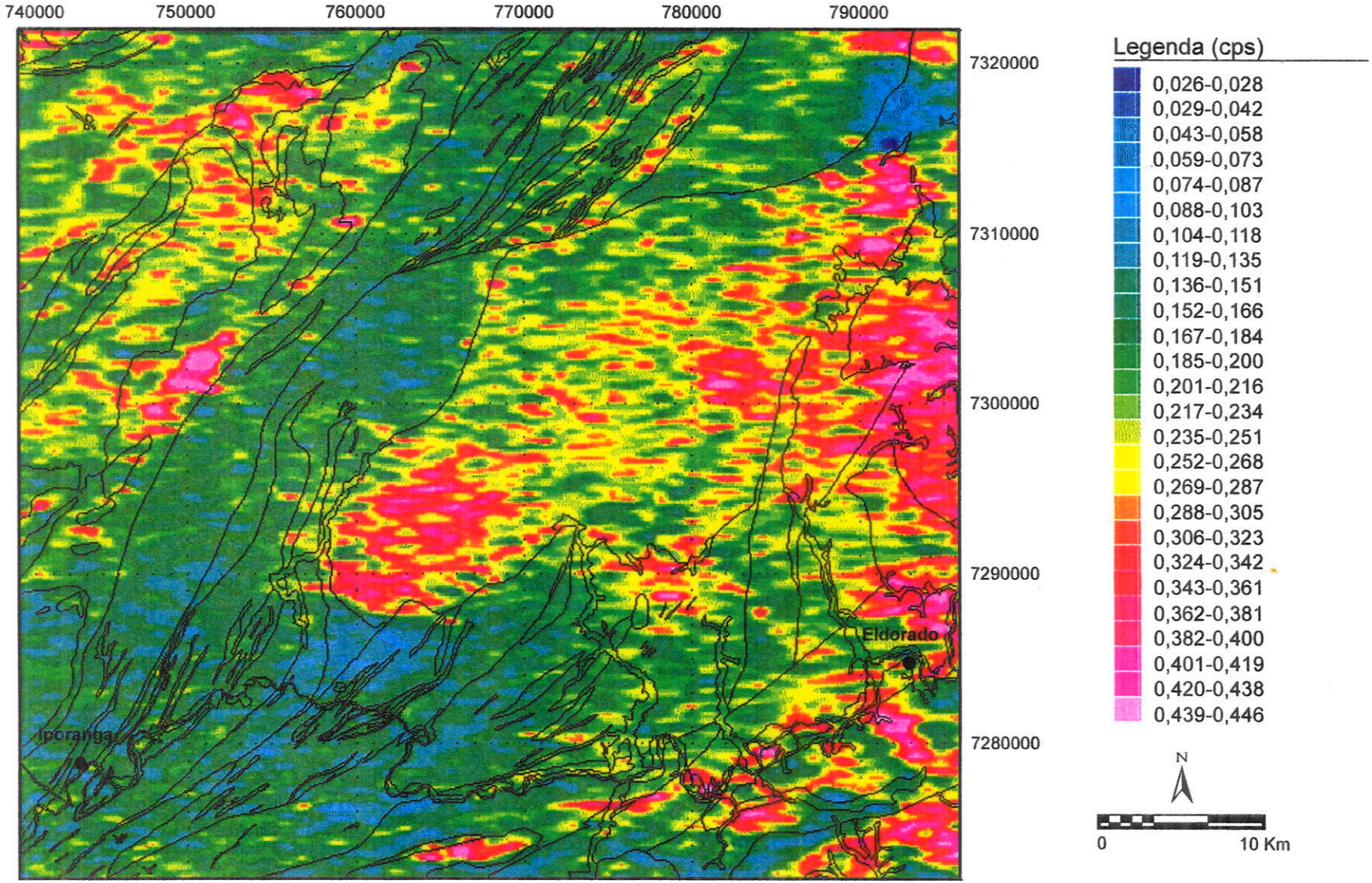


Figura 3.7. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Razão Urânio/Potássio (U/K), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos.

AEROGAMAESPECTROMETRIA - RAZÃO TÓRIO/POTÁSSIO (Th/K)

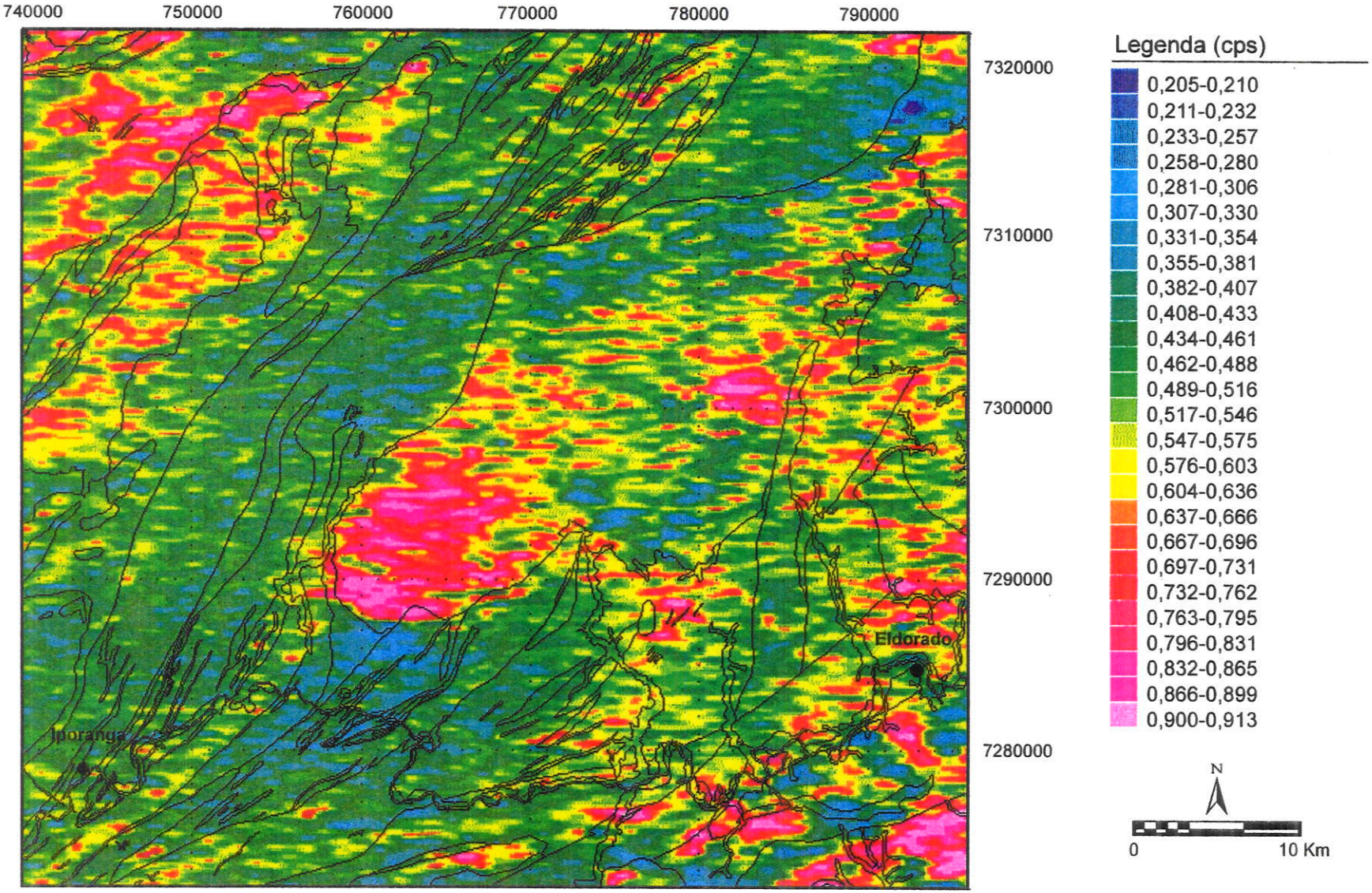


Figura 3.8. Aerogeofísica. Gamaespectrometria - Razão Tório/Potássio (Th/K), reclassificada para 26 intervalos. Superposição do vetor de contatos litológicos.

Os metarenitos mapeados dentro desta seqüência e os correspondentes a **Formação Serra da Boa Vista** apresentam padrões relativamente baixos, comuns a estas rochas.

A **Seqüência Betari** acompanha o comportamento radiométrico verificado na maioria das seqüências metapelíticas na área, de intermediário a baixo no canal de urânio e de intermediário a alto nos demais canais.

A **Formação Iporanga** e **Unidade Rubuquara** (exceto nas áreas de afloramento de metabásicas e metarenitos) distinguem-se dos demais conjuntos caracteristicamente terrígenos, principalmente nos canais de contagem total e tório por apresentarem assinaturas radiométricas mais elevadas. O comportamento do potássio nestes conjuntos é também elevado mas se confunde, em parte, com outros adjacentes. Estes padrões elevados devem estar associados aos metarenitos arcoseanos no caso do potássio e presença de minerais pesados, tipo monazita, em sedimentos mais maduros e mesmo nos metaconglomerados. Na extensão nordeste da Formação Iporanga este padrão é atenuado, passando a se comportar como os metapelitos do domínio Votuverava.

No **domínio Votuverava** a variação das assinaturas radiométricas é reflexo da presença de tipos litológicos distintos. Assim no canal de tório, um comportamento geral intermediário dá lugar a baixos radiométricos na **Unidade Piririca** onde ocorrem as intercalações básicas, cáciofilitos e a predominância de filitos carbonosos. Os canais de contagem total e menos acentuadamente o de potássio acompanham este tipo de comportamento, no último, assinaturas relativamente mais elevadas parecem refletir não só neste conjunto mas em todos os metapelíticos, a presença comum de sericita.

Comportamento dos radioelementos no geral intermediário a baixo também está associado a **Unidade Ribeirão das Pedras**, mas nota-se, na porção sul da sua área de afloramento, uma tendência de elevação nos valores da razão Th/U.

Com assinatura radiométrica bastante baixa em todos os canais evidencia-se na região norte de afloramento desta formação a ampla dobra desenhada por provável filito carbonoso mapeado na região.

Alta concentração de urânio é observada no extremo leste da área onde escassos dados de campo sugerem a presença de xistos. Apesar de um espalhamento relativo do urânio, devido a sua alta mobilidade, este padrão deve refletir um pacote litológico realmente distinto dos filitos do domínio Votuverava.

A unidade metapelítica da **Seqüência Serra das Andorinhas** mostra padrão radiométrico geral intermediário, enquanto seus metacalcários impuros, mármores e quartzitos apresentam

em todos os canais assinatura muito baixa com enriquecimento relativo de urânio em relação ao tório e este em relação ao potássio, verificado nas razões U/Th e Th/K.

Na área de afloramento do **Complexo Granito-Gnáissico-Migmatítico** as lentes de xistos mapeadas não se distinguem claramente, exceto a que ocorre mais a oeste com assinaturas intermediárias nos canais de Tório e Urânio. É ainda nestes canais que o corpo granítico Itapeúna fica bem evidenciado como um alto radiométrico. Nos canais de potássio e contagem total esta área a sul da Zona de Cisalhamento Lancinha mostra um padrão geral elevado a intermediário, com baixos localizados, numa faixa orientada segundo NE-SW, que passa a valores radiométricos baixos a intermediários numa faixa paralela mais a sul, provavelmente associada a xistos, voltando o padrão anterior no extremo sudeste da área.

O granito Barra do Braço, a sul da área, apresenta valores radiométricos elevados a intermediários em todos os canais, exceto no de urânio com padrão intermediário.

3.2. FACIOLOGIA RADIOMÉTRICA DOS PRINCIPAIS CORPOS GRANITÓIDES

O comportamento dos radioelementos, principalmente tório e urânio, nos processos magmáticos tem sido objeto de estudo de diversos autores, inclusive sob o aspecto de classificações químicas, petrológicas e de mineralizações associadas (Maurice & Charbonneau 1987). Segundo estes autores, granitos de comportamentos radiométricos similares, como tipo I e A, podem ser distinguidos conhecendo-se o tipo de depósito mineral associado.

Apesar da ausência de informações sobre mineralizações nos principais corpos granitóides da área (Agudos Grandes e Espírito Santo) dados geoquímicos de sedimento de corrente puderam assumir este papel, de forma que os elementos anômalos relacionados às bacias que drenam estes corpos granitóides foram correlacionados aos diferentes padrões radiométricos por eles exibidos possibilitando algumas indicações dos processos magmáticos envolvidos na sua colocação.

Ao contrário do Granitóide Espírito Santo, de comportamento radiométrico mais homogêneo, o Granito Agudos Grandes apresenta uma variedade de padrões radiométricos contrastantes, indicando sua complexidade faciológica, até então não detectada pelos parcos dados de campo disponíveis. Simplificando-se no SPANS-GIS o intervalo de 26 níveis das imagens Tório, Urânio e razão U/Th para 5 classes de valores radiométricos crescentes de muito baixos a muito elevados (figuras 3.9 a 3.11), a combinação destas imagens gerou um mapa faciológico de unidades radiométricas para este corpo granitóide (figura 3.12),

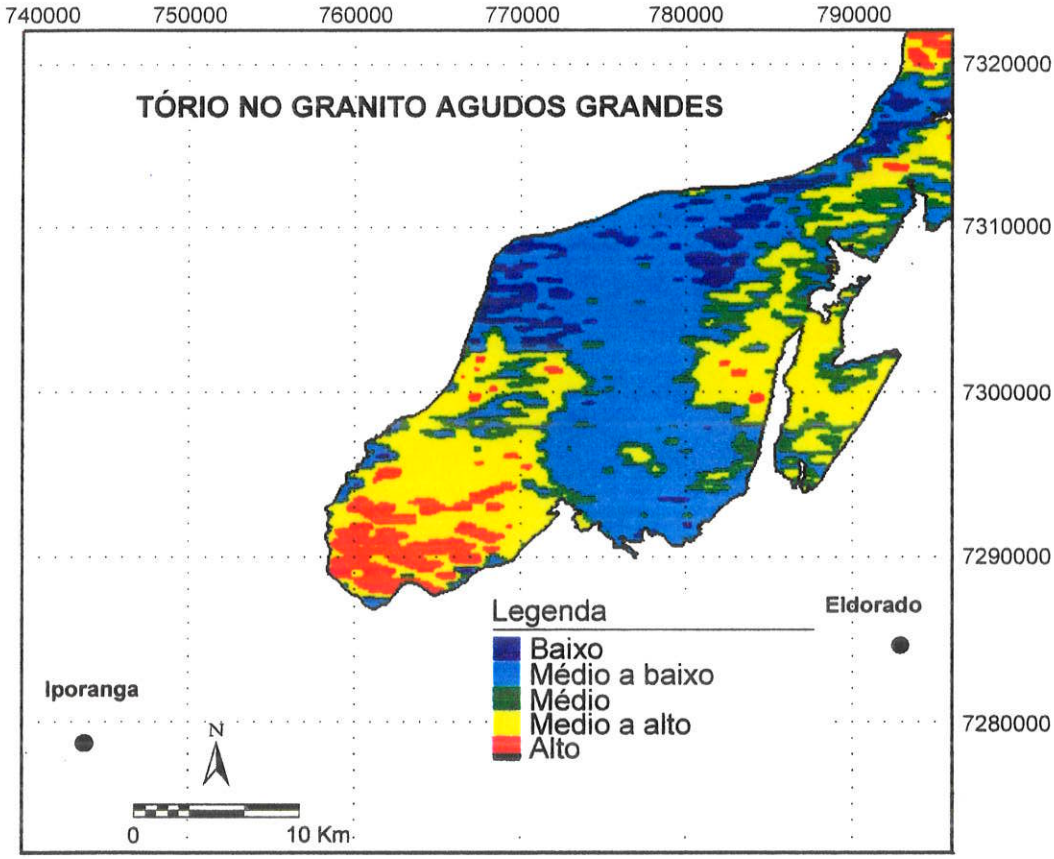


Figura 3.9. Tório no Granito Agudos Grandes. Reclassificação para 5 níveis de teores crescentes.

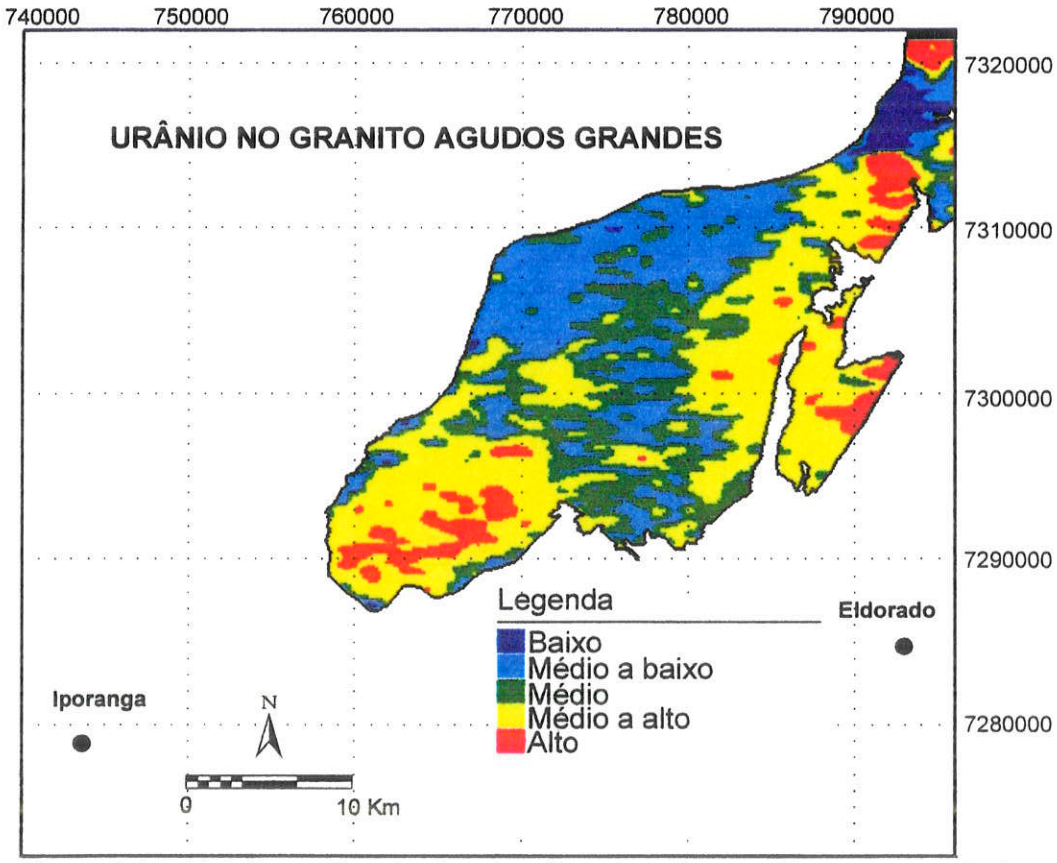


Figura 3.10. Urânio no Granito Agudos Grandes. Reclassificação para 5 níveis de teores crescentes

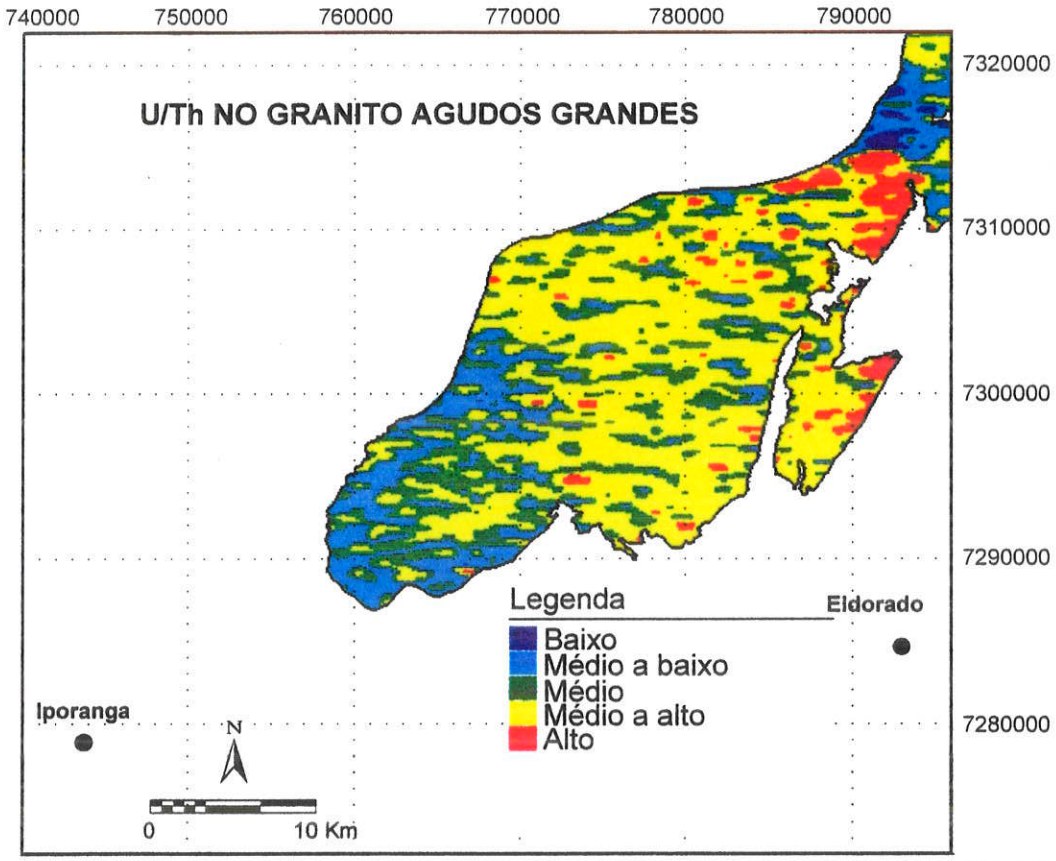


Figura 3.11. Comportamento da razão Urânio/Tório no Granito Agudos Grandes. Reclassificação para 5 níveis de teores crescentes.

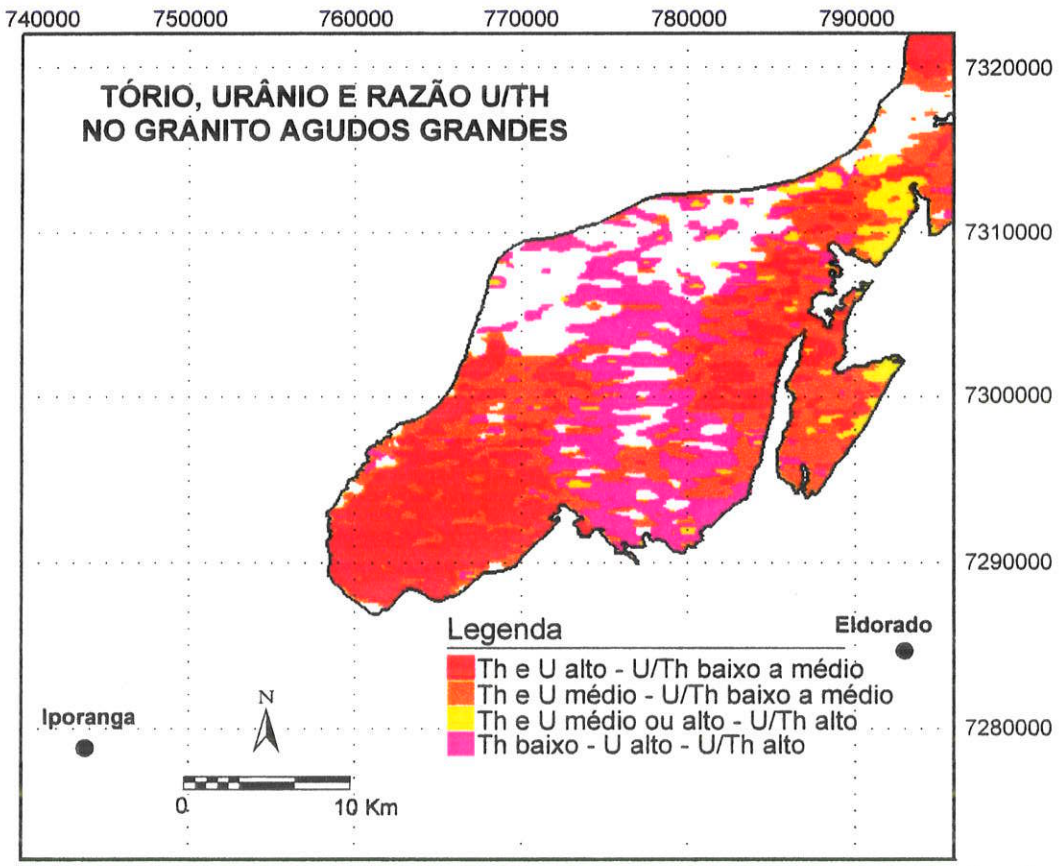


Figura 3.12. Comportamento do Tório, Urânio e razão U/Th no Granito Agudos Grandes.

envolvendo quatro unidades: 1- Tório e Urânio elevados e razão U/Th baixa ou intermediária; 2- Tório e Urânio intermediários e razão U/Th baixa ou intermediária; 3- Tório e Urânio intermediários ou elevados e razão U/Th alta; 4- Tório baixo, Urânio elevado e razão U/Th elevada a intermediária.

A correlação deste mapa com as bacias de captação anômalas em berilo, cobre, molibdênio, nióbio, estanho, ítrio e zircônio gerou os mapas da figuras 3.13 a 3.19, onde nota-se principalmente a correspondência da unidade 1 com anomalias de nióbio, zircônio, estanho, ítrio e localmente com berilo e molibdênio. Já o cobre mostra correlação com quase todas as unidades delimitadas, mas em parte seus teores anômalos podem corresponder às seqüências supracrustais drenadas pelas mesmas bacias de captação. Suas correspondências mais importantes ocorrem com a unidade 2 na porção leste do corpo e com a unidade 4 na porção centro-norte. Correlaciona-se também à unidade 2, o estanho na porção leste do granito e o nióbio na porção centro-sul; enquanto que zircônio correlaciona-se à unidade 4 na porção centro-norte.

Estas correlações quando comparadas com os padrões radiométricos típicos de granitóides descritos em Maurice e Charbonneau (1987) sugerem para a unidade 1 um possível granito alcalino-peralcalino tipo A de Loiselle & Wones (1979). A forma circular dos corpos mais importantes associados a unidade 1 corroboram esta hipótese. Já unidade 2 de urânio e tório menos elevados e razão U/Th semelhante à anterior, aproxima-se mais dos padrões apresentados para granitos subalcalinos tipo I de Chappel e White (1974). A unidade 3 parece corresponder a processos de concentração pós-magmática com enriquecimento de urânio (o tório permanece com padrão semelhante aos anteriores) e, sem relação com o tipo granítico. Para a unidade 4, menos claramente que as anteriores, os padrões radiométricos sugerem granito não magnético (série ilmenita) de Ishihara (1977) ou tipo S de Chappel & White (1974), já que apresenta tório relativamente mais baixo que os padrões anteriores, urânio mais elevado e portanto razão U/Th alta.

O quadro faciológico do Granitóide Agudos Grandes se completa através da combinação do mapa da figura 3.12 com o mapa do canal de contagem total (também reclassificado para 5 classes de valores crescentes - figura 3.20) de forma que as áreas de contagem total muito baixa foram interpretadas como possivelmente não graníticas e as áreas a contagens totais mais elevadas, como fácies distintas das anteriores (figura 3.21). A figura 3.22 mostra o mapa faciológico do Granito Agudos Grandes delineado através da interpretação conjunta do mapa da figura 3.21 e imagens de satélite.

Apesar do elevado grau especulativo destas interpretações elas fornecem indicações importantes sobre a constituição do Granitóide Agudos Grandes, evidenciando sua evolução polidiapírica e multi-temporal durante o processo orogênico. É interessante notar o zoneamento delineado pelas fácies radiométricas. Com o possível granitóide tipo S, associado a tetos pendentes de supracrustais, deve ter-se iniciado a colocação do corpo, controlado por sistema de cisalhamento lateral. O desenvolvimento deste sistema de cisalhamento, associado à evolução do ambiente magmático, conduziria a colocação de granitóide tipo I nas bordas. O final do estágio cinemático seria marcado pela colocação dos corpos alcalinos, em posição mais externa, mas ainda controlada pelo sistema de cisalhamento (ver discussão adiante).

O Granitóide Espírito Santo, de forma alongada orientada segundo as estruturas dúcteis regionais contrasta muito pouco com as encaixantes no seu padrão radiométrico homogêneo. Tem valores de tório, urânio e razão U/Th no geral intermediários e correlação com anomalias geoquímicas locais de cobre e molibdênio semelhante aos granitos subalcalinos tipo I.

Na porção leste da área, um corpo granitóide denominado Serra do Aboboral mostrou nas imagens gamaespectrométricas comportamento similar aos granitos tipo A e deve ser correlato à fácies tida alcalina-peralcalina do Granitóide Agudos Grandes.

3.3. POTENCIALIDADE DOS MÉTODOS GAMAESPECTROMÉTRICOS NA EXPLORAÇÃO AURÍFERA

Têm-se descrito na literatura alguns estudos que tratam da aplicação de métodos gamaespectrométricos na exploração de metais básicos e preciosos, ouro em particular. O potássio constitui o radioelemento mais freqüentemente citado como farejador.

Nos depósitos onde o ouro está hospedado em veios de quartzo, estes são tipicamente empobrecidos em radioelementos, mas as rochas encaixantes, afetadas por alteração hidrotermal podem conter assinaturas distintas, úteis na exploração aurífera.

Hoover & Pierce (1990) em sua bibliografia anotada de métodos gamaespectrométricos aplicados na exploração aurífera comentam que halos potássicos ao redor de depósitos de metais básicos e preciosos tem sido reconhecidos em estudos geoquímicos convencionais, como por exemplo nos estudos de Boyle (1979) sobre halos ao redor de depósitos de ouro de diversos tipos genéticos. Metassomatismo potássico, poderia em alguns casos, chegar a duplicar a concentração de potássio, mesmo em rochas hospedeiras originalmente ricas neste elemento. Mas, devido a larga distribuição do potássio através da rocha hospedeira e não

localizadamente na mineralização aurífera, este elemento fornece apenas uma indicação geral para exploração do ouro.

Alguns exemplos de associação do urânio com ouro em depósitos auríferos tem sido descritos (Boyle 1979), mas a alta mobilidade deste elemento em ambientes oxidantes prejudica sua potencialidade como farejador do ouro.

Apesar de ser considerado o elemento menos móvel dentre os radioelementos, não é bem conhecida a distribuição do tório em mineralizações de metais básicos. Alguns autores citam algum empobrecimento de tório (geralmente acompanhado pelo urânio) na rocha encaixante hidrotermalizada, enquanto observa-se um enriquecimento no potássio.

Balykin *et al.* (1973 *in:* Hoover & Pierce 1990) estudando depósitos de ouro em veios e *stockworks* sulfetados, hospedados em quartzo-clorita-sericita filitos mostraram que os três radioelementos estão empobrecidos nos veios de quartzo, mas elevam-se nos filitos encaixantes. Eles notaram também que elevadas concentrações de potássio e urânio podem caracterizar o comportamento radiométrico das zonas mineralizadas. Alto tório não correlaciona-se diretamente com as mineralizações.

Câmara & Perrotta (1994) em estudo gamaespectrométrico do Vale do Ribeira notaram na área de afloramento da Unidade Piririca, principal metalotecto litológico do ouro na região, uma tendência de valores radiométricos baixos no canal da contagem total, acompanhada pelos canais do tório e urânio. Este padrão recorre em outras regiões no domínio Votuverava e segundo os autores poderia refletir a presença de rochas básicas, metacalcários, calciofilitos e filitos carbonosos ou ainda alteração hidrotermal do tipo carbonatação.

Assim, apesar de constituir uma ferramenta útil nos estudos exploratórios, as assinaturas radiométricas dos depósitos auríferos parecem ser bastante variáveis, e devem ser estudadas empiricamente, em cada caso, para serem utilizadas como um guia na exploração, observando-se as muitas variáveis responsáveis pela mobilização e fixação dos radiolementos.

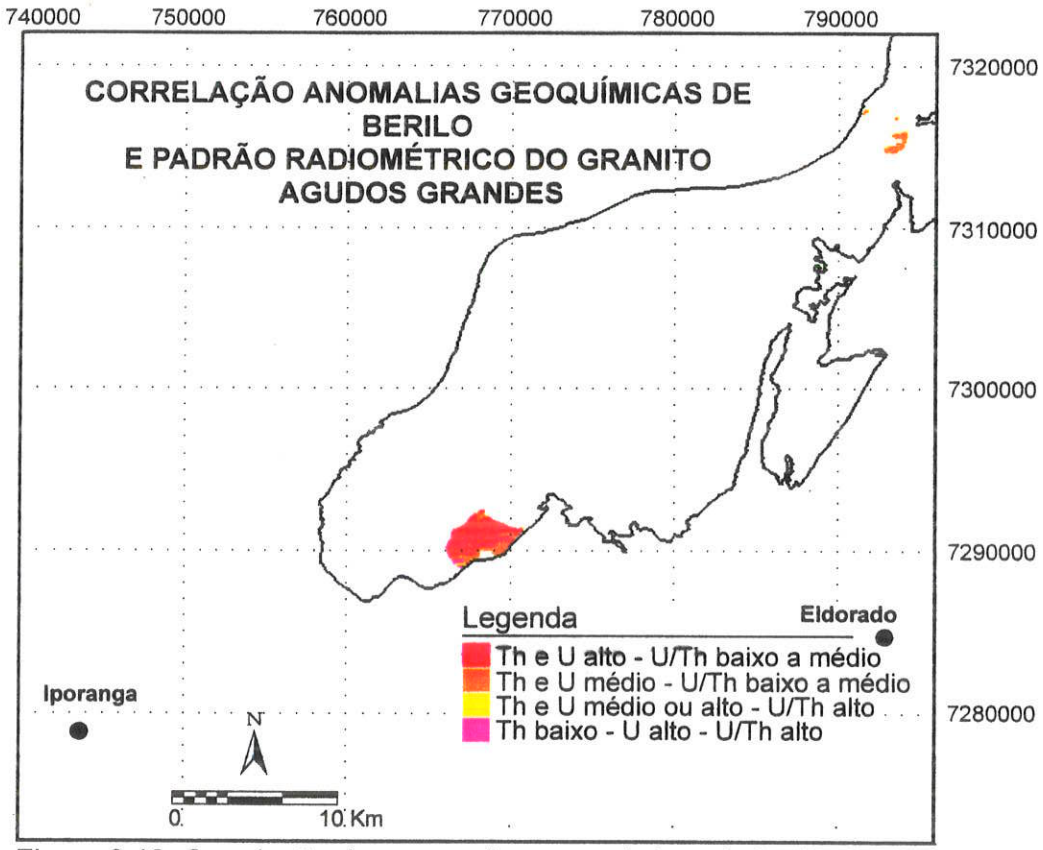


Figura 3.13. Correlação das anomalias geoquímicas de berilo e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

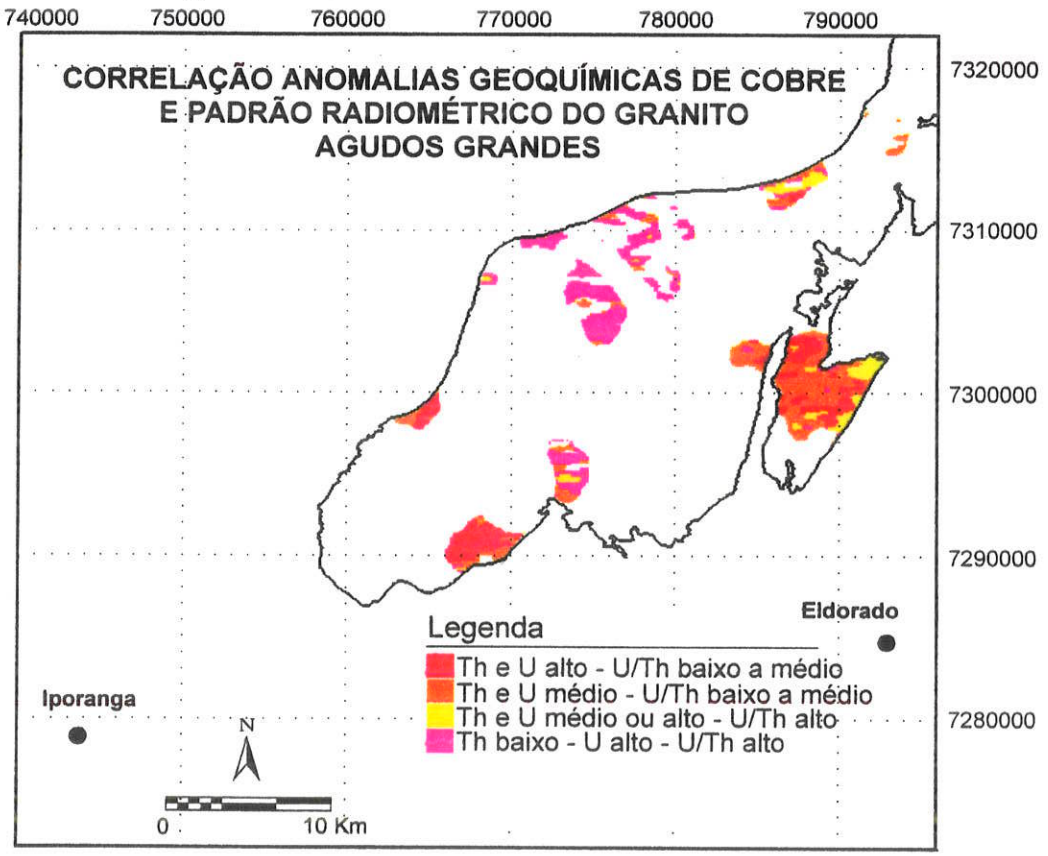


Figura 3.14. Correlação das anomalias geoquímicas de nióbio e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

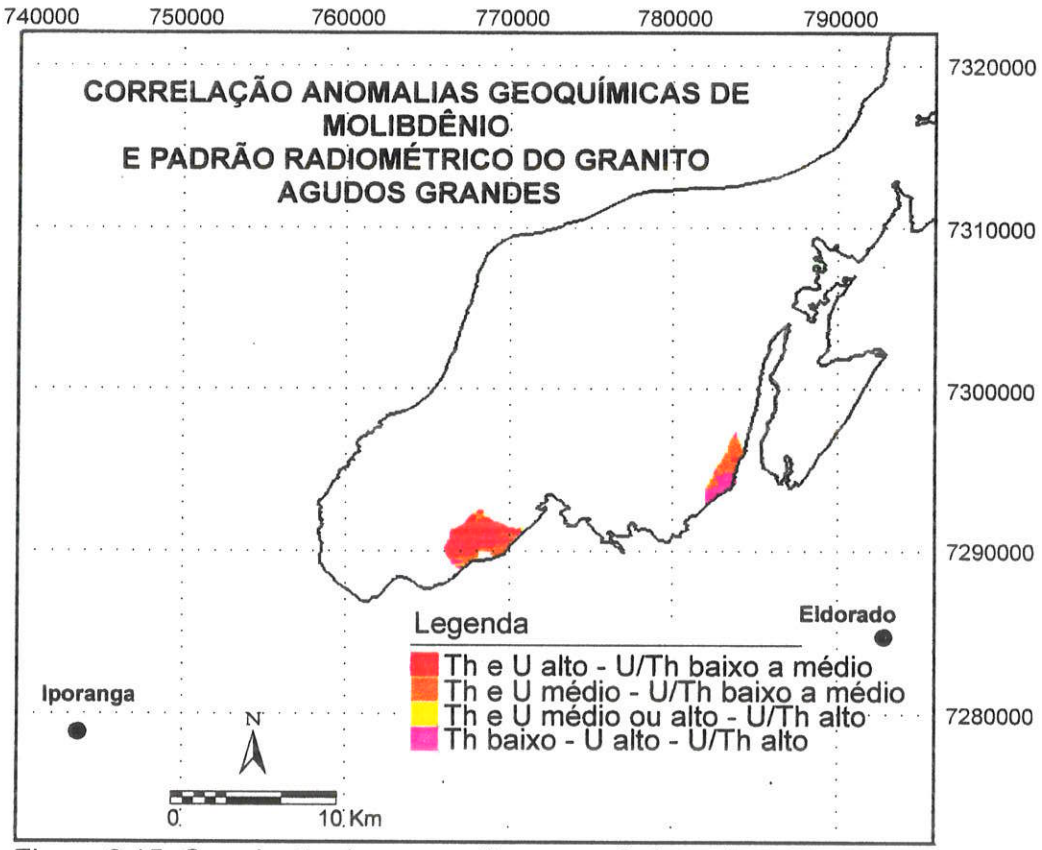


Figura 3.15. Correlação das anomalias geoquímicas de molibdênio e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

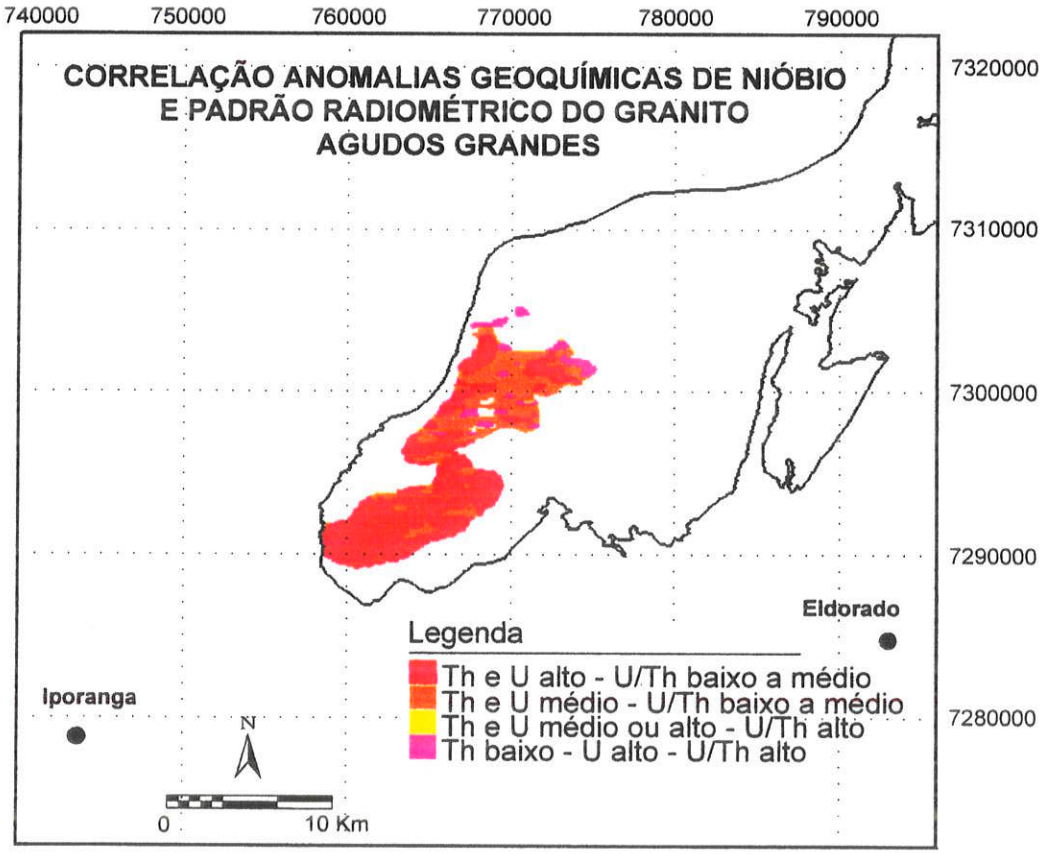


Figura 3.16. Correlação das anomalias geoquímicas de nióbio e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

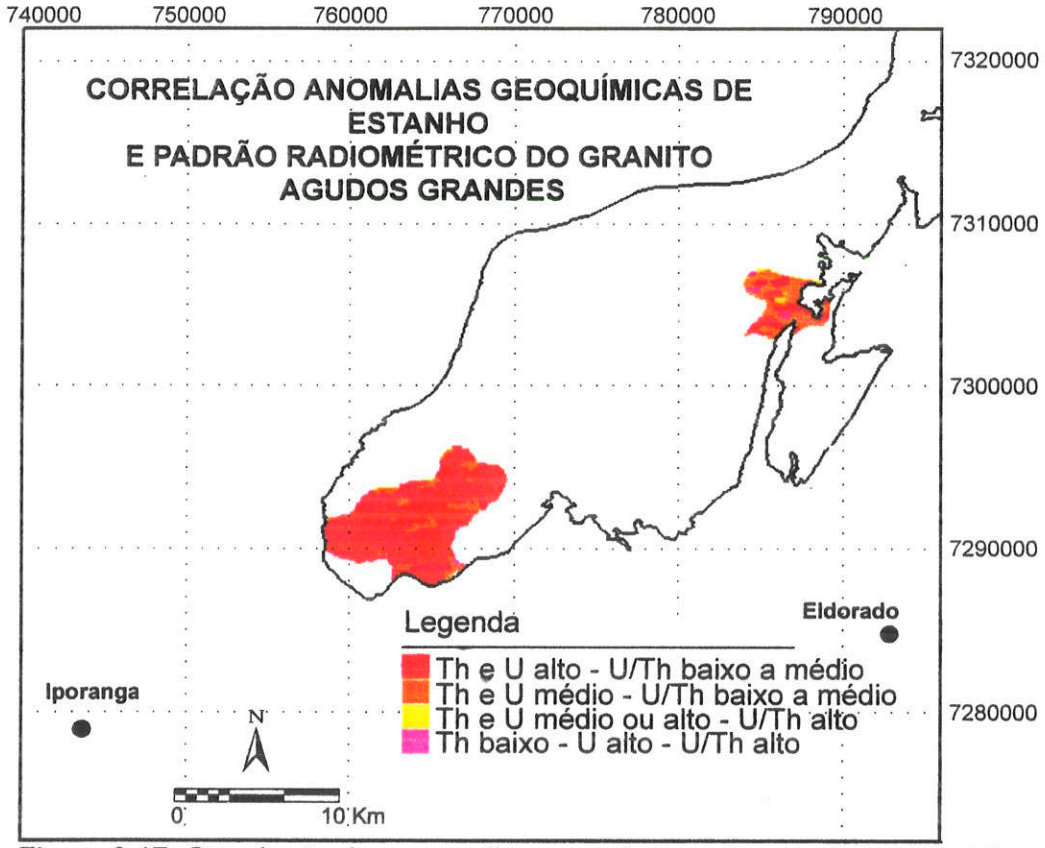


Figura 3.17. Correlação das anomalias geoquímicas de estanho e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

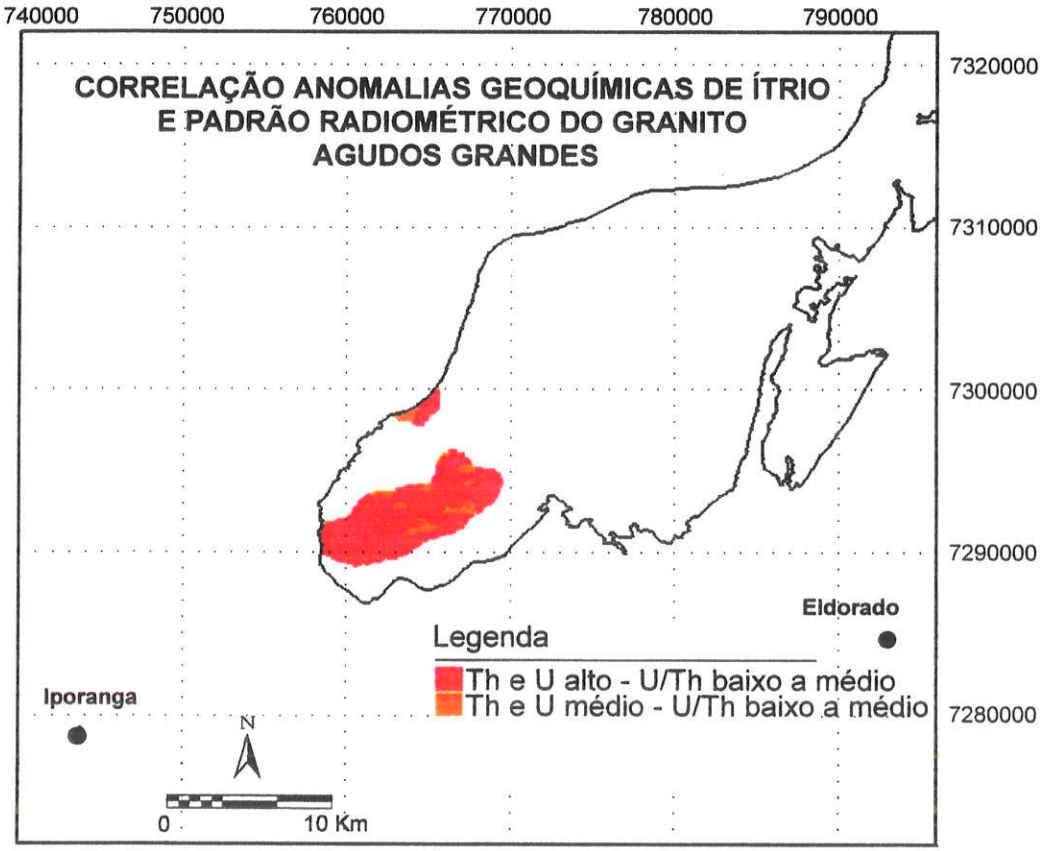


Figura 3.18. Correlação das anomalias geoquímicas de ítrio e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

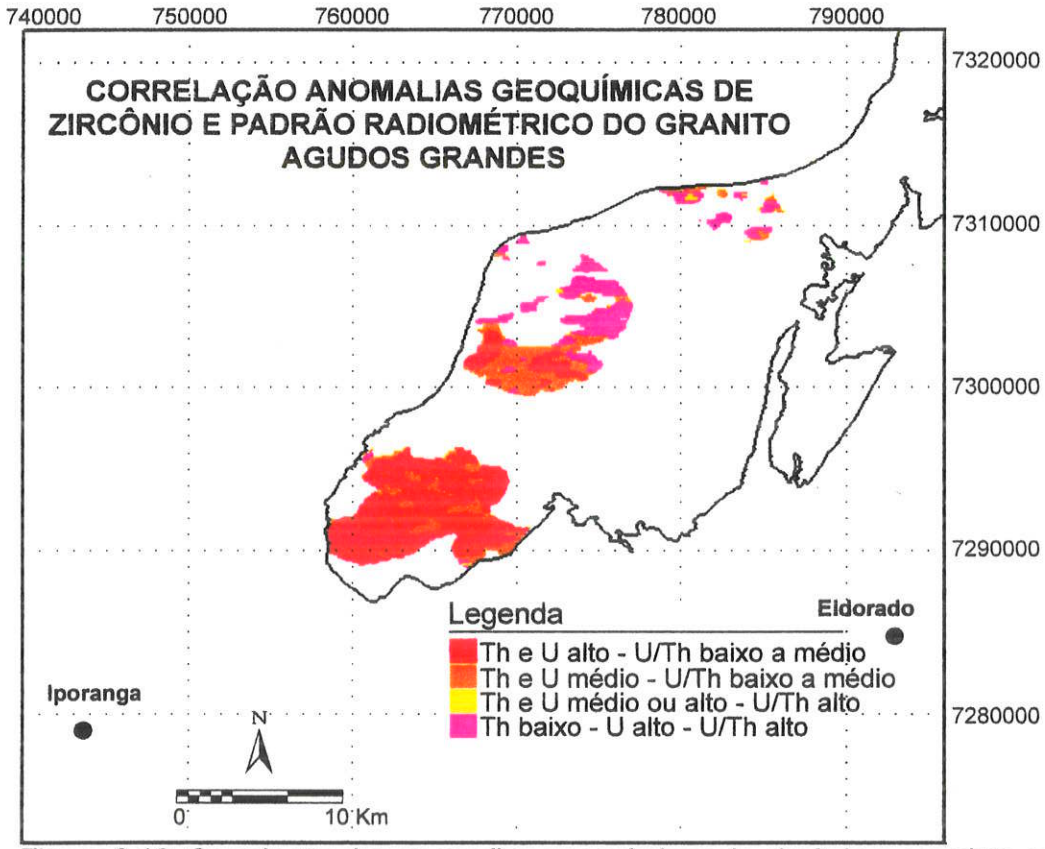


Figura 3.19. Correlação das anomalias geoquímicas de zircônio e o padrão radiométrico do Granito Agudos Grandes.

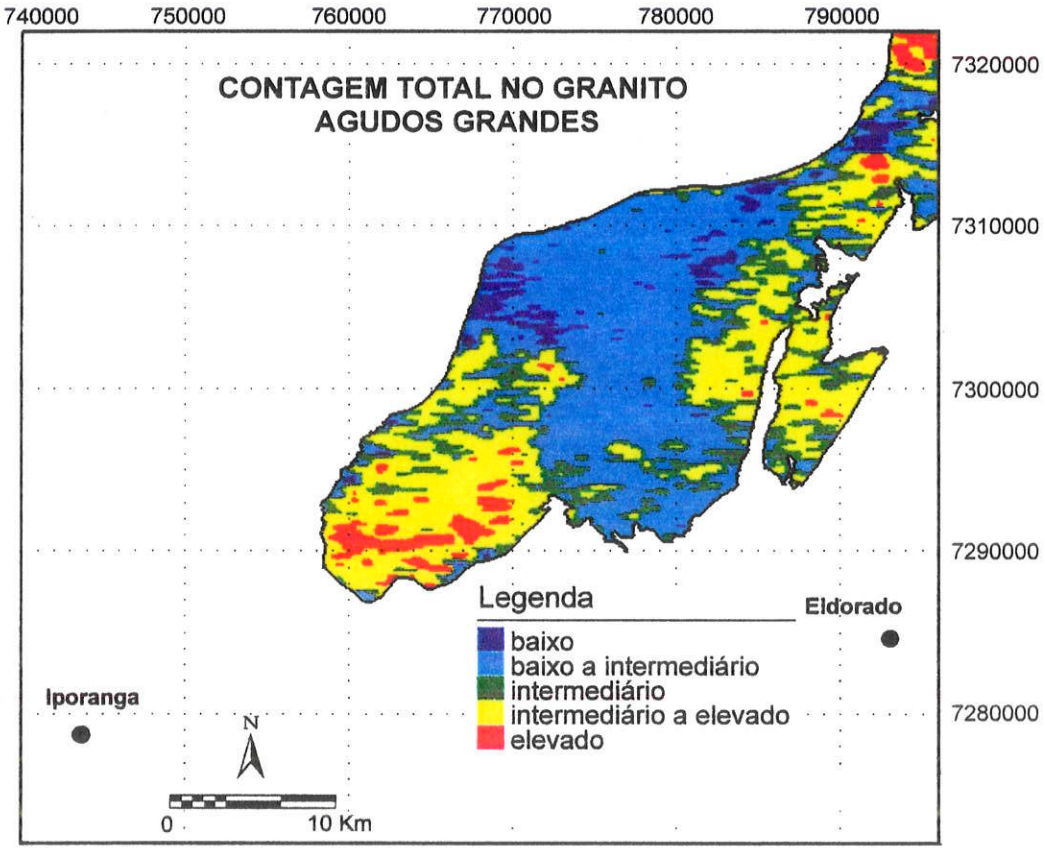


Figura 3.20. Comportamento radiométrico do Granito Agudos Grandes no canal da contagem total. Reclassificação para 5 níveis de radioatividade crescente.

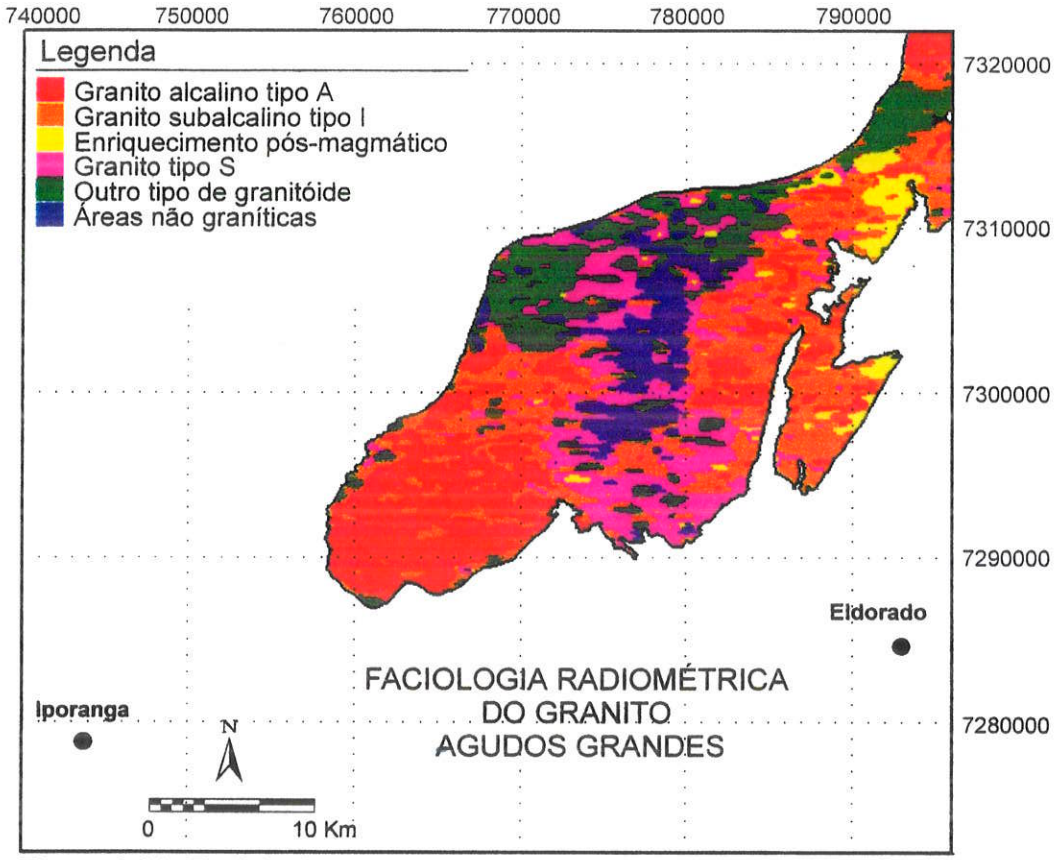


Figura 3.21. Faciologia radiométrica do Granito Agudos Grandes.

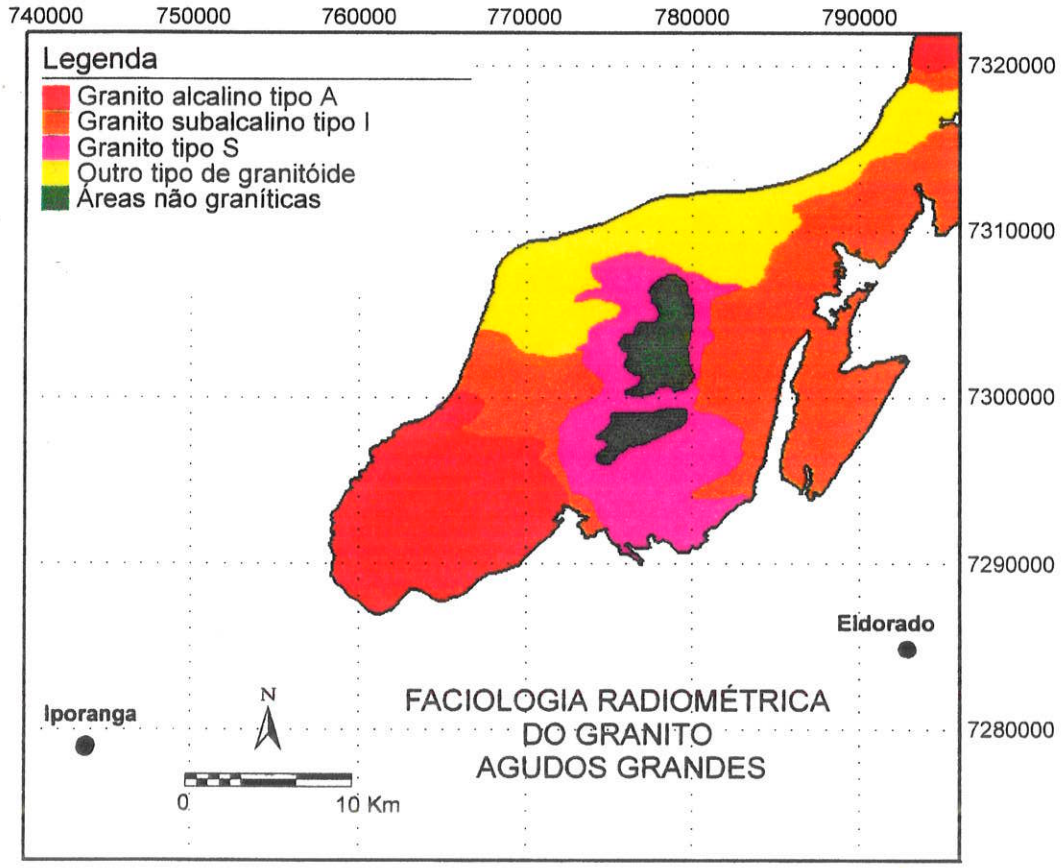


Figura 3.22. Faciologia radiométrica do Granito Agudos Grandes, com contatos delimitados com ajuda de fotointerpretação de imagens de satélite realçadas.

4. DADOS DE IMAGENS DE SATÉLITE

Foram utilizadas imagens digitais do satélite LANDSAT *Thematic Mapper*-5 (órbita 220, ponto 077E) - bandas espectrais 1,2,3,4,5 e 7 - coletadas em 14 de setembro de 1986.

Estas imagens foram processadas principalmente no programa *IDRISI*, e no programa *ENVI*, utilizando-se técnicas de tratamento digital descritas sucintamente a seguir.

Pré-processamento: correção geométrica, através de função linear de retificação e reamostragem por vizinho mais próximo; correção atmosférica das bandas 1, 2, 3, 4 e 5 pelo método do mínimo histograma.

Realces no domínio espectral:- análise de principais componentes (APC), e composição colorida das componentes principais 2, 1, 3 (submetidas a ampliação linear de contraste com saturação de 5%), nesta seqüência de atribuição aos canais RGB.

- composição colorida das bandas 4, 5 e 1, submetidas a ampliação linear de contraste com saturação de 5% e nesta ordem de atribuição aos canais RGB. A seleção deste triplete se deu através do cálculo do *Optimun Index Factor* - $O.I.F_{a,b,c}=dp_a+dp_b+dp_c/Cc_{a-b}+Cc_{a-c}+Cc_{b-c}$ - onde a, b, c são as bandas combinadas; dp é o desvio padrão do histograma destas bandas e Cc é o coeficiente de correlação entre as bandas duas a duas. Estes parâmetros estatísticos são obtidos na APC e quanto mais alto o valor de O.I.F. visualmente melhor deve ser a imagem obtida. De fato esta combinação produziu o melhor efeito visual dentre as possibilidades testadas, apesar de presença de ruído na banda 1, que ficou amenizado na composição.

- transformação IHS (Intensidade-Matiz-Saturação) do triplete 4, 5, e 1.

- realce por decorrelação do mesmo triplete (figura 4.1).

- razões entre bandas, gerando-se composições coloridas de diversas combinações, com destaque para a composição 3/1, 4/2, 5/7.

- aplicou-se ainda às bandas 1, 3, 4, 5 e 7 o método Cròsta, tal como descrito em Loughlin (1991), na tentativa de se delimitar as áreas afetadas por alteração hidrotermal, mas a presença de forte ruído nas bandas 1 e 3 e ainda de extensa cobertura vegetal na área, prejudicaram este resultado.

Realce no domínio espacial: na tentativa de se realçar as diferentes direções estruturais da área, várias configurações de filtro digital foram testadas em diversas imagens e o melhor resultado foi obtido com a aplicação do filtro de Sobel (NW-SE) 5 X 5 na componente principal 1, ressaltando as estruturas dúcteis e dúctil-rúpteis de orientação NE-SW, principais na área,

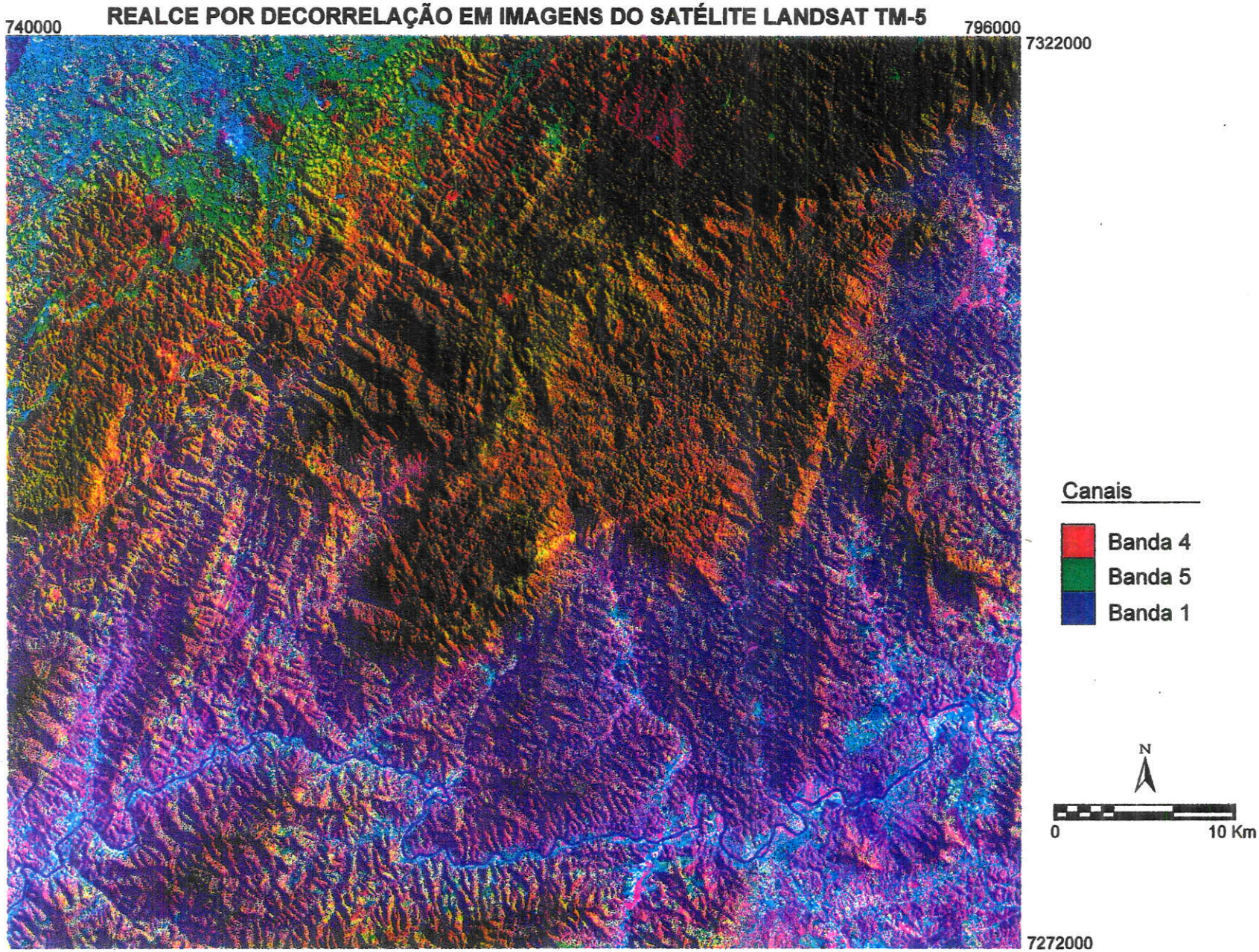


Figura 4.1. Resultado de processamento digital de imagens do Satélite Landsat-TM5. Realce por decorrelação.

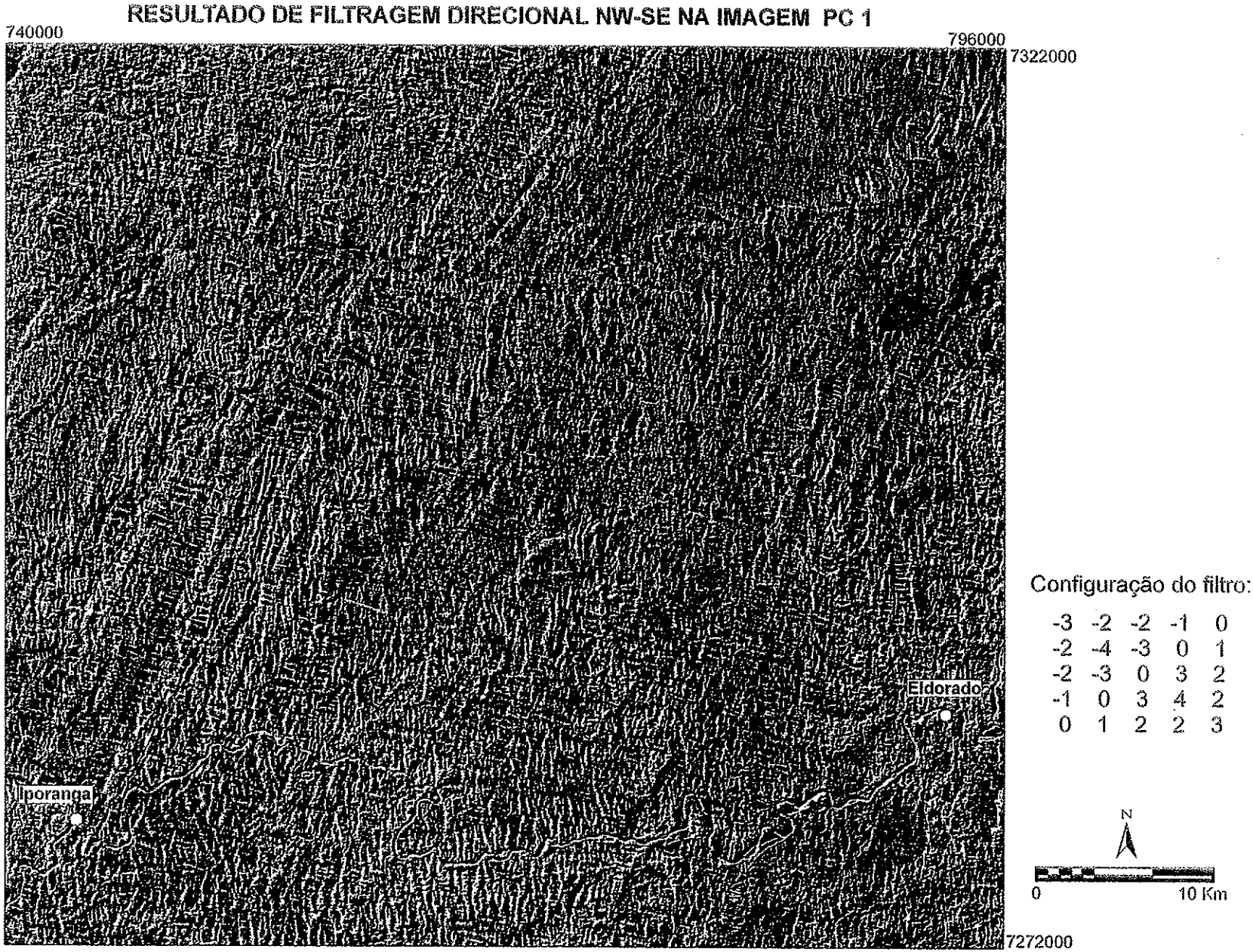


Figura 4.2. Processamento digital de imagens do Satélite Landsat-TM5. Filtragem direcional da componente principal 1.

e ainda as direções NS e EW (figura 4.2). Através deste processamento foi possível amenizar o efeito das estruturas rúpteis NW-SE, associadas ao Arco de Guapiara, que obliteram as estruturas mais antigas e importantes do ponto de vista metalogenético.

4.1. FOTOINTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE SATÉLITE

A vasta cobertura vegetal preservada na região dificulta a discriminação espectral das entidades litológicas, de forma que as imagens produzidas por realces no domínio espectral não forneceram resultados muito significativos do ponto de vista do avanço na cartografia geológica. Por outro lado, a informação textural que elas oferecem é de boa qualidade na modelagem estrutural, principalmente dos sistemas de cisalhamento transcorrentes, que geram foliações plano-lineares de alto mergulho e de caráter rúptil-dúctil.

A imagem Principal Componente 1 realçada com filtro direcional de Sobel NW-SE 5X5 (figura 4.2) foi interpretada em conjunto com imagens falsa-cor produzidas, como a da figura 4.1, de forma que possíveis exageros comumente gerados na filtragem digital pudessem ser eliminados.

Estas imagens permitiram a discriminação de dois sistemas de cisalhamento laterais, com direções das estruturas planares principais aproximadamente N30E e N50E (figura 4.3).

A comparação entre as extensas estruturas lineares fotointerpretadas, principalmente do primeiro sistema, de caráter dúctil, com as delineadas em mapas geológicos anteriores (figura 4.4), em grande parte traçadas a partir de fotointerpretação de aerofotos, mostra uma certa discrepância que pode ser explicada pela visualização global permitida pelas imagens de sensores remotos, de escala regional de monitoramento. Assim a utilização de imagens de satélite, principalmente digitais, que permitem o realce direcional das estruturas, favorece a interpretação das extensas estruturas planares de alto ângulo de mergulho, enquanto que as estruturas não lineares e no geral de baixo ângulo de mergulho, associadas a foliações penetrativas, podem ser identificadas com mais rigor nas fotografias aéreas, de escala maior de amostragem.

O primeiro sistema, de estruturas dúcteis planares de alto ângulo e rejeitos evidentes, orienta-se, na porção oeste da área, segundo uma direção próxima a N30E. Feições tipo pares S-C, no interior de *mega-pods,* são delineadas pelo padrão anastomosado e sigmóide de delgadas zonas de maior deformação, indicando uma movimentação dextral. A este sistema estão associadas as Zonas de Cisalhamento Figueira, Espírito Santo e Agudos

Grandes. Destaca-se a expessa faixa linear, traduzida por intensa foliação paralela, que define a Zona de Cisalhamento Figueira, podendo caracterizar esta direção como dominantemente transpressiva.

A direção dúctil N70E, de alto ângulo, está associada à Zona de Cisalhamento Ribeira, dextral, que tem suas estruturas em parte retomadas por estruturas rúpteis tardias de mesma direção, mais evidentes nas imagens de satélite.

A evolução progressiva da Zona de Cisalhamento Ribeira, segundo sua movimentação dextral, gera inflexões dúcteis das zonas de cislhamento transpressivas para a direção N50E. Orientam-se segundo esta direção as Zonas de Cisalhamento Ivaporunduva e Piririca, a primeira com componente oblíqua em cavalgamento descrita no campo.

A configuração destas estruturas caracteriza um sistema de cisalhamento, cujos planos-S, de máximo achatamento, encontram-se a N30E; estando a direção de máximo encurtamento, paralela aos planos-T de tração, a N60W. Para tal arranjo geométrico, a direção N70E (Zona de Cisalhamento Ribeira) corresponde aos planos-C de cisalhamento simples lateral direito. As direções N50E, que mais se destacam na imagem aeromagnetométrica (na porção central da área e em estreita associação com o Granitóide Agudos Grandes), figura 3.1, devem representar a torção dúctil das estruturas N30E, rotacionadas para fora do campo transpressivo, pela progressão da deformação.

Diante da disposição das fácies constitutivas do Batolito Agudos Grandes, determinadas no estudo do sinal aerogamaespectrométrico e que sugere uma sucessão das intrusões a partir do centro para as bordas, segundo direção próxima a N30E, acredita-se que a colocação deste corpo foi controlada essencialmente pela evolução deste sistema de cisalhamento, em associação com o estabelecimento de um gradiente geotérmico local anomalamente alto. A disposição da Zona de Cisalhamento Ribeira, que sofre uma inflexão de sua direção NE, a sudoeste da área, para ENE no centro sul, voltando à direção NE a nordeste, favoreceu o estabelecimento de uma zona trativa na região do *emplacement*, respeitando-se a direção N60W-S60E para a compressão principal. O estiramento e *boudinage* do corpo se deu segundo a direção final N50E.

O segundo sistema, de desenvolvimento tardio e sob condições menos plásticas que o anterior, desenvolve estruturas planares segundo duas componentes principais, rúpteis, nas direções E-W e N50E. Este sistema ocorre na região central da área e afeta principalmente o Batolito Agudos Grandes . A ele associa-se a extensa falha E-W, no norte do corpo granitóide, interpretada anteriormente como continuação da Zona de Cisalhamento Agudos Grandes.

A distribuição espacial dos elementos estruturais fotointerpretados deste arranjo rúptil coincidem, entretanto, dentro do sistema de Riedel, com o sistema principal de cisalhamento descrito anteriormente, estando a direção E-W compatível com as falhas sintéticas-P. Assim esse segundo sistema, de caráter rúptil, deve refletir um estágio crustal mais alto, tardio, do "Sistema Ribeira", ainda dentro do mesmo campo de esforços.

Finalmente, a transposição, reorientação e retrogressão metamórfica da foliação principal pelas zonas de cisalhamento transcorrentes; bem como os contatos intrusivos entre, pelo menos parte, do Granitóide Agudos Grandes com as seqüências metamórficas, chegando a zonas locais de metamorfismo de contato, indicam que esses eventos representam a progressão tardi-orogênica, Neoproterozóica-Cambriana.

RESULTADO DA FOTOINTERPRETAÇÃO DA IMAGEM DA FIGURA 4.2

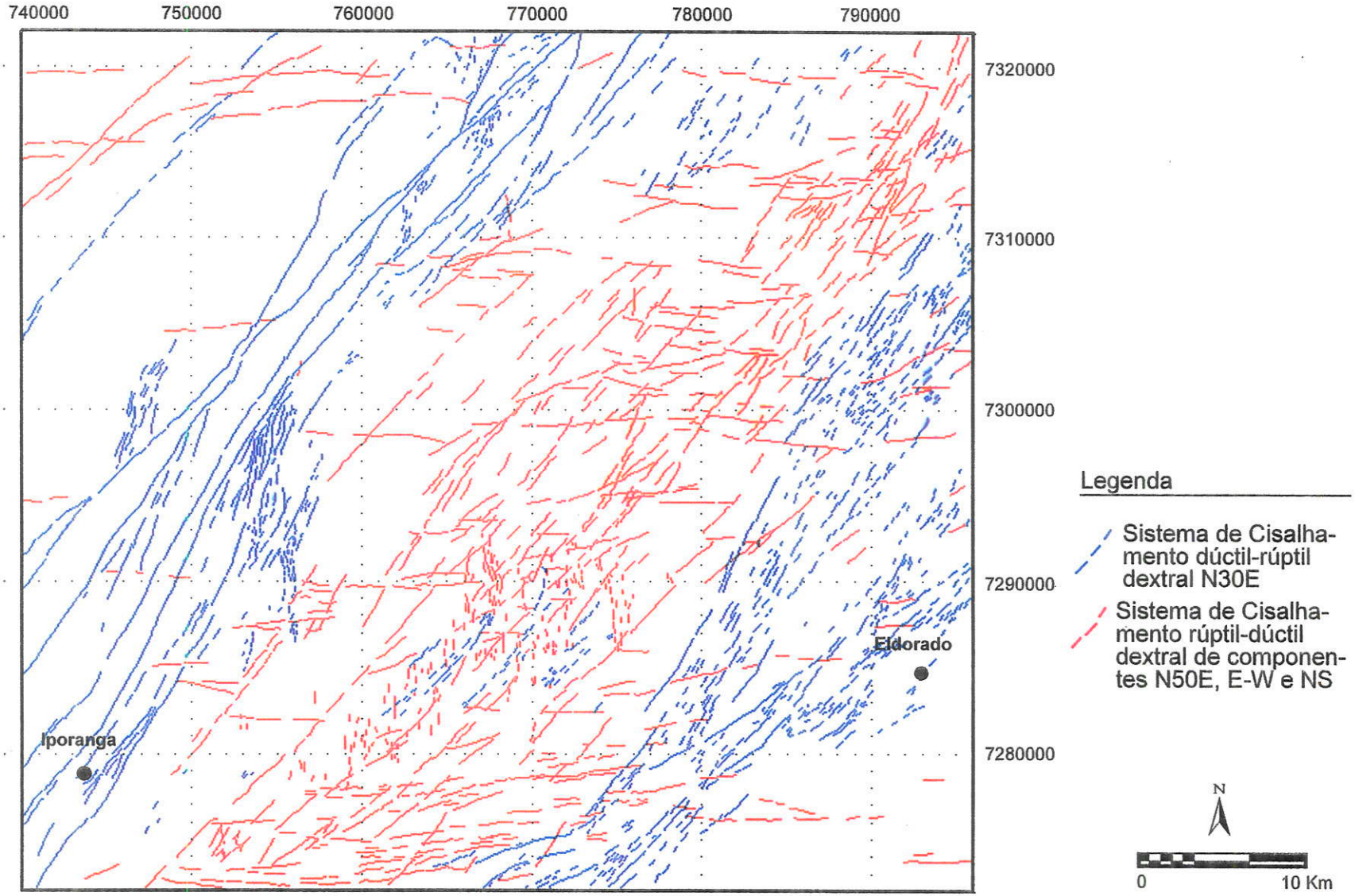


Figura 4.3. Resultado da fotointerpretação da imagem da figura 3.5. Discriminação de dois sistemas de cisalhamento na direção NE-SW.

MAPA DE COMPARAÇÃO ENTRE AS ZONAS DE CISALHAMENTO DÚCTIL FOTOINTERPRETADAS E MAPEADAS

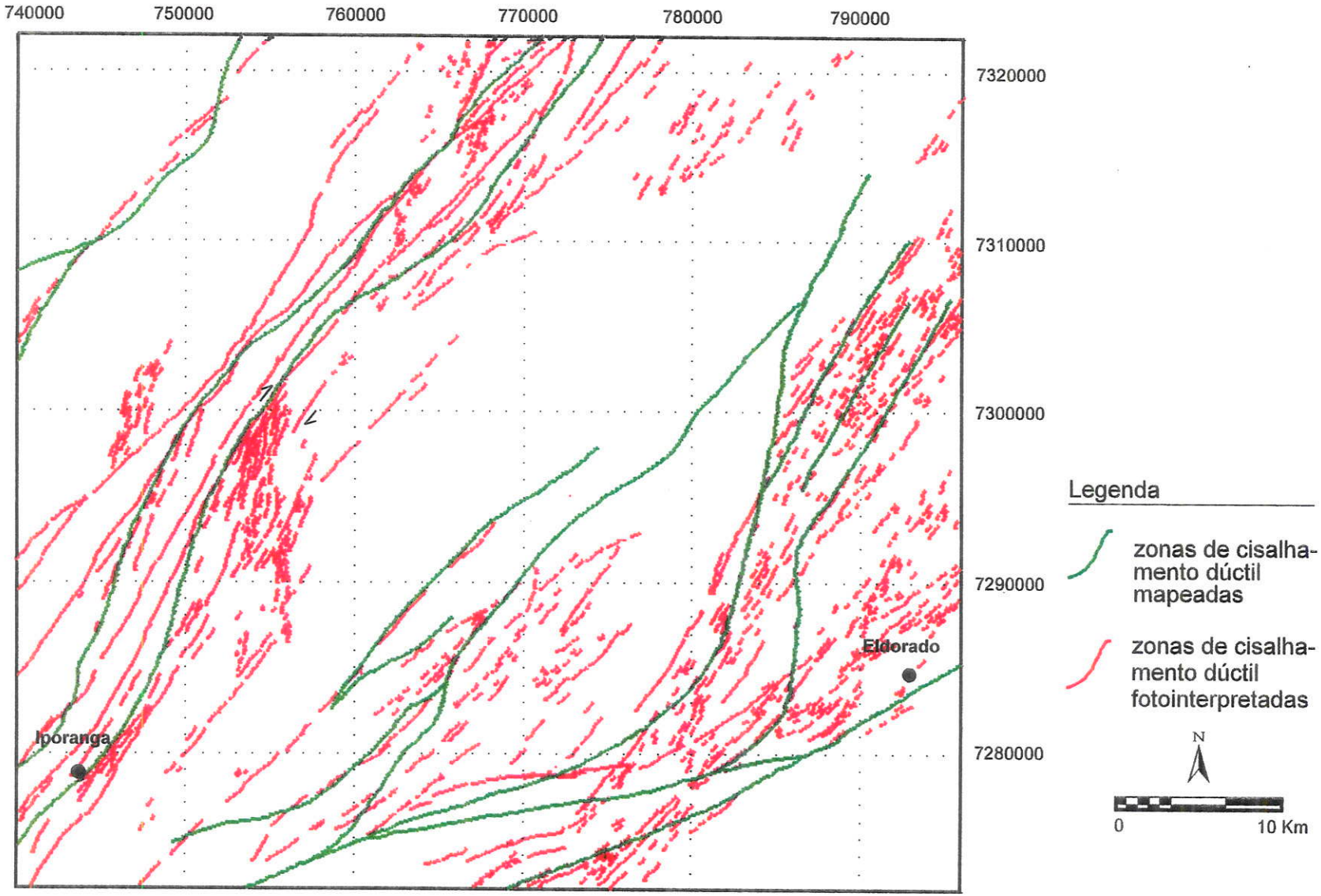


Figura 4.4. Mapa de comparação entre as zonas de cisalhamento dúctil fotointerpretadas a partir do processamento digital de imagens de satélite e as que aparecem nos mapas compilados.

5. DISCUSSÃO DOS MODELOS GENÉTICOS PROPOSTOS PARA A MINERALIZAÇÃO AURÍFERA

Segundo Câmara (1992) as mineralizações auríferas primárias do Vale do Ribeira resultaram de dois processos principais, na formação inicial de minério singenético e, posterior, de minério epigenético. Num primeiro estágio ouro e sulfetos provenientes da lixiviação da pilha vulcano-sedimentar, através de correntes de convecção, com a atuação da água marinha modificada, teriam se precipitado junto com os sedimentos, em períodos de aquiescência do vulcanismo. Num segundo estágio, processos orogênicos possibilitaram a remobilização e canalização de ouro e sulfetos em zonas de cisalhamento, através de fluidos hidrotermais ricos em CO_2, de baixa salinidade, e precipitação junto com a sílica em zonas de alívio de pressão.

Ainda segundo este autor, as mineralizações auríferas do Vale do Ribeira podem ser agrupadas em três modelos tipológicos, segundo a proposta de classificação de Biondi (1989, 1990).

1. Depósitos sulfetados, em veios de quartzo carbonatados, encaixados em rochas subvulcânicas básicas, de grau metamórfico fraco, com alteração hidrotermal nas encaixantes nas zonas da cloritização, carbonatação e sericitização (Tipo Golden Mile - Austrália). Os veios mineralizados ocorrem onde as rochas metabásicas foram afetadas por falhas transcorrentes e o ouro foi transportado para estruturas de tração através de soluções hidrotermais. Nestes depósitos os principais minerais de minério são: pirita e arsenopirita (com ouro nativo incluso), galena, pirrotita, esfalerita e calcopirita. Localmente ocorrem bismutina, tetraedrita e boulangerita.

Neste modelo encaixam-se os depósitos de Piririca e Ivaporunduva (no domínio da Unidade Piririca). Segundo Schrank & Câmara (1992), no depósito Piririca os metalotectos estruturais, caracterizados como zonas de cisalhamento direcionais, definem pelo menos duas direções de controle das mineralizações: filões de quartzo e carbonatos concordantes com a direção do cisalhamento (N40-55E), boudinados, e com mergulhos variáveis de alto a baixo ângulo, ou discordantes desta, segundo a direção N0-20E, possivelmente relacionados a fraturas T ou P rotacionadas. Nestes filões, quase sempre fraturados, os sulfetos distribuem-se de maneira heterogênea, com porções praticamente estéreis e outras com sulfeto maciço (Borin Jr. *et al.* 1980). Pinto e Borin Jr. (1982) descrevem ainda raros veios, intensamente fraturados, de orientação praticamente E-W.

2. Depósitos estratiformes com ouro disseminado em rochas carbonatadas carbonosas e em folhelhos carbonosos (Tipo Carlin - EUA, ou Paracatu - Brasil), com posterior retrabalhamento em zonas de cisalhamento de baixo a alto ângulo (Tipo Le Chatelet - França). A conjugação destes dois modelos tipológicos explicaria parte das concentrações de ouro dos depósitos São Pedro (Unidade Piririca) e Morro do Ouro (Xisto Morro do Ouro - Formação Água Clara).

São filões de pequena possança, *boudins* e *ribbons* de quartzo, encaixados em rochas carbonosas de grau metamórfico fraco, com alteração hidrotermal das encaixantes na zona da carbonatação. A assembléia mineral deste minério, inclui ouro livre, pirita, arsenopirita e calcopirita.

Recentemente Lopes Jr. *et al.* (1995) descreveram para o depósito São Pedro um tipo de mineralização de ouro disseminado em metapelitos carbonosos miloníticos, geralmente ricos em quartzo (na forma de veios, *boudins*, *ribbons* e micrólitos) e com alteração hidrotermal nas zonas da carbonatação e sericitização. O ouro nestes depósitos ocorre na forma livre devido a oxidação de sulfetos, principalmente arsenopirita e galena, e a assembléia mineral inclui também pirita.

3. Depósitos estratiformes de ouro, associados a formações ferríferas com alteração hidrotermal na zona da carbonatação (Tipo Morro Velho - Brasil, ou Homestake - EUA). Parece corresponder ao minério limonítico do Morro do Ouro. A associação mineral neste tipo de minério inclui quartzo microcristalino, limonita, ouro nativo, pirrotita e calcopirita.

Sobre as características dos fluidos atuantes nos processos de mineralização aurífera, Nogueira (1990), estudando amostras de minério da região do Piririca, reconheceu em inclusões fluidas soluções aquosas, ricas em CO_2, com baixa salinidade e temperaturas de deposição entre 200 e 400°C. Concluiu que as soluções, de provável origem metamórfica, podem ter sido redutoras, relativamente alcalinas, e transportaram ouro na forma de tio-complexos com o enxofre. A precipitação do metal ocorre devido a alterações nas interrelações entre S, fO_2 e pH, quando da reação do fluido com a encaixante, facilitada pelas zonas de cisalhamento nos processos de lixiviação, transporte e canalização. Nos veios de quartzo sulfetados, o ouro associa-se a pirita e arsenopirita de geração precoce, preenchendo fraturas e cavidades, isolado ou associado a outro mineral (como calcopirita e bournita), e sua deposição segue temporalmente uma fase de brechação/milonitização dos sulfetos mais antigos.

Esses três modelos tipológicos representam, na realidade, transcrições gerais que pouco explicam o processo de concentração aurífera a partir das relações geológicas observadas na região.

Em um estudo comparativo entre diversas províncias metalogenéticas essencialmente auríferas, Phillips & Powell (1992) sugerem a associação deste tipo de mineralização a percolação de fluidos aquosos, ricos em CO_2 e de baixa salinidade, gerados em grandes volumes durante a devolatização metamórfica de seqüências máficas e/ou grauváquicas, sob condições de temperatura e pressão no limite entre as fácies xisto verde e anfibolito, ou grau fraco/grau médio metamórfico.

Estas condições metamórficas favoreceriam significativa liberação de H_2O e CO_2 a partir das assembléias mineralógicas dominadas por clorita, actinolita, albita, quartzo e calcita. Baixa salinidade das soluções, com a incorporação de pequenas quantidades de íons Cl^- em grandes volumes de fluido, e liberação de íons S^{2-} para a solução (na forma reduzida) favoreceria um aumento na solubilidade do ouro (em complexos moleculares com enxofre e hidrogênio). Estas soluções metamórficas tem como componentes maiores H, O, C, S, Au, K, Rb, As e Sb.

De uma maneira geral, interações entre fluido com estas características e as rochas encaixantes, sob condições de temperatura, atividade de CO_2 e O_2 mais baixas, culminam na deposição do ouro juntamente com calcita e pirita, quando, após um período de formação de calcita + pirita e carbonatação das encaixantes, a atividade de H_2S é reduzida suficientemente para tornar o líquido saturado em ouro. A deposição do ouro, ocorre sob temperaturas mais elevadas se a rocha encaixante tiver uma composição favorável para a formação da pirita e/ou calcita, como por exemplo assembléias minerais ricas em óxidos e silicatos de ferro e/ou carbonosas. Mas se a interação entre o fluido e as rochas encaixantes for prejudicada, por exemplo, pela deposição anterior de quartzo nos canais de percolação, a deposição do ouro ocorrerá com o abaixamento da temperatura. Alto gradiente geotérmico parece ser um importante fator de facilitação em ambos os processos.

Ainda segundo estes autores, variáveis proporções de fluidos magmáticos (caracteristicamente de mais alta salinidade) e/ou meteóricos podem estar envolvidas na composição total da solução, mas o papel dos fluidos metamórficos é considerado crítico na formação deste tipo de mineralização. A contribuição de fluidos magmáticos pode ser identificada pela presença secundária de Mo, Sr e Pb nas soluções, e apesar de não constituir uma condição necessária na formação dos depósitos auríferos, é muito estreita a relação entre um alto gradiente geotérmico, devolatização metamórfica e magmatismo.

Outra característica comum nos depósitos essencialmente auríferos é um forte controle estrutural, no geral correlacionado a zonas de cisalhamento maiores e suas estruturas de segunda e terceira ordem associadas, desenvolvidas principalmente na zona de transição entre os ambientes rúptil e dúctil.

É altamente sugestiva a correspondência entre as mineralizações auríferas epigenéticas do Vale do Ribeira com este modelo de devolatização metamórfica. As coincidências de características vão desde a predominância do ouro na assembléia de metais básicos, composição dos fluidos mineralizantes, carbonatação das encaixantes e caráter sulfetado das mineralizações até a estreita correlação com zonas de cisalhamento e possivelmente com evento termal e magmatismo associado.

No entanto, análises Pb-Pb em galenas de veios de quartzo mineralizados realizadas por Nogueira (1990) indicaram valores isotópicos compatíveis com uma origem crustal (modelo da plumbotectônica de Zartman & Doe 1981) há 1303 e 1270 M.a. (modelo Stacey & Kramers 1975), coincidentes com o intervalo aferido por Tassinari *et al.* (1990). Estes dados são incompatíveis com o plutonismo e metamorfismo neoproterozóicos, aos quais associam-se as zonas de cisalhamento. Além disso, as condições metamórficas na Unidade Piririca não chegaram a atingir o limite grau fraco/grau médio, onde seriam gerados maiores volumes de fluidos.

Estas relações direcionam para uma hipótese de concentração mineral em duas etapas:

1- geração e mobilização de fluidos, acompanhada de alteração, quando do vulcanismo ultrabásico (e básico?) paleo-mesoproterozóico. Neste período as mineralizações de chumbo devem ter tido maior importância, com solubilização e concentração locais e subordinadas de ouro (ouro como subproduto foi descrito nos depósitos de chumbo de Panelas e Rocha na Seqüência Furnas-Lageado - relatórios de pesquisa internos do DNPM). Nestes depósitos os corpos de minério ocorrem como veios e lentes, quase que exclusivamente quartzosos, com galena, pirita e elevados teores de prata.

2- uma segunda fase de geração de fluidos, acompanhada de alteração hidrotermal deve ter se dado no final do Neoproterozóico, a Unidade Piririca permanecendo sob condições térmicas próximas a 400°C no metamorfismo regional (abaixo da zona da biotita). O plutonismo granítico, tardio ao processo metamórfico, elevou o gradiente térmico local, produzindo assembléias minerais de metamorfismo de contato e pirrotita nos veios mineralizados. Essa elevação da temperatura poderia ter produzido devolatização local na unidade mineralizada, sem extensa mobilização de fluidos (segundo o modelo de Powell *et al.* 1991, para *greenstone belts* arqueanos, a geração de fusões parciais em profundidade e sob

temperaturas acima de 700°C seriam penecontemporâneas a devolatização das encaixantes supracrustais a temperaturas de aproximadamente 450-500°C).

Assim na região da Unidade Piririca o estabelecimento de alto gradiente geotérmico local, responsável por plutonismo e geração de fluidos nas encaixantes, contemporâneamente ao desenvolvimento de sistema de cisalhamento rúptil-dúctil, poderia explicar a gênese dos depósitos auríferos nesta região, remetendo-os a idades mais jovens que as estabelecidas anteriormente. É interessante notar que as duas amostras de galena estudadas por Nogueira (1990), posicionam-se no diagrama $^{206}Pb/^{204}Pb$ X $^{208}Pb/^{204}Pb$, de Zartman & Doe (1981), entre as curvas de evolução de chumbo orogênico e de crosta inferior, com idades mais jovens que as determinadas pelo modelo Stacey & Kramers (1975), uma delas próxima a 600 M.a..

5.1. TABELA DE OCORRÊNCIAS MINERAIS

Dados sobre as mineralizações auríferas e de outros minérios metálicos foram resgatados de Algarte & Hama (1984), Algarte *et al.* (1986), Borin & Ferrari (1986), Vasconcelos & Câmara (1995), além de consultas à listagem do PROSIG, ao protocolo e *overlays* do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), atualizados anualmente até 1994, que integraram uma tabela de ocorrências minerais que inclui nos seus campos os seguintes dados sobre as mineralizações: coordenadas UTM, número no DNPM, encaixante, unidade litoestratigráfica, idade da encaixante, morfologia, controle e idade da mineralização, alteração hidrotermal associada, ganga, elementos economicamente importantes, assembléia mineralógica, tipologia, *status* e outras observações. De um total de 127 ocorrências resgatadas (anexo 2), 114 são ocorrências de ouro, 76 de ouro primário e 38 de ouro aluvionar (figura 5.1).

MAPA DAS OCORRÊNCIAS DE OURO NA ÁREA ESTUDADA

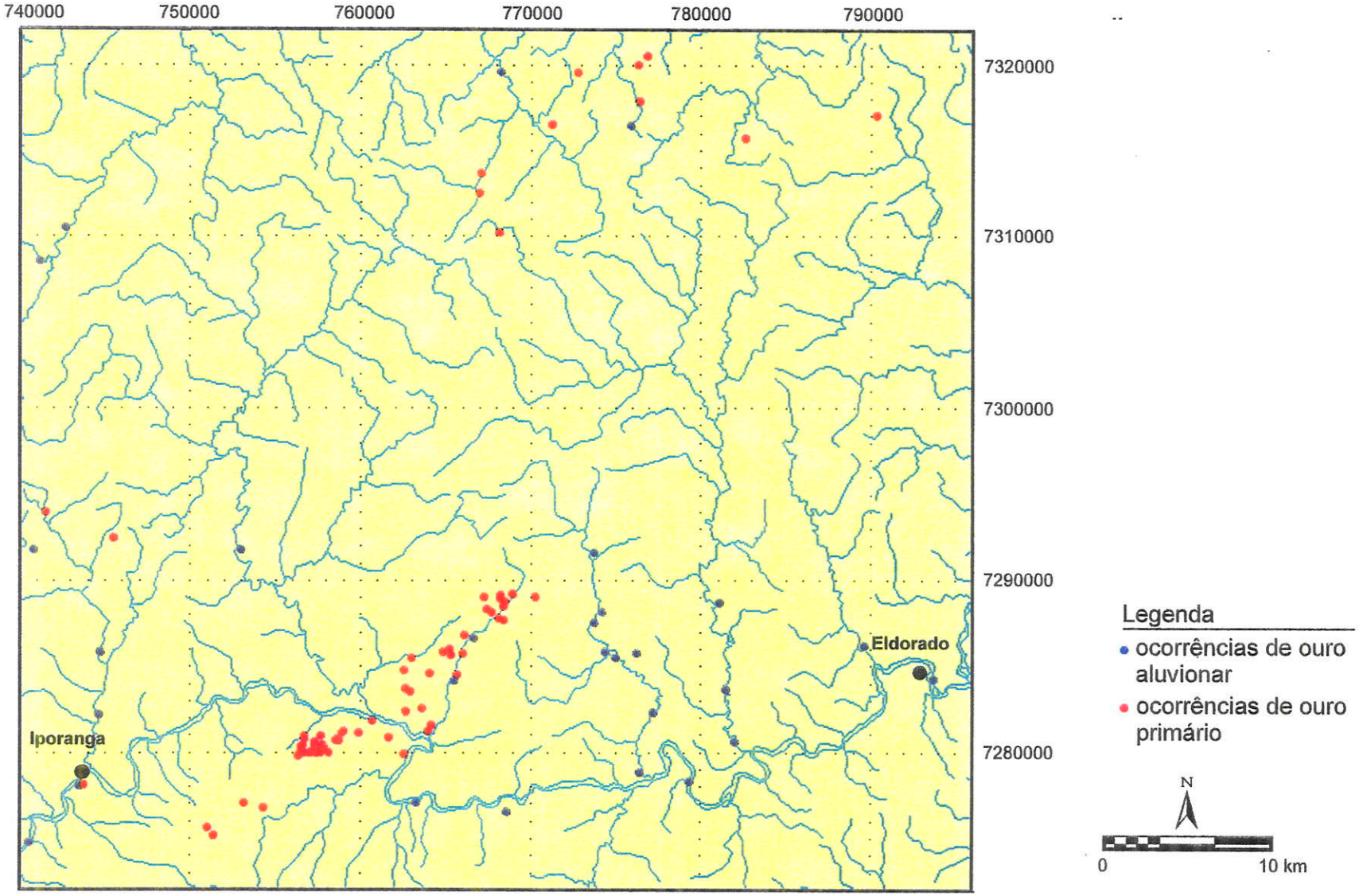


Figura 5.1. Mapa das ocorrências de ouro conhecidas na área de estudo.

6. GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE E CONCENTRADOS DE BATEIA

Os dados de geoquímica de sedimentos de corrente e concentrados de bateia utilizados foram recuperados da base SIGA (Sistema de Informações Geológicas do Brasil) da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e correspondem aos Projetos SUDELPA (Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975a, b), Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.* 1978), e Serra do Jabaquara (Alegri *et al.* 1980, Silva 1982), os dois primeiros de cunho regional.

O tratamento dos dados dos dois primeiros projetos seguiu o seguinte procedimento:

- a partir dos mapas de amostragem na escala 1:100.000 foram traçadas manualmente as bacias de captação correspondentes a cada amostra analisada. Estas bacias foram compiladas numa base única na escala 1:250.000 e comparadas com o mapa geológico regional, de mesma escala, com o objetivo de se separar três populações definidas pelos domínios litológicos e de prováveis comportamentos geoquímicos distintos. Uma população foi definida para as bacias que drenam rochas graníticas, outra para as que drenam metassedimentos terrígenos e com intercalações de metabásicas e uma última abrange as bacias que drenam as rochas metacalcárias e metassedimentos calcíferos.

Os resultados analíticos de cada população, oriundos de análises por espectrografia ótica de emissão semiquantitativas para trinta elementos no caso do Projeto SUDELPA, e de análises por absorção atômica para Pb, Co, Fe, Cu, Ni e Zn no caso do Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira, foram pesquisados qualitativamente antes de qualquer tratamento estatístico. Os resultados extremamente altos ou baixos, bem como aqueles com qualificadores foram separados e não sofreram tratamento.

A avaliação estatística a que estes dados foram submetidos foi do tipo univariado, feito com o auxílio dos programas *PROB*, *PTILES1* e *SUMEST* do Sistema estatístico *GEOQUANT*. Através deles foram executados testes de distribuição log-normal bem como definida a paisagem geoquímica de cada elemento (*background*, limiar e anomalia) para cada população.

Levando-se em consideração os métodos analíticos e a experiência adquirida pela CPRM em trabalhos de prospecção geoquímica de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira, foram definidas como anômalas aquelas bacias em que o elemento analisado possuía teores acima

do *percentil* de 95%. As tabelas 6.1 e 6.2 mostram os teores definidos como anômalos para cada elemento analisado nos projetos SUDELPA e Geoquímica no Vale do Ribeira.

Um tratamento estatístico semelhante, foi empregado na avaliação dos resultados analíticos de arsênio do Projeto Serra do Jabaquara (Alegri *et al.* 1980, Silva 1982), obtidos de análises por colorimetria e absorção atômica a geração de hidretos. Foram definidos como anômalos teores acima de 30 ppm.

elemento	Pop. metassedimentos	Pop. rochas carbonáticas	Pop. rochas granitóides
Fe (%)	12	9	14
Mg (%)	0,8	1,4	1,2
Ca (%)	0,7	1,4	1,7
Ti (%)	1,3	1,3	1,3
Mn (ppm)	5380	3000	2050
B (ppm)	200	200	150
Ba (ppm)	1000	1700	3850
Be (ppm)	2	3	3
Co (ppm)	60	36	25
Cr (ppm)	320	170	200
Cu (ppm)	110	100	30
La (ppm)	70	90	150
Ni (ppm)	100	60	40
Pb (ppm)	70	70	60
V (ppm)	268	180	190
Y (ppm)	43	40	48
Zr (ppm)	700	500	1400
Sc (ppm)	-	19	20
Sr (ppm)	-	650	1500
Nb (ppm)	-	-	15
Ag (ppm)*	> 0,5	-	-
Bi (ppm)*	> 10	> 10	> 10
Mo (ppm)*	> 5	> 5	> 5
Sn (ppm)*	> 10	> 10	> 10
Zn (ppm)*	> 200	> 200	> 200

Tabela 6.1. Limiares definidos como anômalos (*percentil > 95%*) para cada elemento analisado no levantamento geoquímico de sedimentos de corrente do Projeto Sudelpa (Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975 a, b). * Teores anômalos definidos qualitativamente. - dados insuficientes.

elemento	Pop. metassedimentos	Pop. rochas carbonáticas	Pop. rochas granitóides
Fe(%)	6	5,3	3,7
Cu (ppm)	80	65	28
Ni (ppm)	45	35	26
Zn (ppm)	150	130	75
Mn (ppm)*	4000	2400	1400
Pb (ppm)*	50	50	40
Co (ppm)*	-	55	-

Tabela 6.2. Limiares definidos como anômalos (*percentil > 95%*) para cada elemento analisado no levantamento geoquímico de sedimentos de corrente do Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.* 1978). * Teores anômalos definidos qualitativamente. - Dados insuficientes.

Os dados analíticos de amostragem de concentrados de bateia do Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira foram analisados qualitativamente apenas para o elemento Au.

Os dados dos Projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu e Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional (IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - 1983, 1985) também foram utilizados. Estes têm amostragem na escala 1:50.000 e análises semiquantitativas por espectrografia ótica de emissão para trinta elementos. Cobrem duas áreas localizadas a sudoeste e noroeste da área de estudo. Seus resultados analíticos foram tratados no *GEOQUANT*, de maneira semelhante ao descrito acima, analisando-se separadamente as bacias de captação de cada folha topográfica, sem discriminação por domínios litológicos, devido a sua cobertura local. A tabela 6.3 traz os valores utilizados como limiares na definição dos teores anômalos apenas para os elementos que guardam alguma correlação com o ouro.

elemento	Folhas Braço e Iporanga	Folha Guapiara	Folha Capão Bonito
Fe(%)	9	9	9
Cu (ppm)	90	90	90
Ni (ppm)	65	45	70
Zn (ppm)	180	80	-
As (ppm)*	60	17	-
Pb (ppm)*	75	55	60
Cr (ppm)*	150	100	150

Tabela 6.3. Limiares definidos como anômalos (*percentil* > *95%*) para cada elemento analisado no levantamento geoquímico de sedimentos de corrente dos Projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu e Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional (IPT 1983, 1985). * Teores anômalos definidos qualitativamente. - Dados ausentes.

7. MÉTODOS DE ENTRADA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

7.1. ENTRADA DE DADOS

7.1.1. Mapa geológico

O mapa geológico compilado da área de estudo foi digitalizado em plataforma *MAXI-CAD*, gerando um arquivo vetorial de polígonos em que os diversos níveis correspondem às unidades litológicas. O programa *MAXI-CAD* permite que os arquivos produzidos sejam georreferenciados em termos de coordenadas UTM. Outros arquivos vetoriais digitalizados são os de linhas correspondentes aos diques básicos mapeados, e às estruturas lineares, isto é, falhas, fraturas, zonas de cisalhamento dúcteis e rúpteis e traços axiais de dobras. Todos estes arquivos vetoriais saem do *MAXI-CAD* como arquivos seqüenciais (extensão *SEQ*) e são transformados no Programa *CONVERTE*, desenvolvido pela CPRM, para o formato de importação do *SPANS-GIS* (extensões *VEC* e *VEH*).

7.1.2. Bacias de captação das amostras de geoquímica de sedimento de corrente

Os dados de geoquímica de sedimentos de corrente dos Projetos SUDELPA e Geoquímica no Vale do Ribeira e de concentrados de bateia (do último) foram introduzidos na área de estudo do *SPANS-GIS* segundo o procedimento descrito a seguir.

As bacias de captação traçadas na base 1:250.000 foram digitalizadas no Programa *MAXI-CAD* como arquivos vetoriais de polígonos dispostos em um único nível. No programa *CONVERTE* os arquivos seqüenciais (extensão *SEQ*) gerados foram transformados para o formato *AUTO-CAD* (extensão *DXF*) e importados para o Programa *COREL-DRAW*. Neste programa foram gerados arquivos do tipo *Bitmaps* (extensão *TIF*) correspondentes às bacias anômalas para cada elemento e ainda dois arquivos que continham todas as bacias analisadas que geraram os mapas de cobertura dos projetos. Estes arquivos *TIF* foram exportados para o Programa *IDRISI*, georreferenciados e exportados no formato *ERDAS 7.4* para serem transformados na rotina de importação do *SPANS-GIS* em arquivos *raster* de importação (extensões *RNL* e *RNH*).

No caso do elemento Au, analisado somente em concentrados de bateia, o mapa de anomalias incluiu também a bacia do rio Pedro Cubas, já que contém uma série de garimpos e depósitos secundários.

O procedimento para incorporação dos dados geoquímicos dos Projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu e Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional (IPT - Pró-Minério), diferiu do anterior, já que as bacias de captação delimitadas para cada amostra analisada foram digitalizadas no *MAXI-CAD* em arquivos vetoriais de polígonos, correspondentes a cada folha topográfica, mas em níveis distintos, isto é, a cada bacia foi atribuído um nível de digitalização. Desta forma, apesar de mais trabalhosa a digitalização, a importação para o *SPANS-GIS* foi direta, transformando-se através do *CONVERTE*, os arquivos seqüenciais em arquivos vetoriais no formato de importação do *SPANS-GIS* (extensões *VEC* e *VEH*). Notou-se uma maior precisão nos mapas gerados a partir deste procedimento.

7.1.3. Tabelas

A tabela de ocorrências minerais (anexo 2) foi digitada em planilha *Dbase*, com saída na forma de texto (extensão *TXT*), com campos numéricos separados por espaços brancos e campos de caracteres separados por vírgulas e de forma a conter as coordenadas UTM de longitude e latitude nos dois primeiros campos. Foram então editadas num editor de texto substituindo-se as vírgulas por aspas simples e gravadas com a extensão *PNT*. No Programa *SPANS-GIS* são obtidas as coordenadas geográficas dos pontos em graus de latitude e longitude e a seguir programa utilitário do *SPANS-GIS* (*PNTBA*) vai proceder a transformação da tabela para o formato de importação (extensão *TBA*).

As tabelas de resultados analíticos de geoquímica de sedimento de corrente, originalmente digitadas no formato *GEOQUANT* (extensão *CHR*) são transformadas para o formato de importação do *SPANS-GIS* (extensão *TBA*) diretamente através do Programa *CONVERTE*.

7.1.4. Produtos do processamento digital de imagens de satélite

A interpretação visual das imagens produzidas no processamento digital de imagens de satélite gerou um mapa de lineamentos de diversas categorias definidas pelos diferentes sistemas de cisalhamento. Este foi digitalizado no *MAXI-CAD* segundo níveis correspondentes

a cada categoria de estruturas. A transformação do arquivo seqüencial produzido para o formato de importação do *SPANS-GIS* é feito diretamente pelo programa *CONVERTE*.

7.1.5. Imagens Aerogeofísicas

Os *grids* aerogeofísicos de gamaespectrometria foram transformados em arquivos no formato *raster* com extensão *RNL*, através de rotina incorporada no *Mainframe* da CPRM, e para cada um deles foi editado um arquivo cabeçalho (extensão *RNH*) segundo o formato do exigido pelo *SPANS-GIS*. Nesta transformação os valores originais são reescalonados para o intervalo (0-255). O *grid* magnético produzido no programa *GEOSOFT* foi importado no formato *TIFF*.

Este *grid* foi também interpretado visualmente, extraindo-se os lineamentos magnéticos de direção NE-SW que posteriormente foram digitalizados no *MAXI-CAD* e transformados no *CONVERTE* para o formato *VEC/VEH* de importação para o *SPANS-GIS*.

7.2. IMPORTAÇÃO DOS DADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Definidos os parâmetros geográficos da área de estudo no *SPANS-GIS*, o que foi feito a partir de um arquivo vetorial com as quatro coordenadas limítrofes da área, com base no elipsóide de Clarke (1866), os dados preparados para importação devem ser incorporados a ela. Esta importação tem o objetivo de transformar os dados de formato *ascii* no formato binário compatível com este SIG.

Os dados *raster* (extensão *RNL* e cabeçalho *RNH*) são transformados em arquivos no formato mapa (extensão *MAP*). Esta transformação é feita com base numa estrutura matricial do tipo *quad-tree* (Ebdon 1992), cuja resolução, é definida por $A / 4^n$ onde A é a área total e n é o fator *quad-tree*, um número inteiro entre 1 e 15 definido pelo usuário. No presente estudo utilizou-se um fator *quad-tree* 12, que corresponde a uma resolução de aproximadamente 167 m.

Os mapas aerogeofísicos de gamaespectrometria construídos através deste procedimento possuem 256 tons de cores visualizadas em palheta progressiva que vai do azul ao magenta, passando por tons de verde, amarelo e vermelho e que acompanham a seqüência ascendente de valores. Já o mapa aerogeofísico de magnetometria (tema campo total) é visualizado de forma mais satisfatória numa palheta de tons de cinza.

Os dados vetoriais de polígonos (extensão *VEC* e cabeçalho *VEH*) são também transformados em mapas, com a mesma resolução.

Os dados vetoriais de linhas (extensões *VEC/VEH*) são transformados em vetores binários de extensões *TOP/VTX*, e podem ser visualizados separadamente ou sobre qualquer mapa.

As tabelas de pontos com atributos (ocorrências minerais e dados geoquímicos), originalmente em formato *ascii* (extensão *TBA*) são transformadas no formato binário (*TBB*). Seus pontos podem ser visualizados sobre mapas ou separadamente.

7.2.1 Transformação de dados

Além do mapa geológico, mapas aerogeofísicos e mapas de anomalias geoquímicas, que serão analisados e combinados na busca de evidências favoráveis à mineralização aurífera, outros mapas foram produzidos a partir dos dados vetoriais lineares. Isto se deve ao fato de que no *SPANS-GIS* os dados são modelados principalmente quando estão na forma de mapas. Os vetores lineares geram mapas de isodistâncias (ou *buffers*) a partir das linhas, e permitem que sejam analisadas as potencialidades destas áreas de proximidade. Mapas de isodistâncias a partir de zonas de cisalhamento mapeadas, lineamentos estruturais fotointerpretados, lineamentos magnéticos e contatos das metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca e possíveis correlatas estão expostos nas figuras 7.1 a 7.6.

Para facilitar a discriminação dos padrões radiométricos distintos as imagens gamaespectrométricas de 256 classes foram reclassificadas para 26 intervalos com seus limites (x) determinados estatisticamente segundo a fórmula: $x = m +/- n * dp/4$, onde m é a média geométrica da imagem, dp é o desvio padrão e n é um número inteiro que varia de 1 até um valor tal em que x esteja dentro do intervalo entre 0 e 255 (figuras 3.2 a 3.8).

Após a geração dos mapas de anomalias geoquímicas em sedimentos de corrente, de cada elemento, e para cada levantamento utilizado, que envolvem, além das bacias anômalas, a área de cobertura total do projeto, alguns procedimentos e critérios foram estabelecidos para construção dos mapas geoquímicos finais.

Os mapas referentes aos projetos Sudelpa (Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975a, b) e Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.* 1978), que constam de várias bacias coincidentes, foram combinados, de forma que as bacias definidas como anômalas em ambos receberam a hierarquia de classe 2, e as áreas amostradas e não anômalas receberam a classe 1. Quando a mesma bacia, analisada nos dois projetos para um mesmo elemento

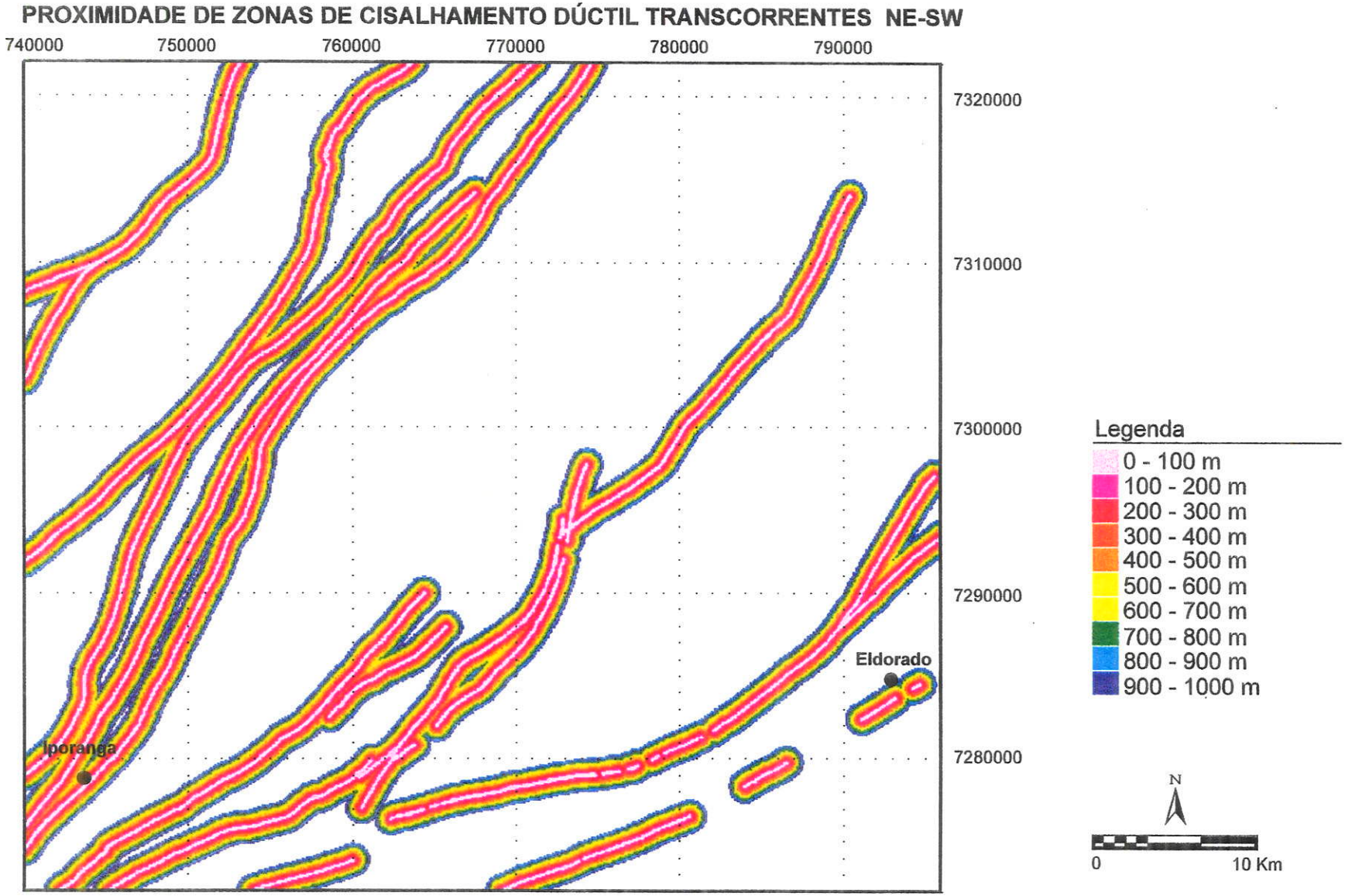


Figura 7.1. Mapa de isodistâncias a partir de zonas de cisalhamento dúctil transcorrentes mapeadas. (ver mapa geológico-anexo 1)

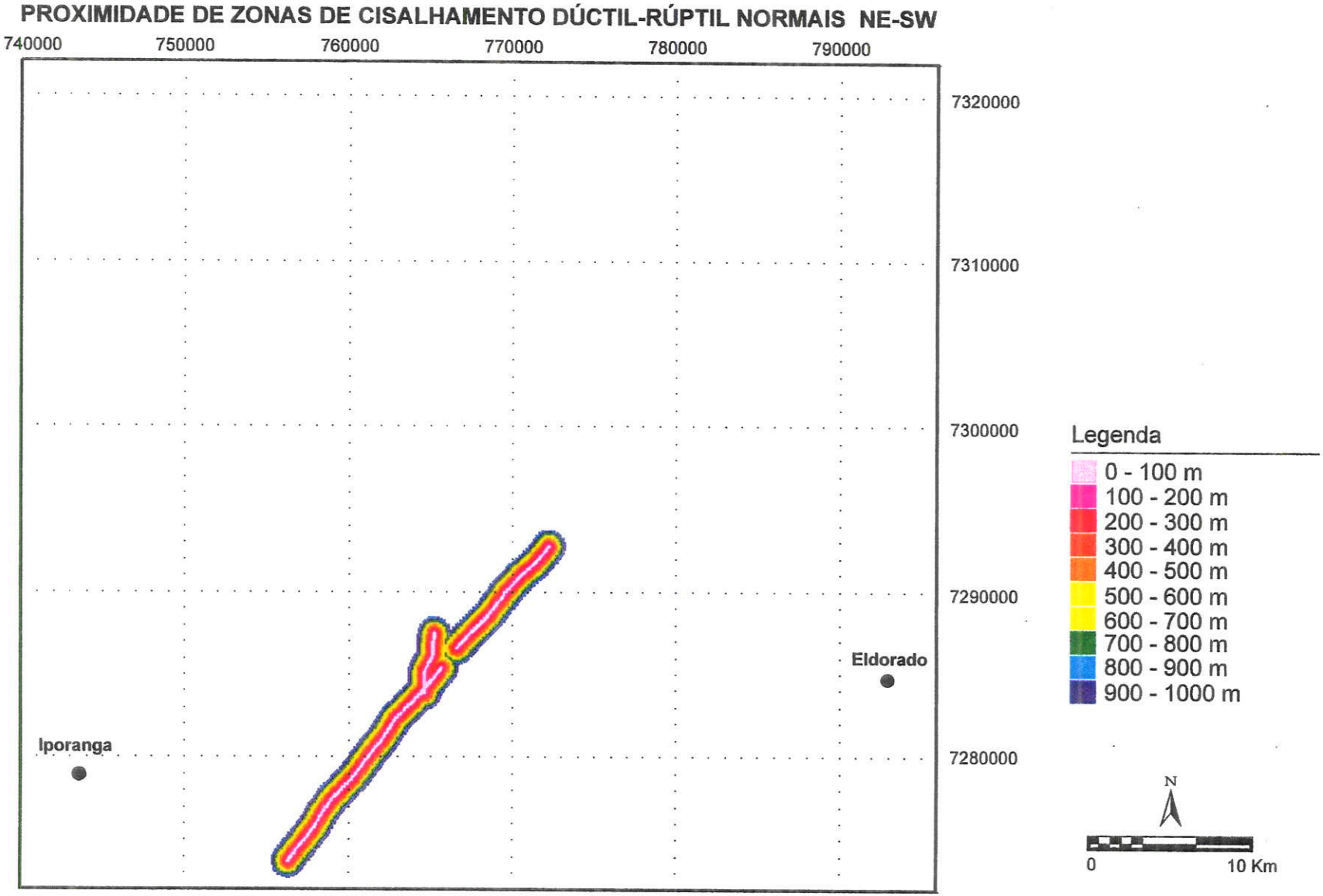


Figura 7.2. Mapa de isodistâncias a partir de zonas de cisalhamento dúctil-rúptil normais mapeadas. (ver mapa geológico-anexo 1)

PROXIMIDADE DOS LINEAMENTOS RÚPTIL-DÚCTEIS E-W E N45-50E FOTOINTERPRETADOS

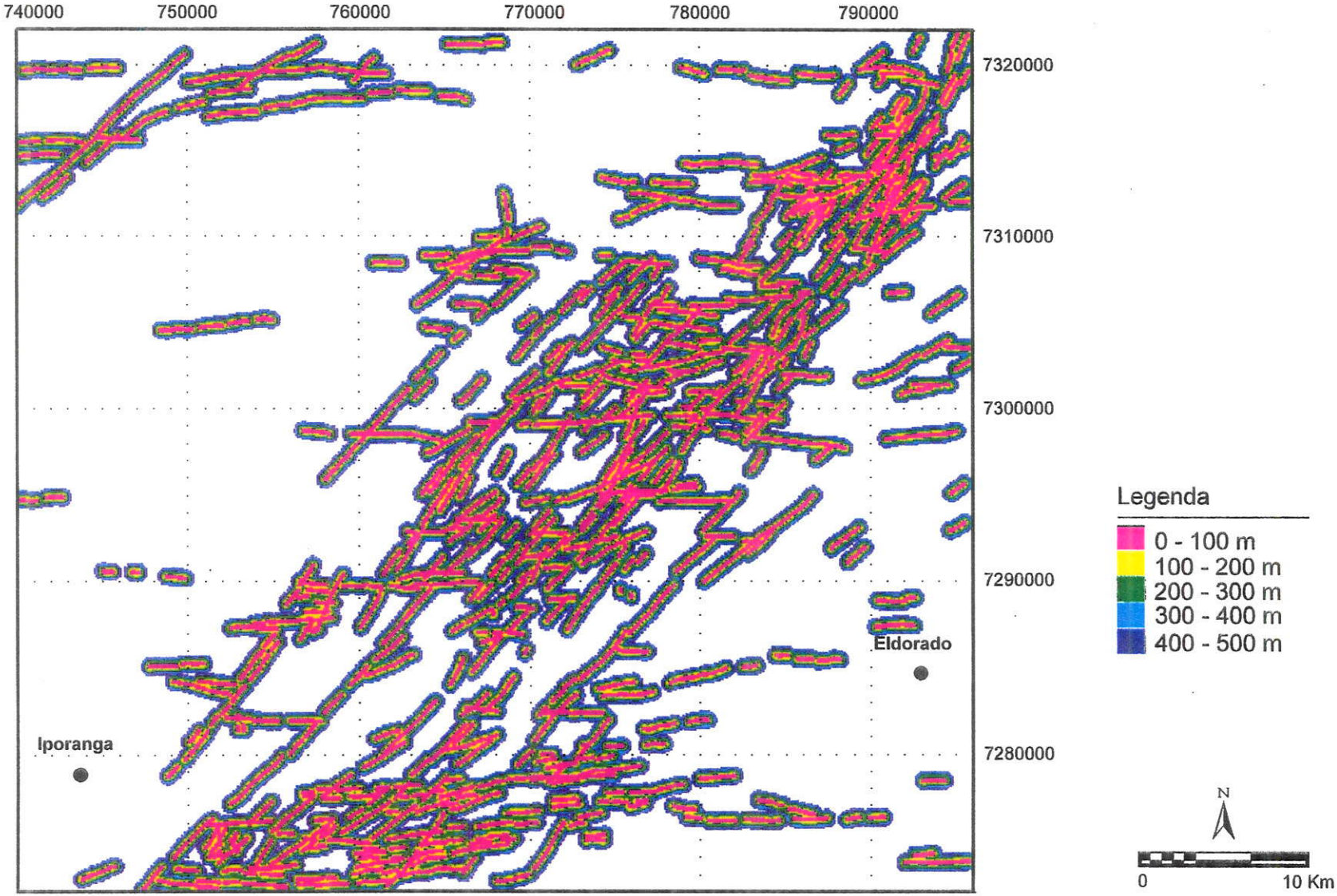


Figura 7.3. Mapa de isodistâncias a partir de estruturas lineares rúptil-dúcteis E-W e N45-50E fotointerpretadas de imagens do satélite LANDSAT-TM5, submetidas a processamento digital.

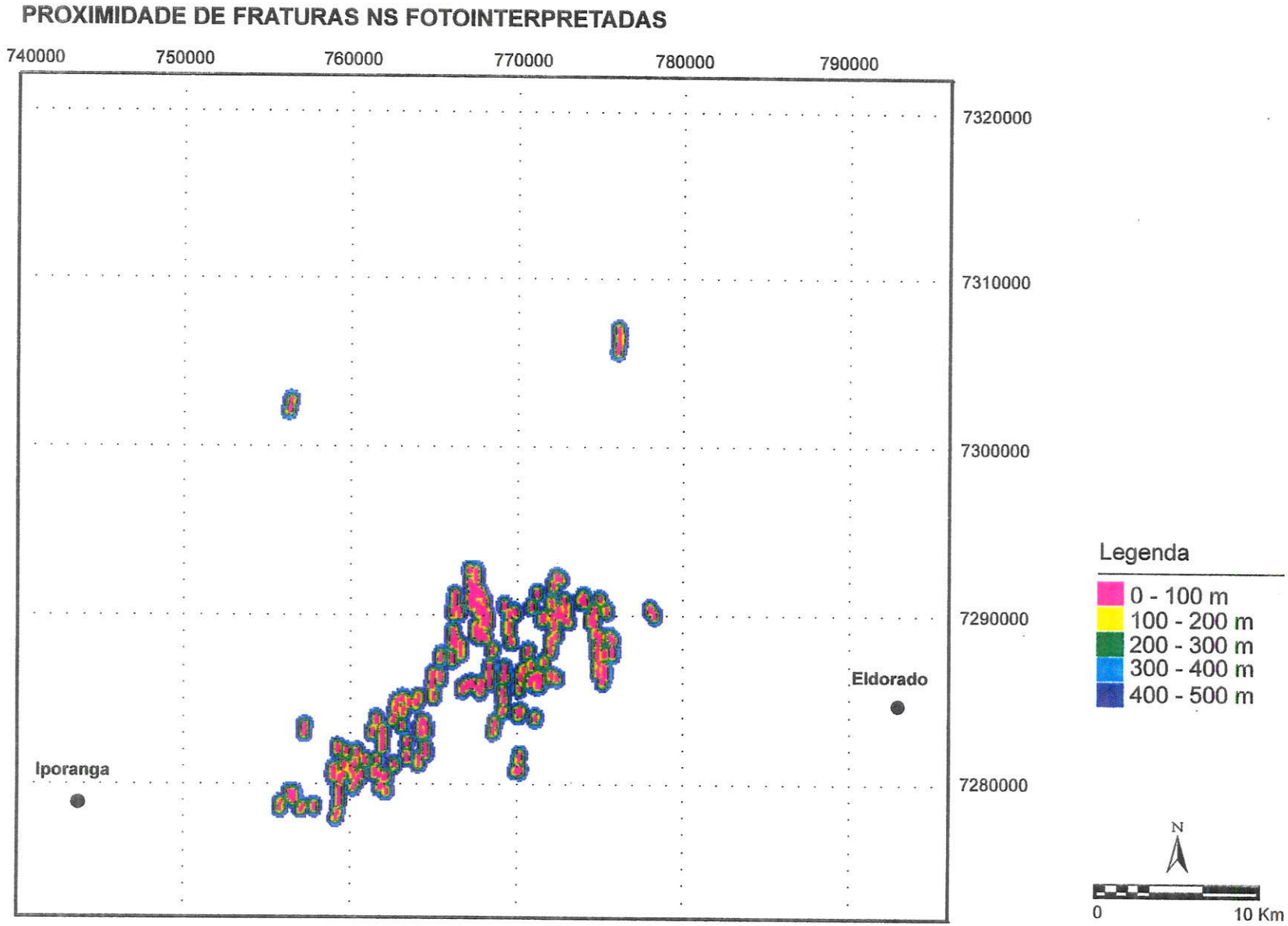


Figura 7.4. Isodistâncias a partir de fraturas de direção NS, fotointerpretadas de imagens do satélite LANSDSAT-TM5 submetidas a processamento digital.

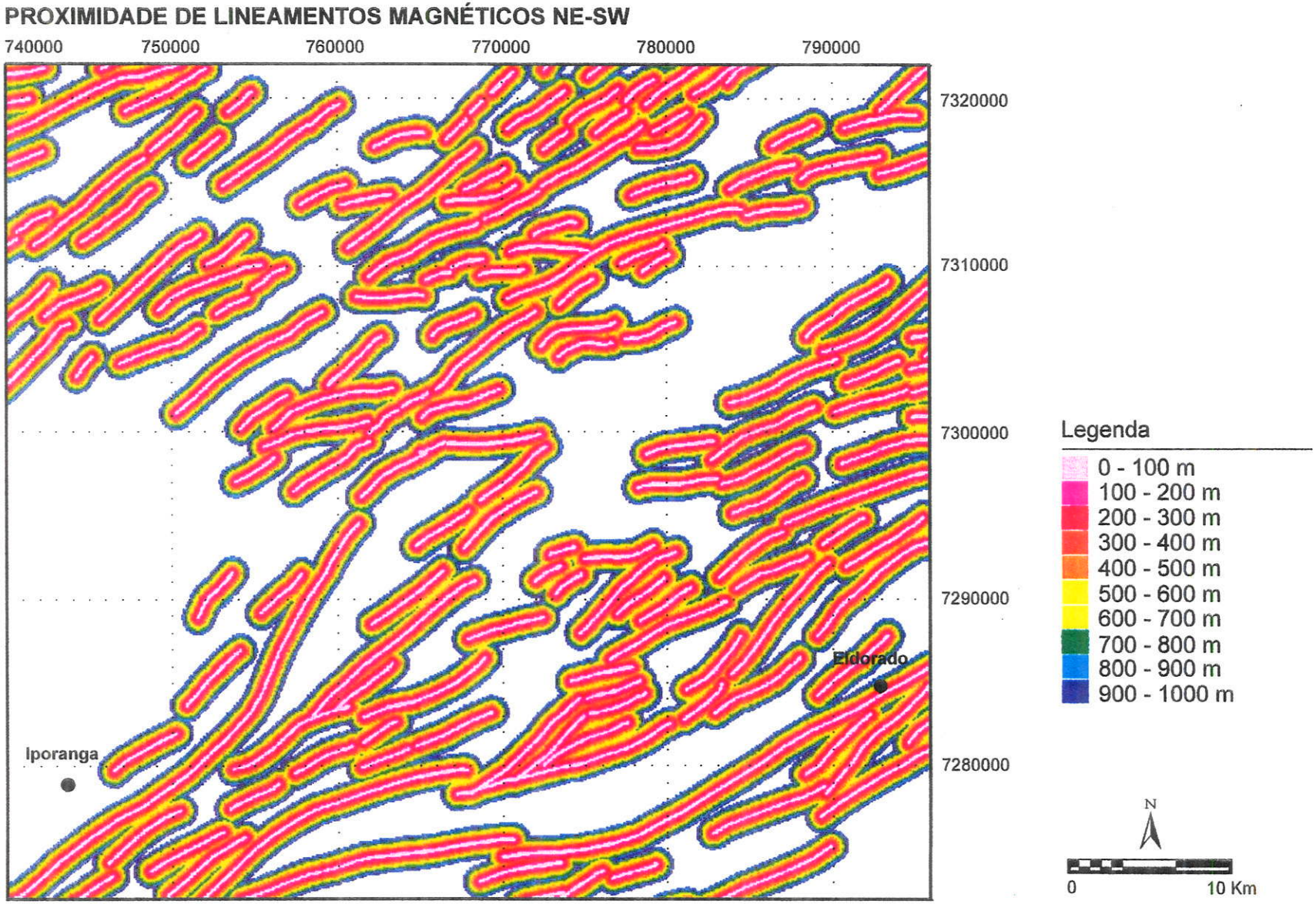


Figura 7.5. Mapa de isodistâncias a partir de lineamentos magnéticos de orientação NE traçados a partir da imagem aeromagnetométrica da figura 3.1.

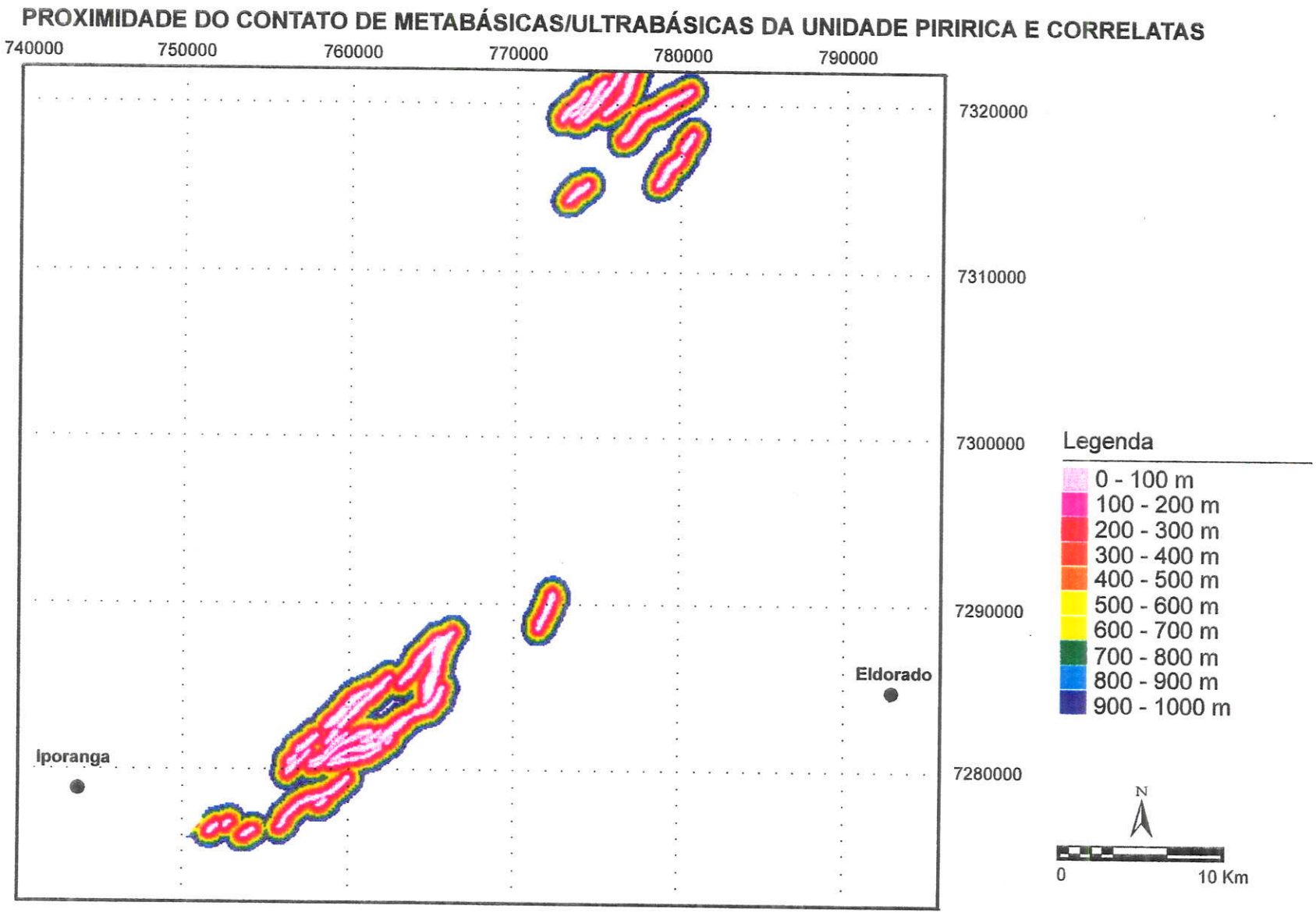


Figura 7.6. Mapa de isodistâncias a partir do contato de rochas metabásicas/metaultrabásicas da Unidade Piririca e prováveis correlatas.

resultava anômala em um e não no outro, deu-se prioridade aos resultados do Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira (com análises mais precisas por absorção atômica).

As bacias anômalas detectadas nos projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu e Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional (IPT 1983, 1985), que não constam de áreas coincidentes, constituíram para cada elemento um mapa único, que traz na classe 1 a área total de cobertura destes projetos, e na classe 2 as bacias anômalas.

Como vastas bacias amostradas em escala regional pela CPRM podem congregar várias bacias menos extensas amostradas em escala de semidetalhe pelo IPT, considerou-se como anômalas, no caso deste tipo de coincidência, somente as áreas menores.

São apresentados a seguir os mapas de anomalias geoquímcas dos elementos que no decorrer da análise revelaram-se como potenciais farejadores do ouro. Os mapas finais dos elementos cobre, cromo, chumbo, ferro e níquel que combinam os dados da CPRM e do IPT, são mostrados nas figuras 7.7 a 7.11.

No mapa de anomalias de arsênio, figura 7.12, combinam-se os dados dos projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu (IPT 1983) e Serra do Jabaquara (Silva 1982).

O mapa de anomalias de prata, elemento analisado somente no Projeto SUDELPA, e o mapa de anomalias de ouro em concentrados de bateia (analisados no Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira), incluindo a bacia do rio Pedro Cubas, são mostrados respectivamente, nas figuras 7.13 e 7.14.

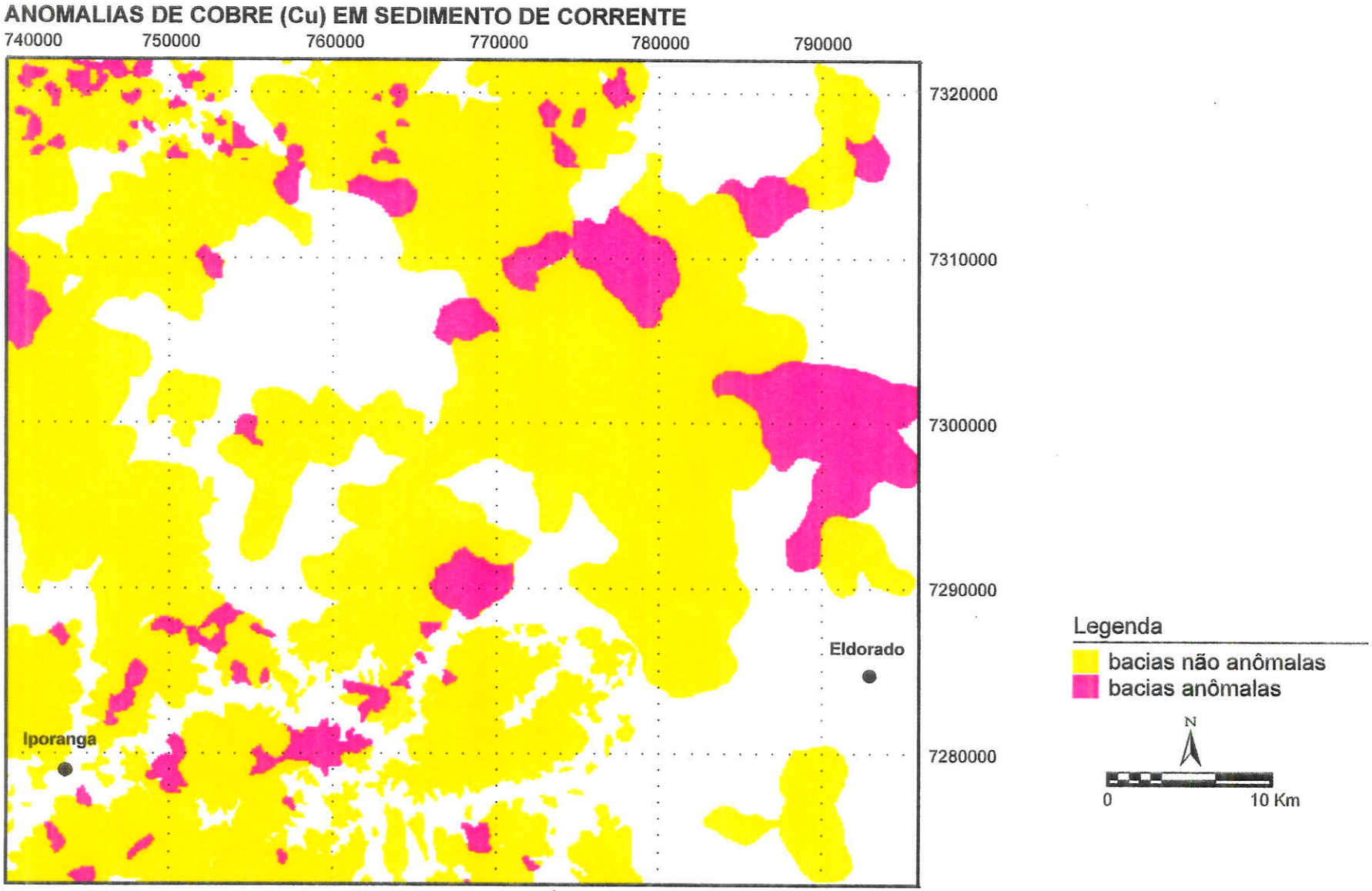


Figura 7.7. Bacias de captação anômalas em cobre. Área de cobertura dos Projetos: Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu; Seleção e Priorização de Alvos de Geoquímica Regional (IPT-PROMINÉRIO); SUDELPA e Geoquímica Regional no Vale do Ribeira (CPRM).

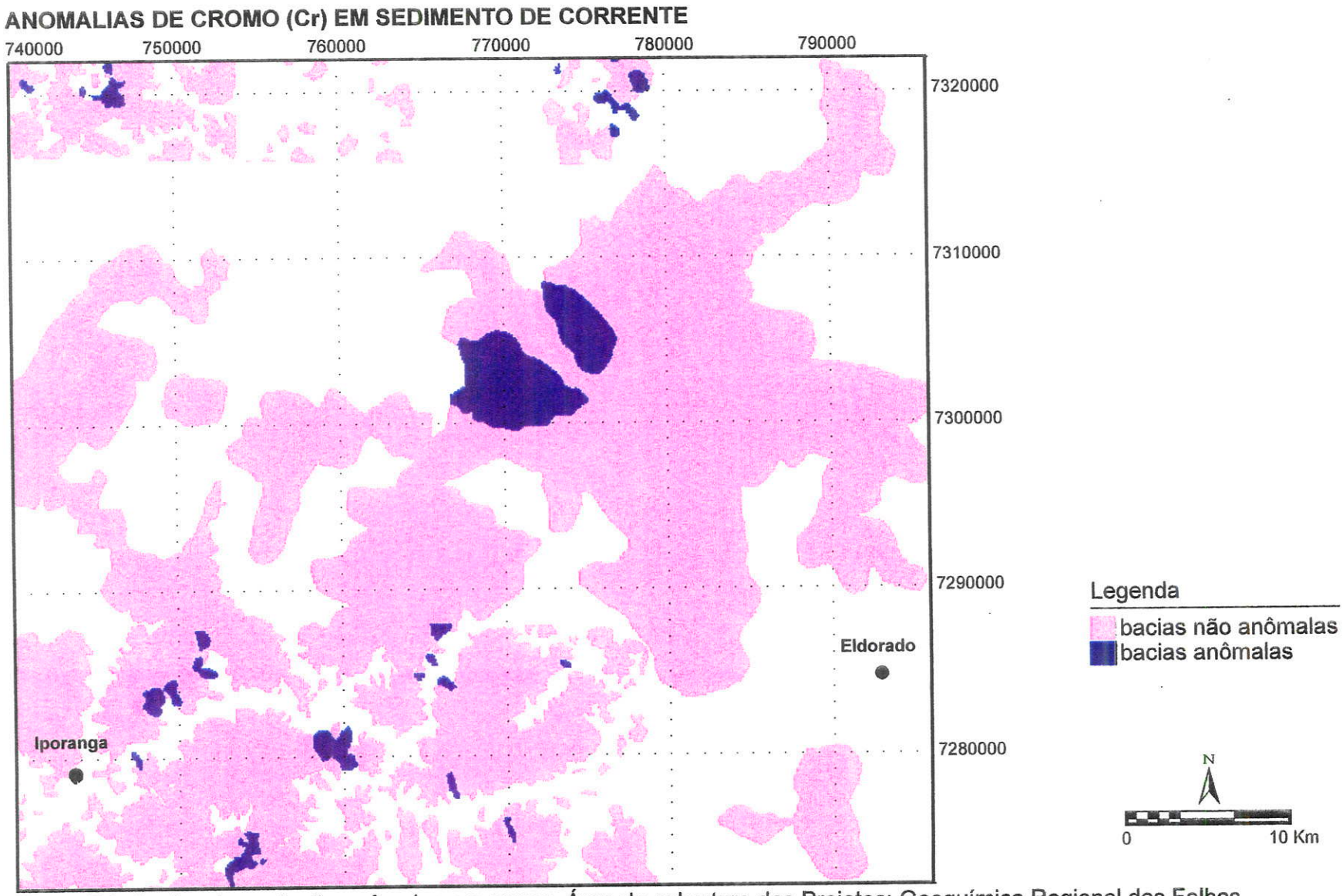


Figura 7.8. Bacias de captação anômalas em cromo. Área de cobertura dos Projetos: Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu; Seleção e Priorização de Alvos de Geoquímica Regional (IPT-PROMINÉRIO); SUDELPA (CPRM).

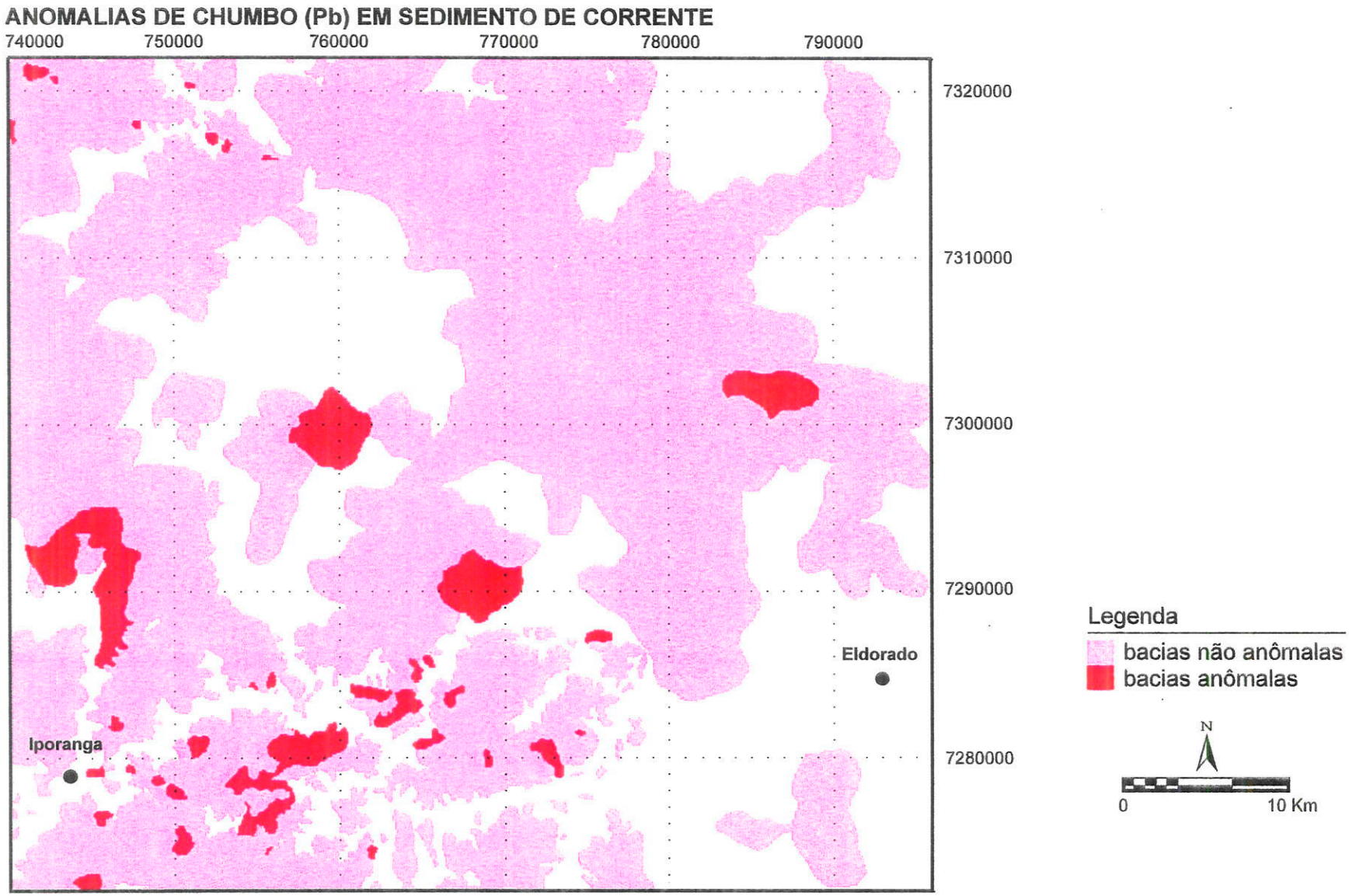


Figura 7.9. Bacias de captação anômalas em chumbo. Área de cobertura dos Projetos: Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu; Seleção e Priorização de Alvos de Geoquímica Regional (IPT-PROMINÉRIO); SUDELPA e Geoquímica Regional no Vale do Ribeira (CPRM).

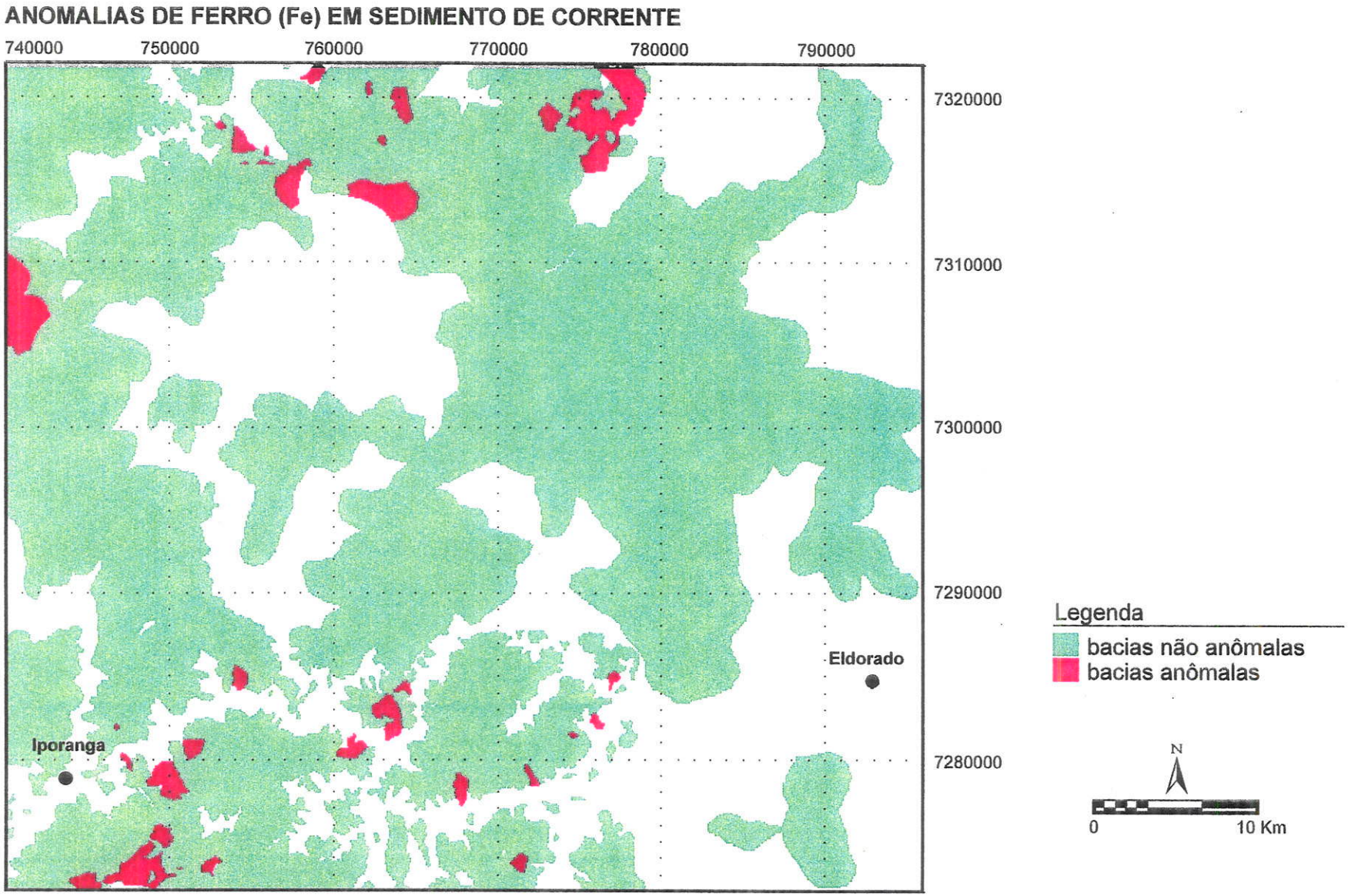


Figura 7.10. Bacias de captação anômalas em ferro. Área de cobertura dos Projetos: Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu e Prorização de Alvos de Geoquímica Regional (IPT-PROMINÉRIO); SUDELPA e Geoquímica Regional no Vale do Ribeira (CPRM).

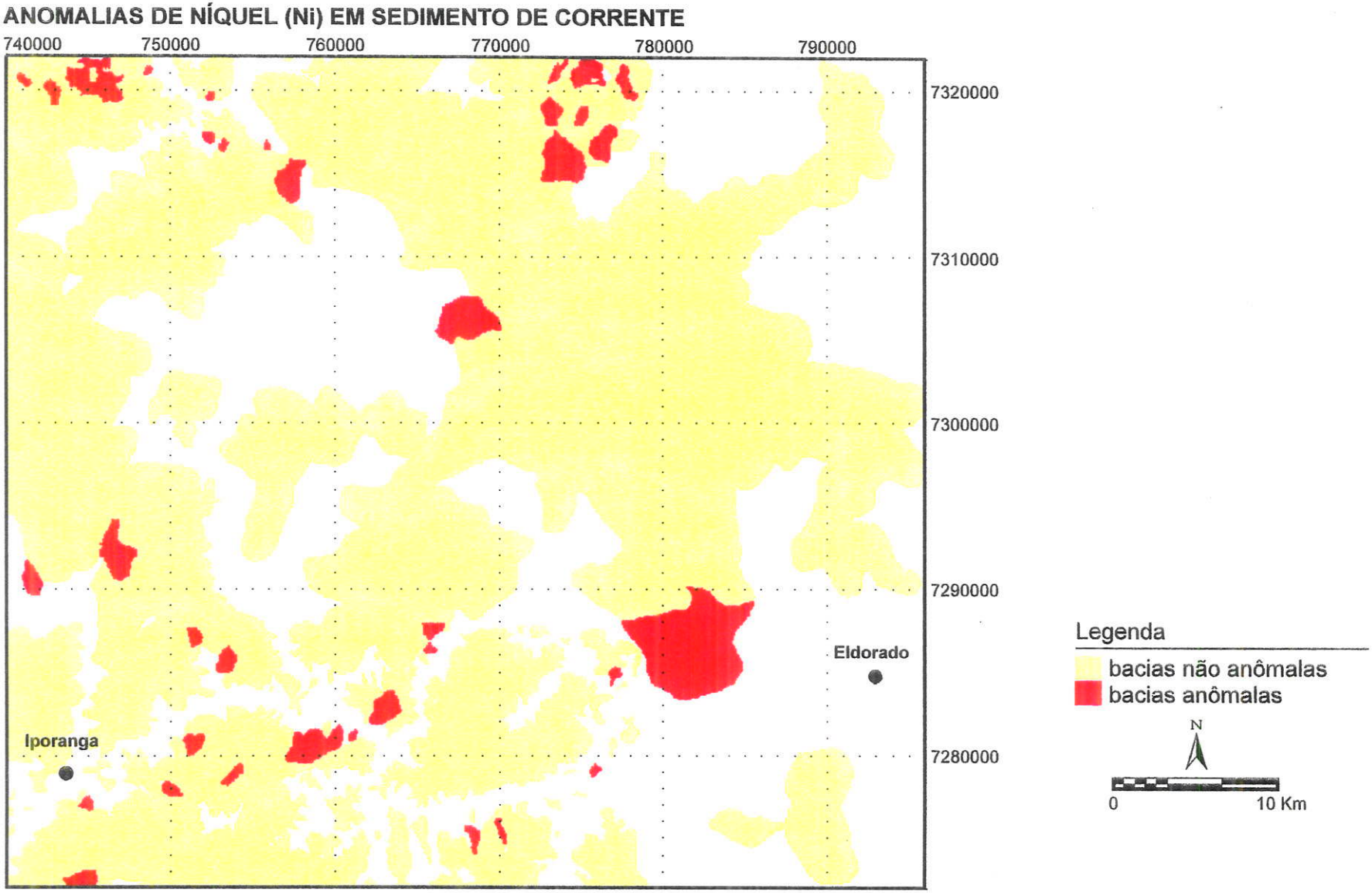


Figura 7.11. Bacias de captação anômalas em níquel. Área de cobertura dos Projetos: Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu; Seleção e Priorização de Alvos de Geoquímica Regional (IPT-PROMINÉRIO); SUDELPA e Geoquímica Regional no Vale do Ribeira (CPRM).

ANOMALIAS DE ARSÊNIO (As) EM SEDIMENTO DE CORRENTE

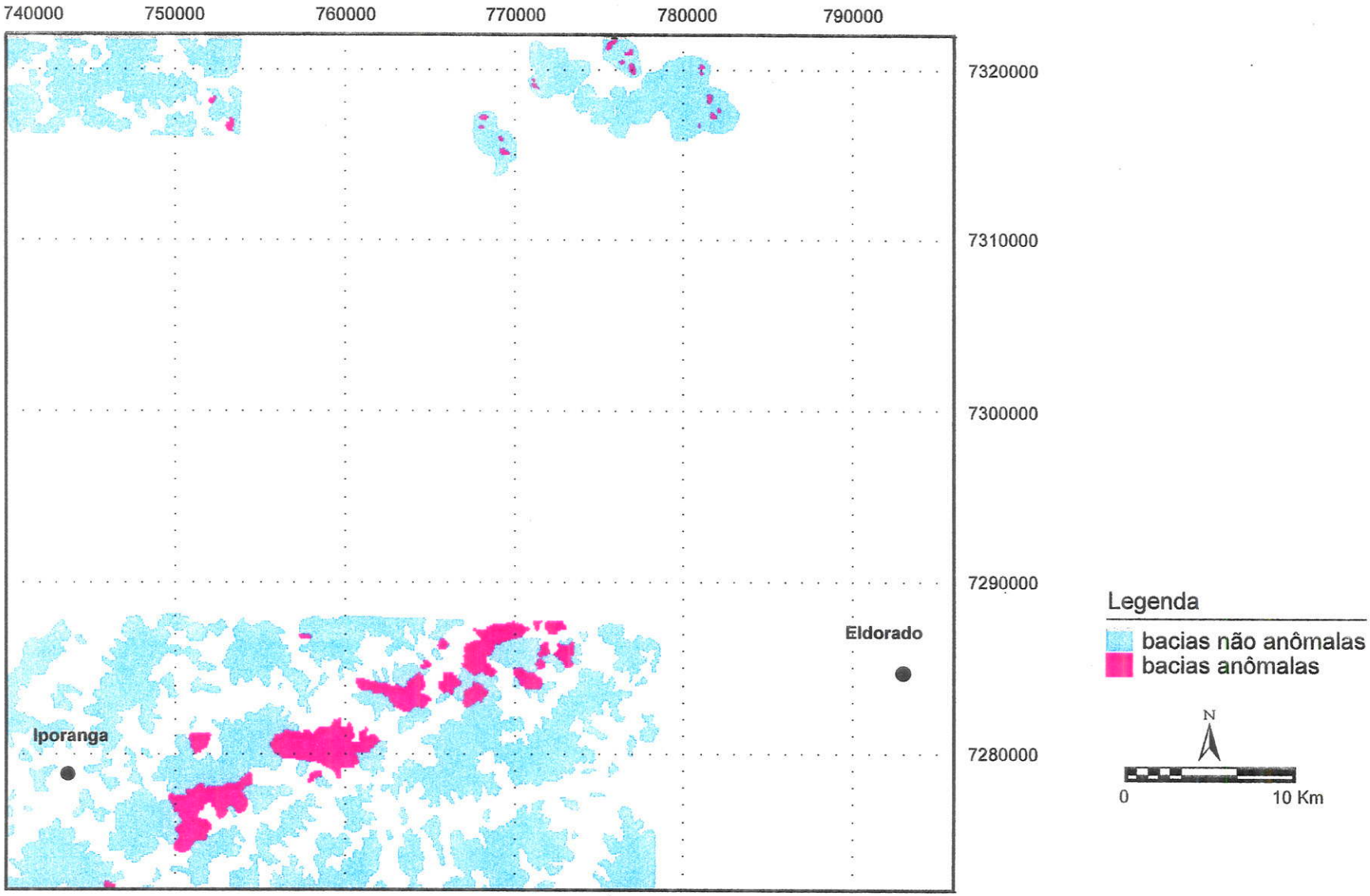


Figura 7.12. Bacias de captação anômalas em arsênio. Área de cobertura: Projeto Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba e Barra do Chapéu (IPT-PROMINÉRIO) e Projeto Serra do Jabaquara (CPRM).

ANOMALIAS DE PRATA (Ag) EM SEDIMENTO DE CORRENTE

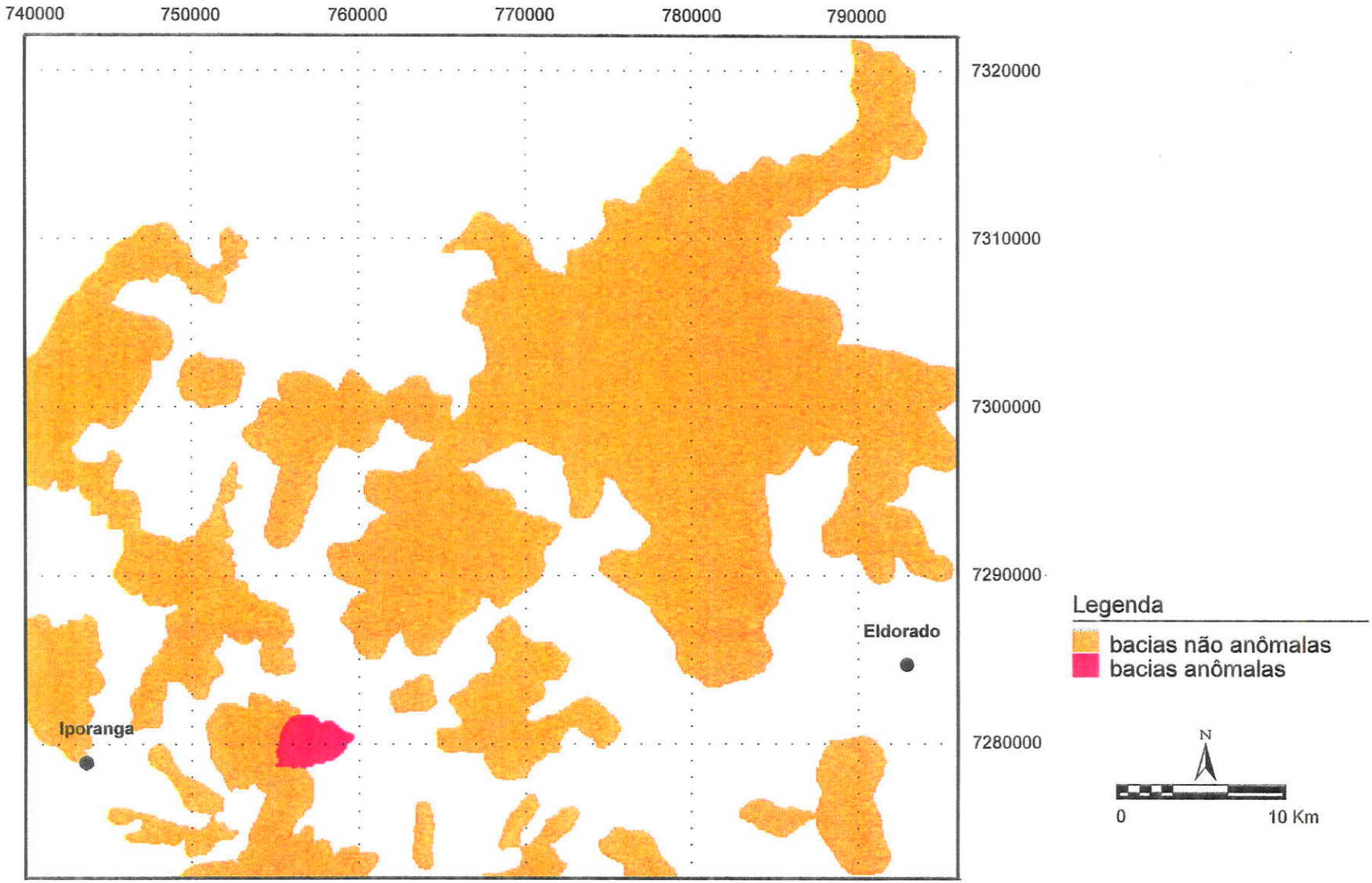


Figura 7.13. Bacias de captação anômalas em prata.Área de cobertura do Projeto Sudelpa.

ANOMALIAS DE OURO (Au) EM CONCENTRADO DE BATEIA

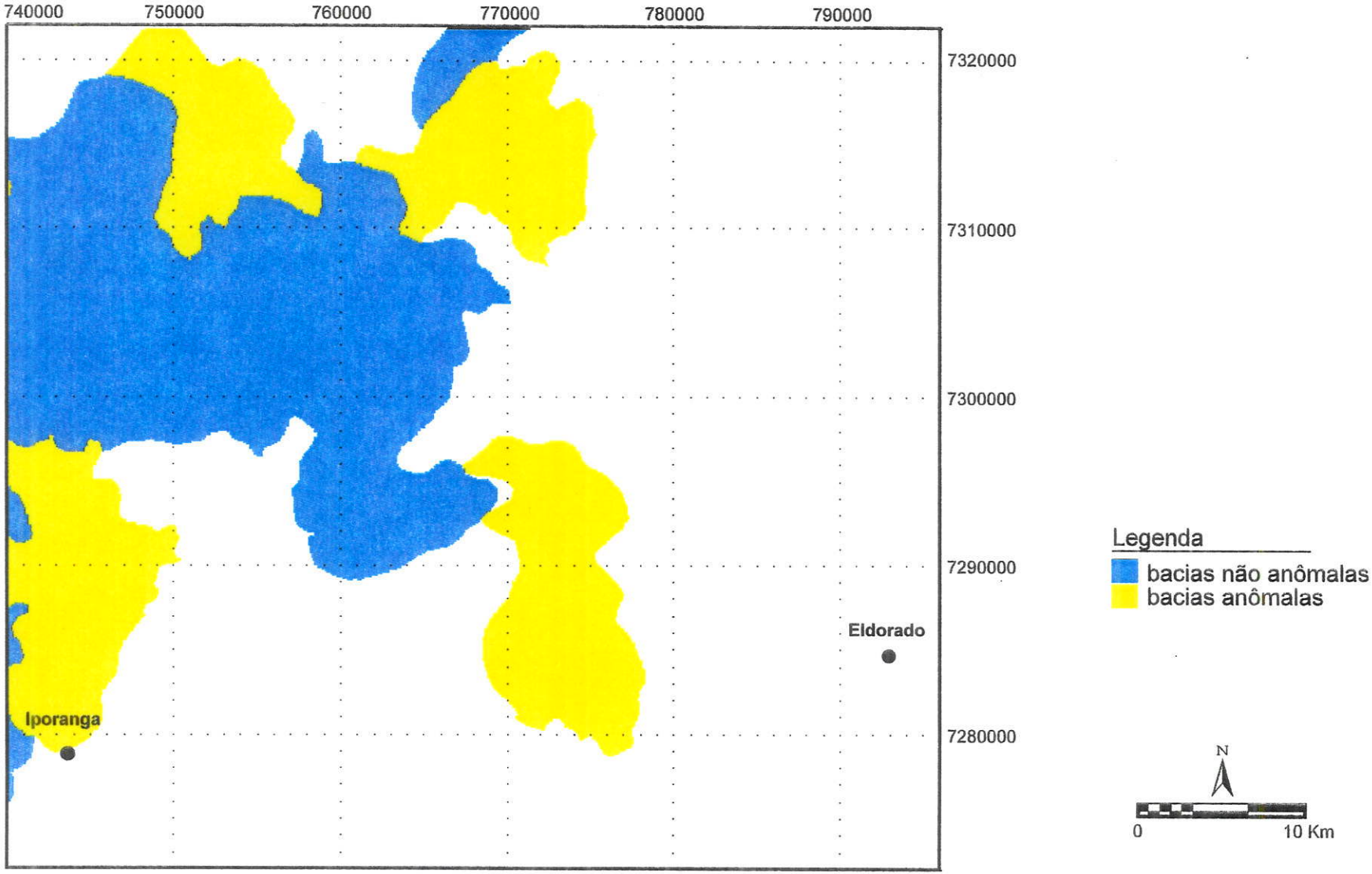


Figura 7.14. Bacias de captação anômalas em ouro. Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira.

8. MAPEAMENTO DO POTENCIAL AURÍFERO DA ÁREA DE ESTUDO

8.1. HIPÓTESES DE TRABALHO

As informações coletadas e arquivadas no banco de dados da área de estudo foram combinadas no *SPANS-GIS*, de forma organizada, a fim de se obter o mapa de potencial aurífero da região. Esta modelagem refere-se aos modelos de mineralização primária, e a maioria das ocorrências selecionadas para correlação com as evidências disponíveis correspondem a veios de quartzo mineralizados hospedados em rochas básicas/ultrabásicas da Unidade Piririca. Menos comuns são ocorrências hospedadas em metassedimentos clásticos, vulcanoclásticos, ou com alguma contribuição química. Já o modelo de depósitos de ouro disseminado em rochas metavulcanoclásticas (em *ribbons* de quartzo), recém descoberto, conta com poucos exemplos. Como este tipo de mineralização apresenta similaridades com o anterior, no que tange ao controle estrutural e geoquímico, todas as ocorrências classificadas como primárias foram tratadas em conjunto.

A tabela de ocorrências de ouro primário derivou da tabela de ocorrências minerais original (anexo 2), utilizando-se um filtro de seleção por ordem alfabética, numa modelagem de tabelas do *SPANS-GIS*. Selecionou-se também depósitos do tipo aluvionar, num arquivo separado, que permitiu a avaliação espacial de possíveis áreas-fonte.

O potencial aurífero da região de estudo foi estimado segundo dois modelos, indexação de *overlays* e pesos de evidência, o primeiro, com caráter de adição linear ponderada das evidências, solicita uma avaliação subjetiva dos pesos atribuídos a cada uma delas, considerando-se sua importância com relação ao objetivo pretendido. Esta avaliação foi possível através do conhecimento dos modelos de depósitos na área, que vem sendo acumulado pela equipe de especialistas em Pesquisa Mineral da CPRM-SP, na região do Vale do Ribeira (Morgental *et al.* 1981, Silva & Câmara 1990, Câmara 1992, Vasconcelos *et al.* 1993, Lopes Jr. *et al.* 1994, 1995, Vasconcelos & Câmara 1995).

O Modelo dos Pesos de Evidência, desenvolvido pelo Dr. G. Bonham-Carter e colaboradores, com diversos exemplos na literatura (Bonham-Carter *et al.* 1988, 1989, Agterberg & Bonham-Carter 1990, Agterberg *et al.* 1990), tem caráter mais objetivo, e é definido por estes autores como "dirigido pelos dados", isto é, não envolve a escolha subjetiva de pesos, que são determinados pela correlação estatística dos depósitos conhecidos com as

evidências. Na aplicação deste modelo contamos com a colaboração do Prof. Dr. Bonham-Carter, em visita ao Brasil, que avaliou como coerente a utilização do método na área, apesar de contarmos com poucos depósitos cubados, mas sim com um número suficiente de ocorrências conhecidas.

Na região estudada, não há um modelo genético muito preciso para as mineralizações auríferas, mas em contrapartida um modelo prospectivo vem sendo utilizado na condução dos trabalhos de pesquisa do ouro na área.

Com base na coleção de dados disponível, e trabalhos anteriores na área, uma série de hipóteses foram levantadas. Se por um lado elas serviram como fatores indicativos na integração e modelagem dos dados, por outro, no decorrer desta atividade elas puderam ser reavaliadas, confirmadas ou descartadas:

- A Unidade Piririca representa o principal metalotecto estratigráfico do ouro na região, sendo que as subvulcânicas basaníticas desta seqüência constituíram a principal área-fonte deste metal. Correspondem também a unidade mais francamente mineralizada.

- Apesar de provável gênese do ouro associada a mobilização de soluções mineralizantes produzidas na devolatização metamórfica da pilha metavulcano-sedimentar, é provável que a principal época de concentração aurífera tenha sido contemporânea não ao evento metamórfico regional, mas sim à evolução do Sistema de Cisalhamento Ribeira em conjunto com o estabelecimento de um alto gradiente geotérmico quando do *emplacement* do Granitóide Agudos Grandes.

- As zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis que atuaram nos processos de lixiiviação da pilha metassedimentar e canalização dos fluidos mineralizantes tem suas estruturas planares principais e mais contínuas identificadas em mapa geológico, imagens de satélite e em subsuperfície na imagem aeromagnetométrica. Estruturas rúpteis tardias do mesmo sistema, desenvolveram-se em profundidades mais rasas e afetaram rigidamente o Granitóide Agudos Grandes, são identificadas nas imagens de satélite submetidas a filtragens direcionais.

- Assinaturas radiométricas da unidade mineralizada e dos depósitos podem ser definidas através da correlação dos mapas aerogamaespectrométricos com o mapa litológico, e com a tabela de pontos de ocorrência de ouro.

- Anomalias de arsênio e prata em sedimento de corrente devem representar as melhores correlações com os depósitos, já que o ouro associa-se à arsenopirita nos veios, a prata é um elemento de comportamento similar ao ouro nos processos de solubilização e mobilização. Anomalias de chumbo podem refletir a incorporação de fluidos magmáticos à solução mineralizante.

- Anomalias de cromo e níquel podem ser indicativas da presença de rochas basaníticas ultrabásicas na região.

- Anomalias de ferro podem identificar rochas enriquecidas neste elemento, potenciais hospedeiras de mineralizações auríferas.

8.2. MODELO DA INDEXAÇÃO DE *OVERLAYS*

Este método baseia-se na organização dos dados em mapas temáticos e sua correlação com as ocorrências conhecidas na área de estudo e ainda com ocorrências análogas descritas na bibliografia, a fim de se definir o controle litológico, estrutural e estratigráfico das mineralizações, bem como a assinatura geoquímica e geofísica dos depósitos. Cada mapa temático de favorabilidade, ou submodelo, é hierarquicamente organizado em classes que representam a variação do dado, segundo sua potencialidade para conter mineralizações. Eles vão ser combinados num modelo final, de forma ponderada, de acordo com a importância, confiabilidade e distribuição espacial do dado original. Trata-se portanto de um procedimento dirigido principalmente pelo conhecimento tanto da área de estudo como da literatura especializada, envolvendo uma certa subjetividade na escolha dos pesos atribuídos a cada submodelo bem como a cada uma de suas classes. Na sua concepção considera-se ainda uma ampla gama de possibilidades, restringindo-se ao mínimo a área dos submodelos, para ao final do procedimento estabelecer-se uma reclassificação mais restritiva dos resultados.

Como o modelo de previsão refere-se a um controle litológico e estratigráfico baseado em seqüências metavulcano-sedimentares do proterozóicas, com deformação e provável percolação de fluidos mineralizantes no Neoproterozóico, foram excluídos do modelo as unidades correspondentes aos depósitos aluviais quaternários, as rochas básicas e alcalinas mesozóicas, os granitóides sin a pós-orogênicos e os granito-gnaisses paleoproterozóicos. A exclusão destas unidades e a reclassificação dos conjuntos litológicos não desfavoráveis para a classe 1 gerou o mapa de corte para a modelagem, de caráter *booleano*. A modelagem apenas no interior da área de corte garante o compromisso do resultado final com as evidências selecionadas como critérios, e sua hierarquização.

8.2.1. Construção dos submodelos

Para construção dos submodelos, os diversos mapas que compõem a área de estudo são correlacionados com a tabela de ocorrências de ouro primário. Isto é feito no *SPANS-GIS*

através de uma modelagem de pontos do tipo *append class*, que cria na tabela um campo referente a cada mapa, isto é, neste campo estará representada a classe do mapa em que a ocorrência se encontra. A análise dos histogramas destes campos indicará para cada mapa as classes que contém maior número de ocorrências, o que fornecerá subsídios para reclassificação dos mapas originais respeitando-se uma hierarquia de favorabilidade. Nesta análise leva-se também em consideração a densidade de depósitos, que é proporcional a área da classe.

Para facilidade de manipulação dos dados e interpretação dos resultados produzidos os mapas temáticos devem resultar simplificados, ou seja, não devem conter muitas classes. A elaboração de cada submodelo é finalizada com uma operação *booleana* lógica do tipo intersecção com o mapa de corte (figura 8.1), que seleciona a área de interesse. O mesmo resultado pode ser obtido utilizando-se o mapa de corte como mapa base da modelagem, opção oferecida pelo programa *SPANS-GIS*.

8.2.1.a. Submodelo litológico

Através do procedimento descrito acima, o mapa geológico (anexo 1) foi simplificado, gerando-se um mapa de 5 classes de favorabilidade crescente que incluem os seguintes conjuntos:

-classe 1: filitos da Formação Iporanga e das unidades Rubuquara, Nhunguara e Ribeirão das Pedras e filitos e metassiltitos indiferenciados do domínio Votuverava. Esta classe representa unidades onde poucas ocorrências estão presentes mas que, considerando-se a escassez de dados de mapeamento, poderiam conter características litológicas de alguma forma semelhantes às das unidades mineralizadas.

-classe 2: metabásicas, metarenitos ferruginosos e calciofilitos das unidades Ribeirão das Pedras e Nhunguara. Apesar da relativa baixa densidade de ocorrências nestas unidades, estes litotipos são caracteristicamente favoráveis a mineralizações auríferas.

-classe 3: filitos carbonosos e calciofilitos indiferenciados do domínio Votuverava. Além de conter algumas ocorrências conhecidas, podem ser correlatos aos filitos carbonosos e calciofilitos mineralizados da Unidade Piririca.

-classe 4: filitos carbonosos e calciofilitos da Unidade Piririca. Estes litotipos ocorrem freqüentemente mineralizados.

-classe 5: metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca, principal metalotecto estratigráfico do ouro na região; metabásicas indiferenciadas do domínio Votuverava , diante da possibilidade de sua correlação com as da Unidade Piririca.

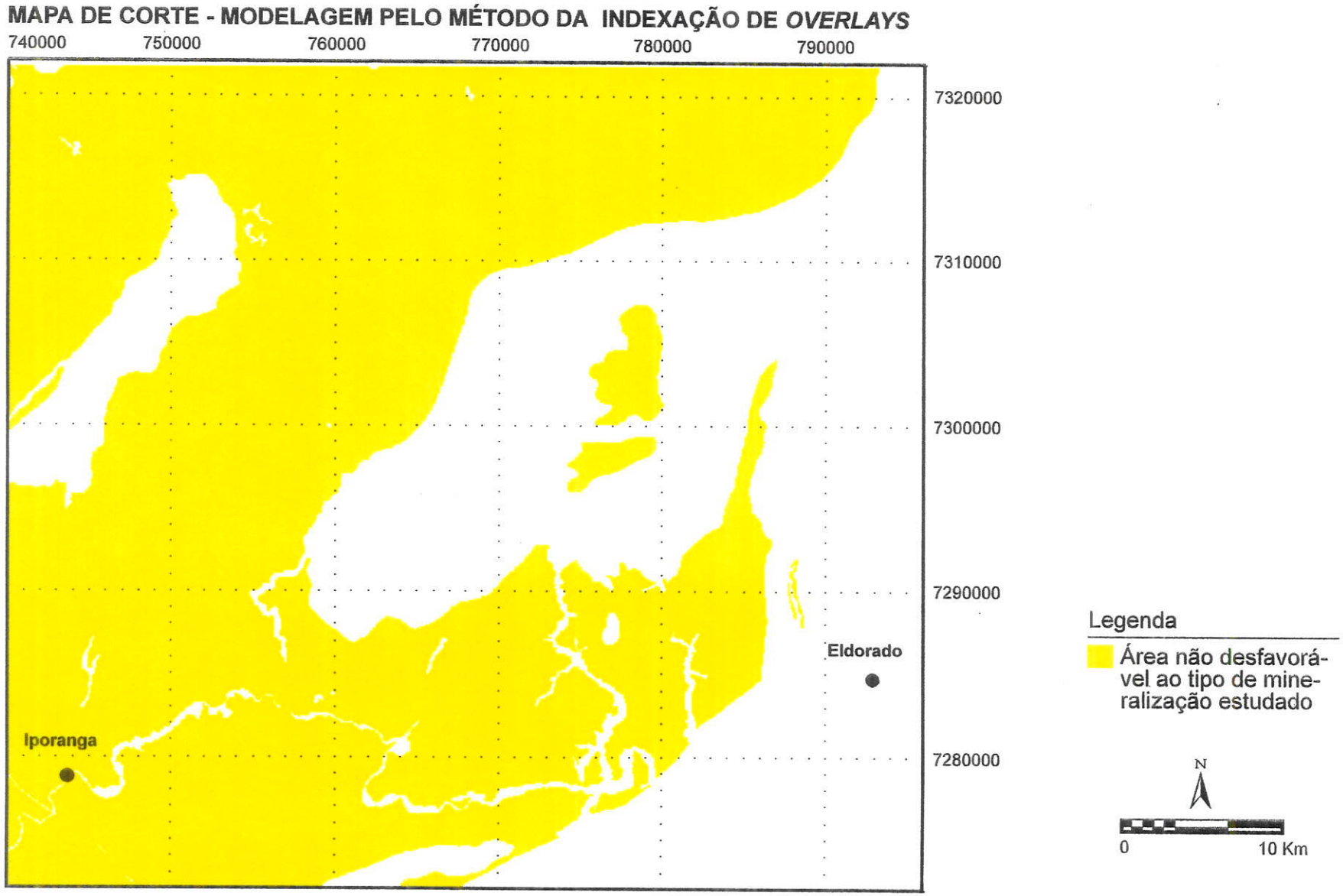


Figura 8.1. Mapa de corte, booleano, utilizado como mapa-base na modelagem por indexação de *overlays*. Exclui rochas granitóides, mármore da Seqüência Serra das Andorinhas e depósitos aluviais. Inclui possível enclave no interior do Granito Agudos Grandes.

Na composição do submodelo litológico foi ainda incluída na classe 1 a área de possível enclave metavulcano-sedimentar no interior do Batolito Agudos Grandes, delimitado através dos dados gamaespectrométricos.

Os dados de aerogamaespectrometria foram também avaliados no sentido de se estabelecer um padrão radiométrico dos litotipos da Unidade Piririca com o intuito de se delimitar em áreas deficientes em dados geológicos, possíveis seqüências similares a esta.

As análises do tipo tabulação de área cruzada, que revelam as áreas de interseção entre as várias classes de dois mapas, mostraram na comparação do mapa geológico com os diversos mapas temáticos de aerogamaespectrometria, no geral, pouca correlação, isto é, não se pôde definir uma assinatura radiométrica clara da unidade, exceto no caso da razão U/K.

A comparação deste mapa (figura 3.7) com a Unidade Piririca mostrou razoável correlação com o intervalo de classes entre 3 e 8, isto é, 85% da área da unidade filitos carbonosos, 96,8% da área da unidade calciofilitos e 90,8% da área da unidade metabásicas/ultrabásicas encontram-se neste intervalo do padrão radiométrico U/K que representa valores absolutos entre 0,044 e 0,132.

Com base nesta evidência, construiu-se um mapa de apenas uma classe, englobando os níveis de 3 a 8 do tema razão U/K. Este mapa foi combinado através de uma operação *booleana* do tipo interseção com outro, também *booleano*, que envolvia apenas as unidades definidas na classe 1 do mapa de favorabilidade litológica, isto é, as unidades em que a escassez de dados geológicos não permite afirmar a ausência de litotipos similares aos da Unidade Piririca. Finalmente o resultado desta operação foi combinado com o mapa de favorabilidade inicial, num *overlay* do tipo *matrix*, em que às áreas da classe 1 coincidentes com o padrão radiométrico estabelecido, foi atribuída a classe 2.

A hipótese das seqüências metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca constituírem provavelmente a principal área-fonte do ouro, gerando fluidos mineralizantes que percolam a pilha metavulcânica/metassedimentar, com deposição preferencial do ouro em rochas hospedeiras favoráveis, conduziu a análise da proximidade das ocorrências conhecidas em relação ao contato com as rochas metabásicas (figura 7.6). Nesta análise verificou-se que 59% das ocorrências posicionam-se até uma distância de 1000m das rochas metabásicas e dentre estas 60% estão até uma distância de 200m. Este resultado pode refletir a hipótese de relativa pequena proporção volumétrica de fluidos gerados, e conseqüente percolação por curtas distâncias a partir da área-fonte.

Assim, incluiu-se no submodelo litológico as áreas distantes até 200 m do contato com as rochas metabásicas definidas na classe 5 do mapa de favorabilidade litológica, de forma a

somar-se o valor 1 a todas as áreas das classes anteriores que com elas coincidiam, inclusive às áreas antes hierarquizadas na classe 0.

Na figura 8.2 apresenta-se o submodelo litológico final utilizado na modelagem por indexação de *overlays*.

8.2.1.b. Submodelo geoquímico

Com base nos mapas de anomalias geoquímicas, foram selecionados como muito correlacionados com as mineralizações, os elementos prata, arsênio e chumbo (figuras 7.13, 7.12 e 7.9) e como razoavelmente correlacionados os elementos níquel, cobre e cromo (figuras 7.11, 7.7 e 7.8). As anomalias de ouro (figura 7.14), apesar de aparentemente não muito correlacionadas com as ocorrências conhecidas, fornecem uma evidência importante que não deve ser descartada, mas foi considerada com restrições na análise, já que devido a reduzida distribuição da amostragem as bacias de captação possivelmente anômalas resultaram muito extensas. As anomalias de ferro (figura7.10), não mostraram correlação, e foram descartadas da análise.

Os mapas selecionados foram combinados através de adições sucessivas (numa modelagem de *overlays* do tipo *matrix*), de modo a reconhecer-se no produto final os elementos combinados. Para tal, de cada mapa de anomalia geoquímica foram consideradas apenas as áreas anômalas, e a cada um foi atribuído um peso segundo uma potência inteira de dois, mais alto quanto maior a correlação com as ocorrências, de forma que na somatória final cada possibilidade de combinação resultou num único valor de classe.

Assim, os mapas de anomalias de níquel e cobre foram combinados numa operação *booleana* do tipo adição de forma que ao níquel foi atribuída a classe 1, ao cobre a classe 2 e a classe 3 corresponde às áreas anômalas em ambos.

A este resultado foi somado o mapa de anomalias de cromo, ao qual foi atribuída a classe 4, gerando-se um mapa com 7 classes representantes das diversas possibilidades de combinação. Este procedimento foi repetido sucessivamente na adição dos demais elementos atribuindo-se ao chumbo a classe 8, ao arsênio a classe 16, à prata a classe 32 e ao ouro a classe 64. Ao final, das 127 classes possíveis, muitas combinações estavam ausentes, e o mapa gerado contém 44 classes (figura 8.3).

A simplificação deste mapa resultou no mapa de favorabilidade geoquímica, com 5 classes, segundo a tabela 8.1 de reclassificação.

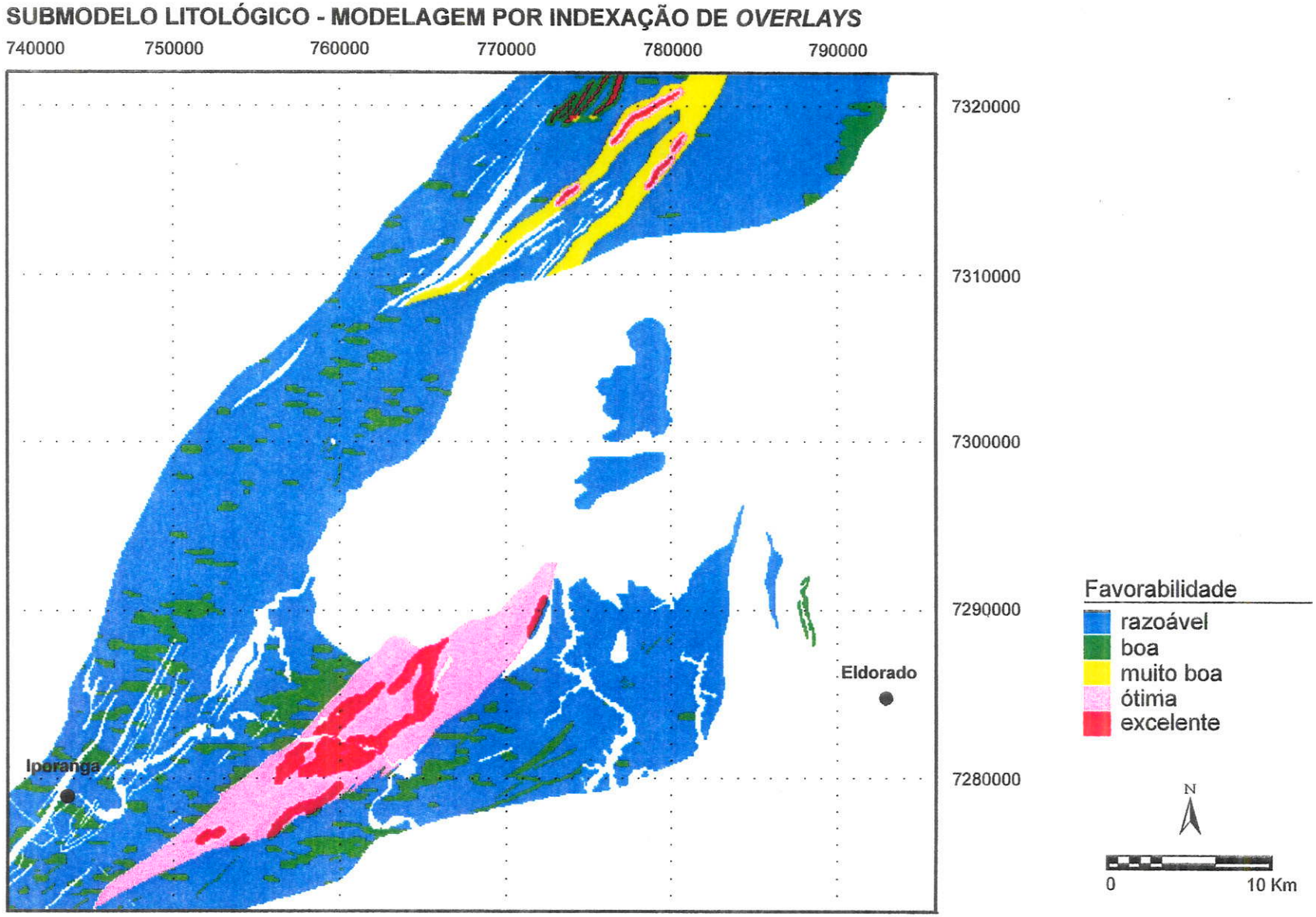


Figura 8.2. Submodelo litológico utilizado na modelagem por indexação de *overlays*.

classe	Combinações de elementos*
0	Ni, Cu, Cu+Ni, Cr, Cr+Ni, Au, Au+Ni, Au+Cu, Au+Cu+Ni, Au+Cr, Au+Cr+Ni.
1	Cr+Cu+Ni, Pb, Pb+Ni, Pb+Cu, Pb+Cu+Ni, Pb+Cr, Pb+Cr+Cu, Au+Pb, Au+Pb+Ni, Au+Pb+Cu.
2	As, As+Ni, As+Cu, As+Cu+Ni, As+Cr, As+Cr+Cu, Au+Pb+Cu+Ni.
3	As+Pb, As+Pb+Ni, As+Pb+Cu, Au+As.
4	As+Pb+Cu+Ni, As+Pb+Cr+Cu+Ni, Ag, Ag+Cu, Ag+Pb, Ag+Pb+Cu, Au+As+Pb+Cu+Ni.
5	Ag+As+Cu, Ag+As+Cr+Cu, Ag+As+Pb, Ag+As+Pb+Ni, Ag+As+Pb+Cr+Cu+Ni.

Tabela 8.1. Tabela de reclassificação do mapa final da somatória das anomalias geoquímicas, em ordem crescente de favorabilidade. * As combinações de elementos não citadas estavam ausentes na somatória final.

Uma das críticas à modelagem por indexação de *overlays* decorre do fato desta não avaliar as áreas onde os dados estão ausentes (Bonham-Carter 1994), o que refere-se principalmente às evidências geoquímicas, já que a amostragem das bacias de captação no geral não cobre a totalidade da área estudada.

Tentou-se amenizar este problema incluindo-se duas classes no submodelo geoquímico, hierarquicamente inferiores às válidas já estabelecidas, a classe 1 corresponde às bacias de captação não amostradas em um dos levantamentos geoquímicos (considerando-se que nem todos os elementos foram analisados nos quatro projetos principais utilizados) e a classe 2 engloba as áreas não amostradas em qualquer dos levantamentos. Dessa forma, na modelagem final, as áreas sem amostragem geoquímica também receberão pesos, distinguindo-se das áreas desfavoráveis da classe 0.

O submodelo geoquímico final, consta então de 7 classes de favorabilidade crescente, e é mostrado na figura 8.4.

8.2.1.c. Submodelo estrutural

Para construção deste submodelo foram analisados os mapas de isodistâncias (*buffers*) gerados a partir dos arquivos vetoriais de zonas de cisalhamento transcorrentes e falhas normais mapeadas (figuras 7.1 e 7.2); de lineamentos rúptil-dúcteis E-W e N45-50E e de fraturas NS extraídos das imagens de satélite (figuras 7.3 e 7.4); e de lineamentos magnéticos de direção NE (figura 7.5).

Devido a continuidade das estruturas rúpteis N45-50E do Sistema de Cisalhamento Ribeira em direção a Unidade Piririca; a associação destas estruturas com um evento magmático importante, num estágio dúctil precoce no seu desenvolvimento; e a coincidência com a orientação de parte dos veios mineralizados, sugere-se que o controle estrutural das mineralizações auríferas da região esteve, pelo menos em parte, a elas associado. Porém, verifica-se que pequena proporção das ocorrências conhecidas, 42%, correlacionam-se com

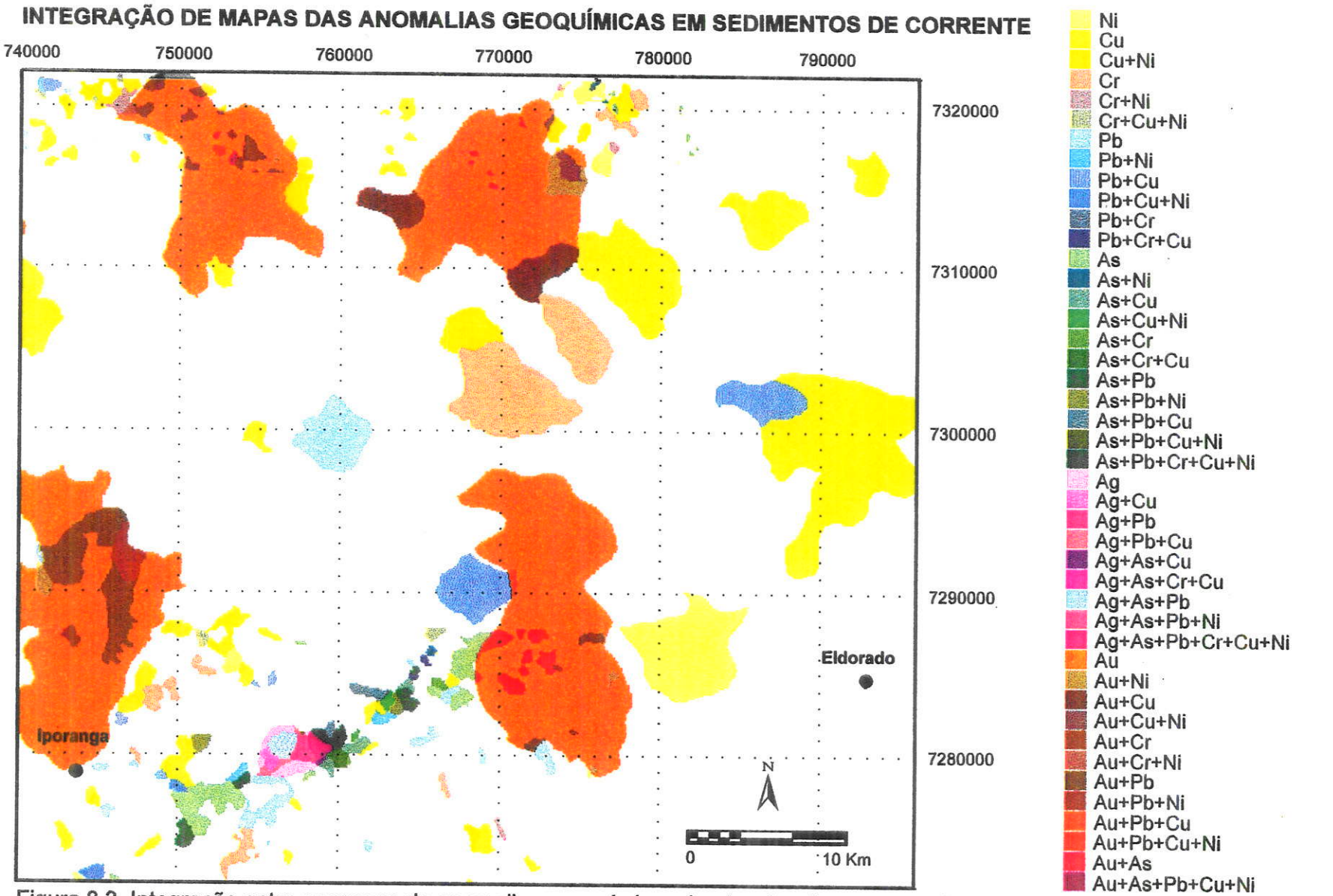


Figura 8.3. Integração entre os mapas de anomalias geoquímicas de níquel, cobre, cromo, chumbo, arsênio, prata (em sedimentos de corrente) e ouro (em concentrados de bateia), combinados através de adição ponderada de overlays, nesta ordem de atribuição de pesos, segundo uma potência inteira de dois, de forma que cada possibilidade de combinação entre os diversos mapas resulta numa única classe.

SUBMODELO GEOQUÍMICO - MODELAGEM POR INDEXAÇÃO DE *OVERLAYS*

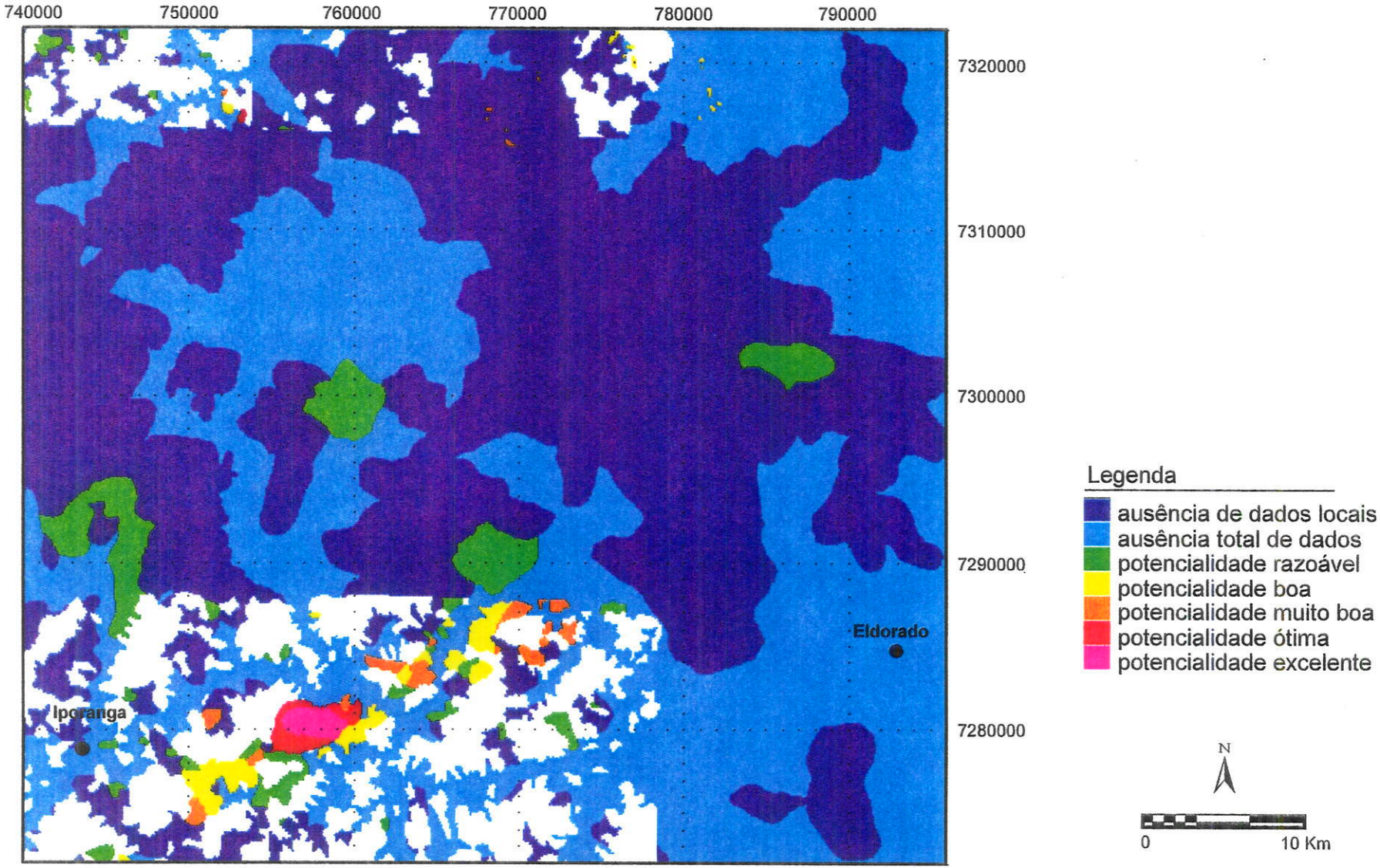


Figura 8.4. Submodelo geoquímico utilizado na modelagem por indexação de *overlays*.

as distâncias até 500 m dos lineamentos rúpteis EW e N45-50E fotointerpretados, apesar da sua vasta distribuição areal (figura 7.3). Destas 75% concentram-se no intervalo de 0 a 300 m e principalmente no intervalo de 200 a 300 m (35%). Este resultado deve decorrer do fato dos veios mineralizados orientarem-se principalmente segundo estruturas menores, secundárias do sistema, nem sempre evidentes nas imagens de satélite.

Por outro lado observa-se forte correlação das ocorrências com fraturas pouco extensas, de direção NS (figura 7.4), que parecem desenvolver-se no interior de mega-*pods,* delimitados pelas estruturas N45-50E. Neste caso 46% das ocorrências conhecidas associam-se a evidência, esta sim de pouco expressiva distribuição areal. Destas 94% encontram-se a uma distância de até 400 m das fraturas.

Possivelmente ainda correlacionada com este sistema, segundo componente extensiva, as falhas normais mapeadas (figura 7.2) tem 23% das ocorrências concentradas até uma distância de 600 m, um valor alto, considerando-se a sua distribuição espacial.

Algumas ocorrências, no entanto, não revelam qualquer correlação com estruturas rúpteis fotointerpretadas ou mapeadas deste sistema, e sua correlação com as componentes N30E dúctil-rúpteis também não é evidente.

Por outro lado, a análise dos lineamentos magnéticos de direção NE, traçados da imagem aerogeofísica de magnetometria, mostra sua coincidência com a orientação estrutural definida pelas componentes rúptil-dúcteis do Sistema Ribeira. Os lineamentos magnéticos sugerem uma possível mobilização de ferro nos fluidos mineralizantes que percolaram zonas de fratura, o que coincide com a presença de pirita como principal mineral de ganga nas mineralizações. Podem indicar também a presença de lentes alongadas de rochas de filiação básica. Mas, parte destes lineamentos, reflexo de feições menos superficiais, não encontram correspondência nas zonas de cisalhamento ou lentes básicas mapeadas. Assim, decidiu-se incluir a evidência magnética no submodelo estrutural, no sentido de fornecer subsídios para que possíveis dutos de soluções mineralizantes ou lentes básicas, não aflorantes, contribuam no modelo final. Do total de ocorrências 58% distribuem-se até uma distância de 700 m dos lineamentos magnéticos (figura 7.5), principalmente no intervalo de 600 a 700 m. Apesar da significativa expressão espacial que decorre desta correlação, optou-se pela não restrição desta evidência, já que reflete possível comportamento em subsuperfície das feições estruturais.

Considerando-se estas correlações, os fatores estruturais foram combinados segundo a hierarquia de classificação exposta na tabela 8.2, gerando-se o submodelo estrutural da figura 8.5.

Evidência	Classe
Proximidade até 200 m de lineamento rúptil-dúctil ENE-WSW	1
Proximidade até 600 m de lineamento magnético NE	1
Proximidade de 200 a 300 m de lineamento rúptil-dúctil ENE-WSW	2
Proximidade de 600 a 700 m de lineamento magnético NE	2
Proximidade até 600 m de falha oblíqua distensiva NE	3
Proximidade até 400 m de fratura NS	3

Tabela 8.2. Hierarquia das evidências no submodelo estrutural, classes segundo ordem crescente de favorabilidade.

8.2.2. Indexação dos submodelos

No caso da indexação de mapas multiclasses, cada um receberá um peso, segundo a importância da evidência que representa, da mesma forma que cada classe neles presente. No *SPANS-GIS* a atribuição dos pesos é feita diretamente numa matriz de indexação (no formato *ascii*), construída a partir da seleção dos mapas a serem combinados e editada segundo os valores de pesos desejados, para ser lida na modelagem de *overlays* do tipo *Index*.

A média dos pesos obtida numa determinada localidade é definida por:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i}^{n} S_{ij} W_i}{\sum_{i}^{n} W_i} \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde $\bar{S}$ é o peso ponderado obtido para um objeto de área (célula), W_i representa o peso atribuído a cada mapa i, e S_{ij} é o peso para a classe j do mapa i, que vai depender da classe que realmente ocorre naquela localização.

Os pesos podem ser escolhidos na forma de números positivos inteiros ou reais, respeitando-se uma variação compatível entre mapas, já que o mapa produzido (segundo uma escala de índices de favorabilidade) é resultado da aplicação de uma tabela de classificação, que estabelece pontos de quebra dentro do intervalo de valores obtido.

Dessa forma, os submodelos construídos foram combinados segundo os parâmetros expostos na matriz de indexação da tabela 8.3.

A concepção desta matriz foi definida respeitando-se a seguinte hierarquia entre os submodelos: geoquímico, litológico e estrutural, segundo a ordem de importância crescente das evidências. Mas, devido às incertezas inerentes a cada uma delas, os pesos foram

distribuídos entre os mapas e suas classes de forma a não haver uma predominância muito forte de uma em relação às outras.

No submodelo geoquímico, por exemplo, além de significativa proporção da área corresponder às classes de dados ausentes, parte das regiões levantadas não dispõe de dados de arsênio e prata, importantes farejadores do ouro. Um peso muito elevado para as áreas anômalas nestes elementos acarretaria uma restrição de possibilidades às áreas que não contam com estes dados mas onde somam-se as demais evidências.

Submodelo Geoquímico - *Peso 5*		**total**	**hierarquia global**
classe	**peso**		
0	0	0	0
1	2	10	1
2	3	15	3
3	6	30	6
4	12	60	8
5	15	75	10
6	16	80	11
7	17	85	12
Submodelo Litológico - *Peso 4*			
classe	**peso**		
0	0	0	0
1	7	28	5
2	15	60	8
3	18	72	9
4	20	80	11
5	23	88	13
Submodelo Estrutural - *Peso 3*			
classe	**peso**		
0	0	0	0
1	4	12	2
2	8	24	4
3	16	48	7

Tabela 8.3. Matriz de Indexação elaborada para utilização na modelagem por indexação de *overlays*.

O submodelo litológico é prejudicado pela qualidade heterogênea dos dados de mapeamento, implicando numa incerteza das unidades presentes nas áreas menos acessíveis. Estas áreas devem contar com valor de peso suficiente para que outras evidências indiretas possam reconhecer nelas possíveis unidades favoráveis.

SUBMODELO ESTRUTURAL - MODELAGEM POR INDEXAÇÃO DE *OVERLAYS*

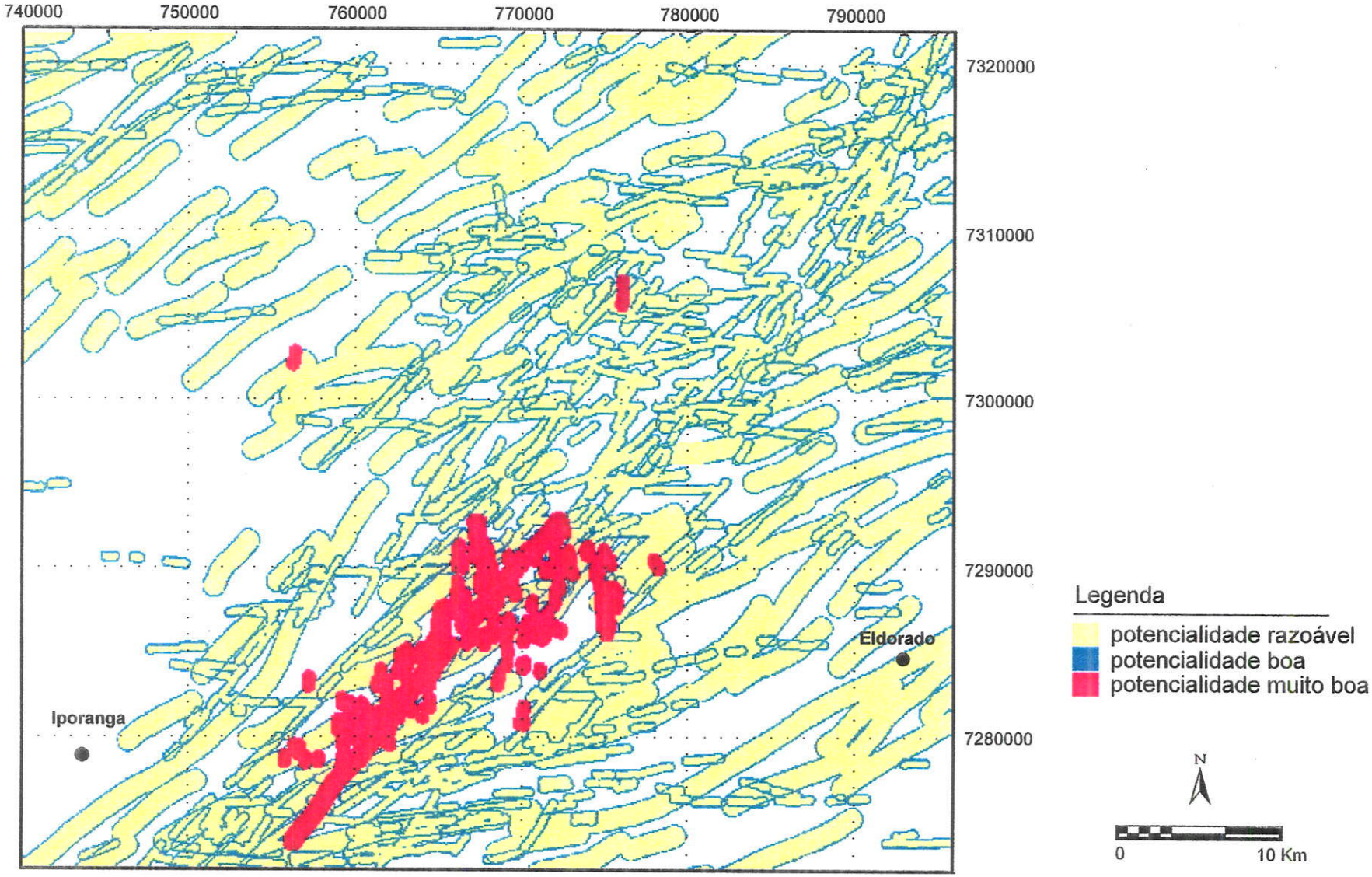


Figura 8.5. Submodelo estrutural utilizado na modelagem por indexação de *overlays*.

O submodelo estrutural, aferido principalmente por métodos indiretos, pode acumular erros de precisão, e mesmo de interpretação. Recebeu peso mais significativo na sua classe de maior correlação com as ocorrências conhecidas enquanto que às demais foram atribuídos pesos que fizeram a distinção entre as áreas afetadas ou não pelo sistema estrutural condicionante da mineralização.

O mapa produzido através desse procedimento é apresentado na figura 8.6. A figura 8.7 mostra sua reclassificação de forma a discriminar apenas as classes de maior índice de favorabilidade. O índice de corte escolhido (9) representa valores da somatória total no intervalo entre 103 e 114, isto é, com valor mínimo superior ao valor máximo representado pela evidência de maior peso isoladamente (classe 5 do submodelo litológico), ou mesmo dela combinada com a classe 1 de qualquer dos outros dois submodelos. Das 76 ocorrências de ouro distribuídas na área modelada através deste método, 64 (ou 84%) encontram-se em algumas das classes de maior favorabilidade representadas no mapa da figura 8.7.

POTENCIAL AURÍFERO DA ÁREA ESTIMADO NA MODELAGEM POR INDEXAÇÃO DE *OVERLAYS*

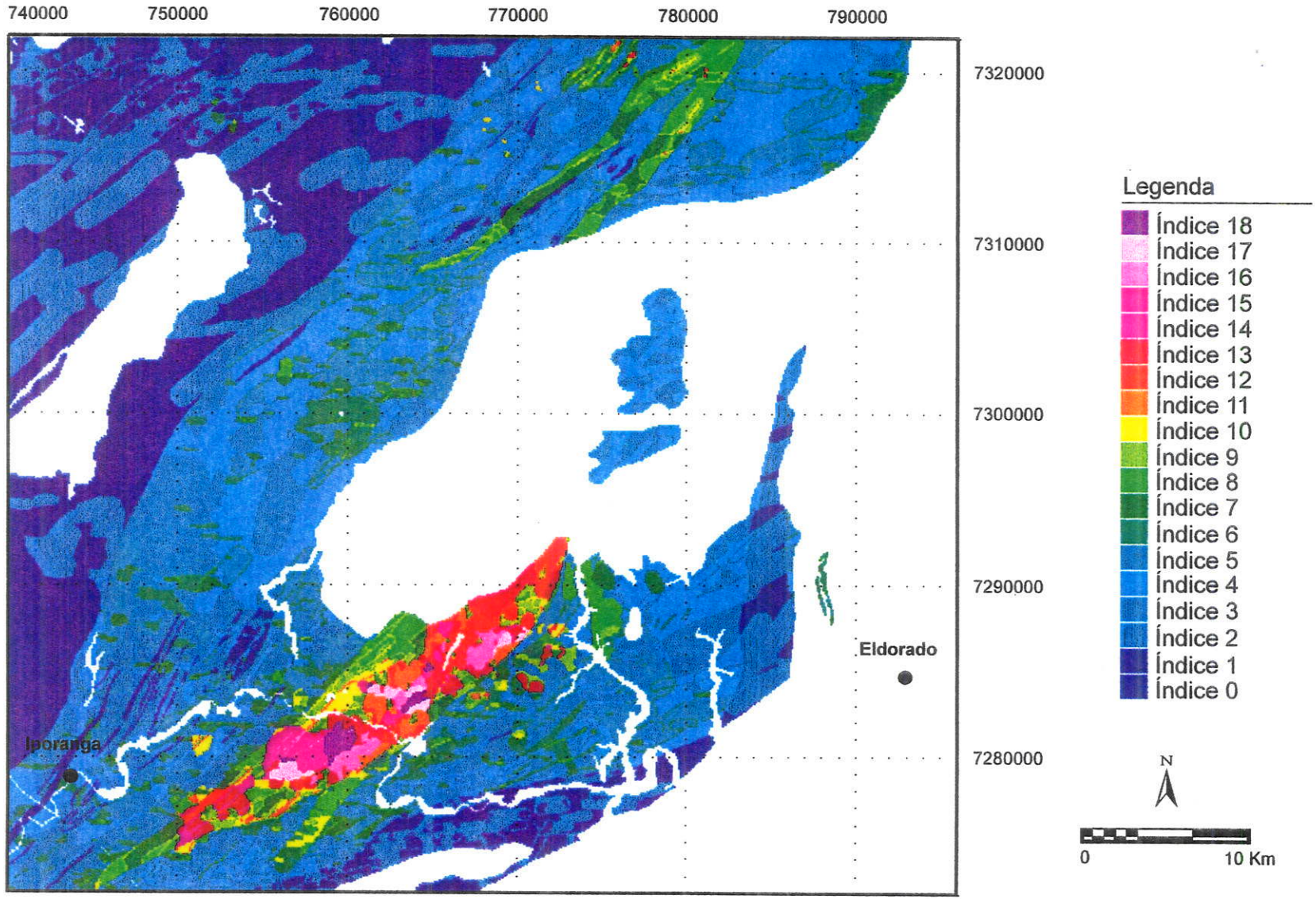


Figura 8.6. Potencial aurífero da área estimado na modelagem pelo método da indexação de *overlays*. Combina os mapas de evidências ou submodelos litológico, geoquímico e estrutural. Índices de 0 a 18 em ordem crescente de favorabilidade.

POTENCIAL AURÍFERO DA ÁREA ESTIMADO NA MODELAGEM POR INDEXAÇÃO DE *OVERLAYS*

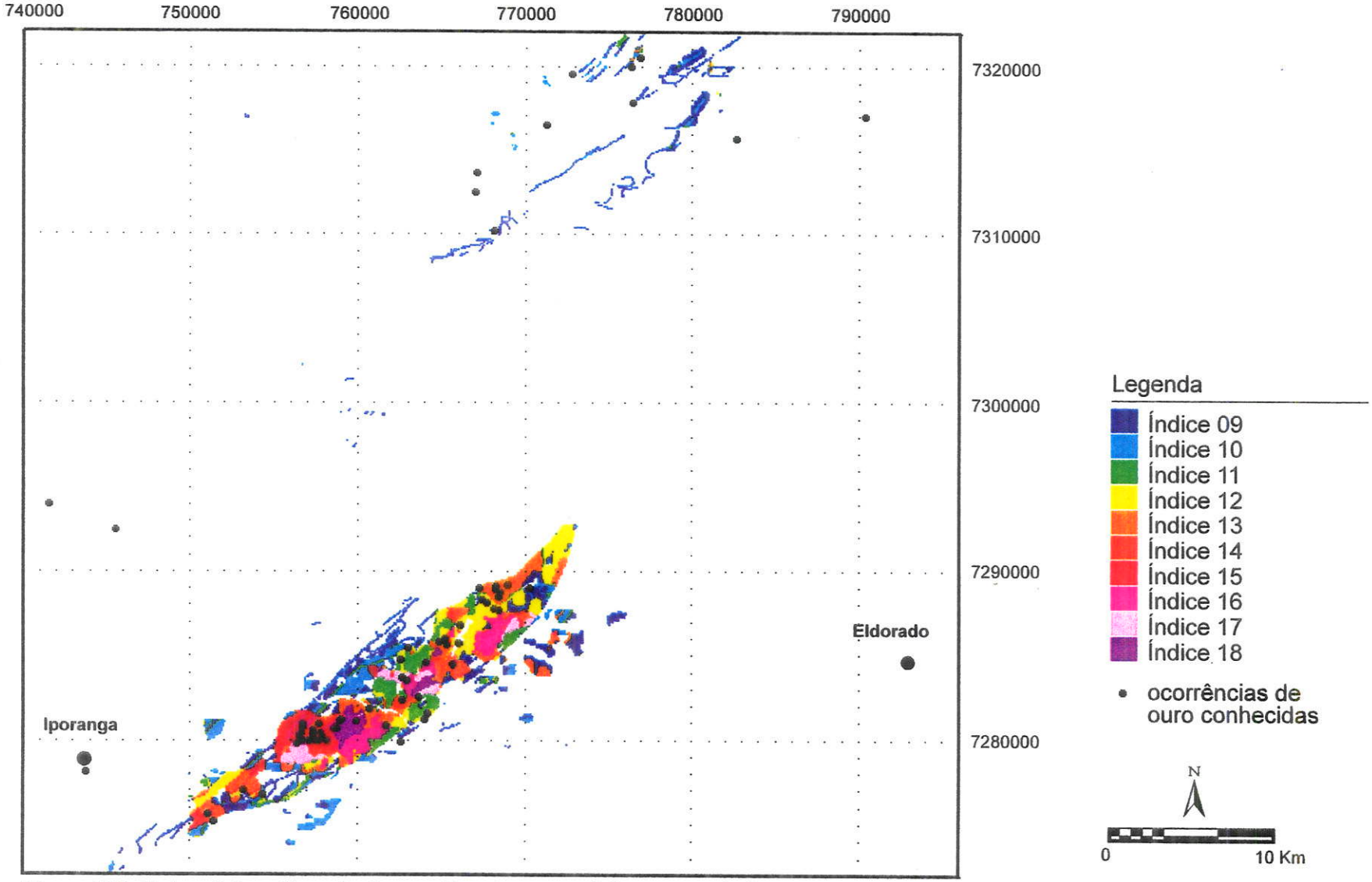


Figura 8.7. Potencial aurífero da área estimado na modelagem por indexação de *overlays*. Reclassificação do mapa da figura 8.6 mostrando as áreas modeladas como mais favoráveis.

8.3. MÉTODO DOS PESOS DE EVIDÊNCIA

Esta análise baseia-se na regra de Bayes e segue o procedimento descrito em Bonham-Carter *et al.* (1988) e Bonham-Carter (1994), também conhecido como método dos *pesos de evidência.* No caso em estudo, devido a pequena quantidade de depósitos conhecidos analisou-se a probabilidade de se encontrar novos depósitos de ouro primário, com base nas ocorrências conhecidas. O modelo foi desenvolvido a título de experimentação e revelou resultados aparentemente coerentes.

No método "Bayesiano", a combinação de uma coleção de dados (ou mapas) é feita utilizando-se uma estrutura de probabilidades. As probabilidades são medidas através de proporções entre as áreas dos mapas de evidência e a das ocorrências. A unidade de área corresponde a uma célula, ou *pixel*, que deve ser suficientemente pequena para representar uma ocorrência.

Este método, ao contrário do anterior, dirigido pelo conhecimento, pode ser definido como dirigido pelos dados, o que, na prática, representa maior objetividade, já que evita a escolha subjetiva de pesos e evidências favoráveis.

8.3.1. Método dos pesos de evidência - teoria e aplicação no mapeamento de potencial mineral

A regra de Bayes envolve principalmente os conceitos de probabilidades *prévia* e *posterior.* Estes conceitos vão ser introduzidos a seguir, bem como as manipulações algébricas que envolvem sua aplicação no método dos pesos de evidência.

Supondo-se uma área selecionada para análise que perfaz um total N{ T } = 100 células, onde N{ } é a notação utilizada para representar a contagem de células unitárias. Destas, apresentam depósitos N{ D } = 20. A densidade média de depósitos conhecidos é portanto N{ D } / N{ T } = 0,2, que é a probabilidade de uma célula, escolhida ao acaso, conter um depósito conhecido. Esta razão pode ser considerada como a probabilidade prévia, P{ D } de depósito nesta área, antes que outras evidências sejam consideradas. Esta estimativa prévia pode ser modificada por outras fontes de informação. Por exemplo, se os depósitos ocorrem associados a uma determinada litologia ou litologias, a probabilidade prévia pode ser atualizada pela multiplicação por um fator que represente a presença ou a ausência desta litologia:

P{ depósito | litologia } = P{ depósito } X fator litologia

onde P{ depósito | litologia } é a probabilidade *posterior* de depósito.

O fator litologia será maior que 1, caso a litologia favorável esteja presente, aumentando a probabilidade prévia, e ao contrário, onde a litologia estiver ausente o fator será menor que 1, diminuindo a probabilidade prévia.

Supondo-se que um mapa binário de evidência E_1 represente as litologias favoráveis, isto é, classe 1 para estas litologias, e classe 0 para as demais litologias presentes no mapa geológico da área. A probabilidade de se estar sobre o padrão binário positivo (classe 1) é:

$$P\{ E_1 \} = \frac{N\{ E_1 \}}{N\{ T \}} , \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde P{ E_1 } e N{ E_1 } são respectivamente a probabilidade e área onde o padrão E_1 está presente.

Similarmente, a proporção da área ocupada conjuntamente por depósitos e pelo padrão E_1, é:

$$P\{ D \cap E_1 \} = \frac{N\{ D \cap E_1 \}}{N\{ T \}} . \qquad \text{(Equação 3)}$$

Já a probabilidade de se encontrar um depósito, dada a presença da evidência, pode ser expressa como:

$$P\{ D \mid E_1 \} = \frac{N\{ D \cap E_1 \}}{N\{ E_1 \}} . \qquad \text{(Equação 4)}$$

As três equações acima, combinadas, resultam em:

$$P\{ D \mid E_1 \} = \frac{P\{ D \cap E_1 \}}{P\{ E_1 \}} , \qquad \text{(Equação 5)}$$

onde P{ D | E_1 } é a probabilidade condicional de um depósito dada a presença do padrão binário E_1.

A fim se obter uma expressão que resulte na probabilidade *posterior* de um depósito em termos de probabilidade *prévia* e um fator de multiplicação, podemos considerar a probabilidade condicional de um ponto escolhido ao acaso localizar-se dentro da classe 1 do mapa binário E_1, dada a presença de um depósito como:

$$P\{ E_1 \mid D \} = \frac{P\{ E_1 \cap D \}}{P\{D\}} . \qquad \text{(Equação 6)}$$

Mas, se $P\{ E_1 \cap D \}$ é igual a $P\{ D \cap E_1 \}$, as equações 4 e 5 podem ser combinadas em termos de $P\{ D \mid E_1 \}$:

$$P\{ D \mid E_1 \} = P\{ D \} \cdot \frac{P\{ E_1 \mid D \}}{P\{ E_1 \}} \quad , \qquad \text{(Equação 7)}$$

obtendo-se assim o fator de multiplicação, relativo à evidência, que vai modificar a probabilidade *prévia* $P\{ D \}$.

Entretanto, como a probabilidade de um ponto localizar-se sobre o padrão E_1, $P\{ E_1 \}$, é igual a $N\{ E_1 \} / N\{T\}$, e $N\{ E_1 \}$ pode ser escrito como $N\{ E_1 \cap D \} + N\{ E_1 \cap \bar{D}\}$, onde $N\{ E_1 \cap D\}$ e $N\{ E_1 \cap \bar{D}\}$ são respectivamente a área de intersecção do padrão E_1 com os depósitos D, e a área de intersecção do padrão E_1 com a área onde depósitos estão ausentes $\bar{D}$, então:

$$P\{ E_1 \} = \frac{N\{ E_1 \cap D \}}{N\{ T \}} + \frac{N\{ E_1 \cap \bar{D} \}}{N\{ T \}} =$$

$$= P\{ E_1 \cap D\} + P\{ E_1 \cap \bar{D} \} \quad , \qquad \text{(Equação 8)}$$

e, substituindo-se $P\{ E_1 \}$ na equação 7, obtemos:

$$P\{ D \mid E_1 \} = \frac{P\{ D \} . P\{ E_1 \mid D \}}{P\{ E_1 \cap D\} + P\{ E_1 \cap \bar{D}\}} \quad , \qquad \text{(Equação 9)}$$

ou, conforme a equação 6:

$$P\{ D \mid E_1 \} = \frac{P\{ D \} . P\{ E_1 \mid D \}}{P\{ E_1 \mid D \} . P\{ D \} + P\{ E_1 \mid \bar{D} \} . P\{ \bar{D} \}} \quad . \qquad \text{(Equação 10)}$$

Considerando-se a presença de um segundo mapa binário de evidência (E_2), retratando, por exemplo, anomalias geoquímicas favoráveis à mineralização, a probabilidade de se encontrar um depósito, dada a presença dos dois padrões binários é:

$$P\{ D \mid E_1 \cap E_2 \} = \frac{P\{ D \cap E_1 \cap E_2 \}}{P\{ E_1 \cap E_2 \}} \quad , \qquad \text{(Equação 11)}$$

que pode ser escrito como:

$$P\{ D \mid E_1 \cap E_2 \} = \frac{P\{ E_1 \cap E_2 \mid D \} . P\{ D \}}{P\{ E_1 \cap E_2 \}}$$

$$= \frac{P\{E_1 \cap E_2 \mid D\} . P\{D\}}{P\{E_1 \cap E_2 \mid D\}\ P\{D\} + P\{E_1 \cap E_2 \mid \bar{D}\} P\{\bar{D}\}} \qquad \text{(Equação 12)}$$

Esta é a Regra de Bayes. Mas note-se que, ao contrário de alguns exemplos desta regra na literatura, contamos, nesta situação, com apenas duas hipóteses mutuamente exclusivas, D e $\bar{D}$, e $D + \bar{D} = 1$. Os efeitos da interação entre E_1 e E_2 podem ser ignorados diante da suposição de independência condicional entre eles, o que constitui uma simplificação, pois permite que a contribuição de cada mapa binário possa ser avaliada individualmente, e então os vários mapas podem ser combinados pela multiplicação de fatores que os represente.

Da hipótese da independência condicional decorre as seguintes expressões:

$$P\{E_1 \cap E_2 \mid D\} = P\{E_1 \mid D\} . P\{E_2 \mid D\}\ , \qquad \text{(Equação 13)}$$

e:

$$P\{E_1 \cap E_2\} = P\{E_1\} . P\{E_2\}\ , \qquad \text{(Equação 14)}$$

que, substituindo $P\{E_1 \cap E_2 \mid D\}$ e $P\{E_1 \cap E_2\}$ respectivamente, na equação 12 gera:

$$P\{D \mid E_1 \cap E_2\} = P\{D\} . \frac{P\{E_1 \mid D\}}{P\{E_1\}} . \frac{P\{E_2 \mid D\}}{P\{E_2\}}\ , \qquad \text{(Equação 15)}$$

que é uma equação semelhante a equação 7. Similarmente outros mapas de evidência podem ser incluídos, desde que a hipótese da independência condicional seja confirmada.

O mesmo modelo pode ser expresso numa forma de ***odds***. *Odds* são definidos como uma razão da probabilidade de um evento ocorrer sobre a probabilidade dele não ocorrer. No nosso caso *odds* da probabilidade de depósitos, $O\{D\}$, é igual a $P\{D\} / (1 - P\{D\})$, ou $P\{D\}/P\{\bar{D}\}$. O modelo de pesos de evidência usa ainda o logaritmo natural de *odds*, conhecido como log *odds* ou ***logits***. A aplicação destes conceitos é descrita a seguir.

Para converter a equação 7 para *odds*, os dois lados são divididos por $P\{D \mid \bar{E}_1\}$:

$$\frac{P\{D \mid E_1\}}{P\{\bar{D} \mid E_1\}} = \frac{P\{D\} . P\{E_1 \mid D\}}{P\{\bar{D} \mid E_1\} . P\{E_1\}}\ . \qquad \text{(Equação 16)}$$

Mas da definição de probabilidade condicional:

$$P\{\bar{D} \mid E_1\} = \frac{P\{\bar{D} \cap E_1\}}{P\{E_1\}} = \frac{P\{E_1 \mid \bar{D}\} . P\{\bar{D}\}}{P\{E_1\}}\ . \qquad \text{(Equação 17)}$$

Substituindo-se esta expressão para $P\{D \mid E_1\}$ no denominador do lado direito da equação 16, e rearranjando-se os termos chega-se a:

$$\frac{P\{D \mid E_1\}}{P\{\bar{D} \mid E_1\}} = \frac{P\{D\}}{P\{\bar{D}\}} \cdot \frac{P\{E_1\}}{P\{E_1\}} \cdot \frac{P\{E_1 \mid D\}}{P\{E_1 \mid \bar{D}\}} \quad . \qquad \text{(Equação 18)}$$

Substituindo-se as expressões complementares por *odds*, na equação 18 tem-se:

$$O\{D \mid E_1\} = O\{D\} \cdot \frac{P\{E_1 \mid D\}}{P\{E_1 \mid \bar{D}\}} \quad , \qquad \text{(Equação 19)}$$

onde $O\{D \mid E_1\}$ é o *odds* condicional (*posterior*) de D dada a presença de E_1, $O\{D\}$ é o *odds* (*prévio*) de D e $P\{E_1 \mid D\}/P\{E_1 \mid \bar{D}\}$ é conhecido como a razão de suficiência **LS**. No método dos pesos de evidência, o logaritmo natural de ambos os lados da equação 19 é calculado, e $\log_e LS$ é o peso positivo de evidência W^+, que é, portanto, calculado diretamente dos dados. Assim:

$$logit\{D \mid E_1\} = logit\{D\} + W^+ . \qquad \text{(Equação 20)}$$

Similarmente obtêm-se uma expressão do tipo *odds* para a probabilidade condicional de D dada a ausência do padrão binário, (E_1), ou ($\bar{E}_1$):

$$O\{D \mid \bar{E}_1\} = O\{D\} \cdot \frac{P\{\bar{E}_1 \mid D\}}{P\{\bar{E}_1 \mid \bar{D}\}} \quad , \qquad \text{(Equação 21)}$$

O termo $P\{\bar{E}_1 \mid D\} / P\{\bar{E}_1 \mid \bar{D}\}$ é conhecido como razão de necessidade, **LN**. E no método dos pesos de evidência o $\log_e LN$ é o peso negativo de evidência W^-:

$$logit\{D \mid \bar{E}_1\} = logit\{D\} + W_1^- . \qquad \text{(Equação 22)}$$

Da mesma forma, aplicando-se *odds* a equação 15, onde dois mapas de evidência são considerados:

$$O\{D \mid E_1 \cap E_2\} = O\{D\} \cdot LS_1 \cdot LS_2 , \qquad \text{(Equação 23)}$$

ou na forma log-linear de pesos de evidência:

$$logit\{D \mid E_1 \cap E_2\} = logit\{D\} + W_1^+ + W_2^+ . \qquad \text{(Equação 24)}$$

Mas neste caso há quatro combinações possíveis que precisam ser avaliadas, a primeira quando os dois padrões E_1 e E_2 estão presentes, como descrito na equação 24, a segunda quando E_1 está presente e E_2 ausente, a terceira quando E_1 está ausente e E_2 presente, e a quarta e última quando ambos E_1 e E_2 estão ausentes:

$$logit\{D \mid E_1 \cap \bar{E}_2\} = logit\{D\} + W_1^+ + W_2^- . \qquad \text{(Equação 25)}$$

$$logit\{D \mid \bar{E}_1 \cap E_2\} = logit\{D\} + W_1^- + W_2^+ . \qquad \text{(Equação 26)}$$

$$logit\{D \mid \bar{E}_1 \cap \bar{E}_2\} = logit\{D\} + W_1^- + W_2^- . \qquad \text{(Equação 27)}$$

Com três mapas binários de evidência, há 2^3 ou 8 combinações possíveis, e, da mesma forma, com a utilização de n mapas haverão 2^n combinações possíveis. A expressão geral para a combinação i = 1, 2, 3,...n mapas é:

$$O\{ D \mid E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap ... E_n \} = O\{ D \} \cdot \prod_{i=1}^{n} LS_i \qquad \text{(Equação 28)}$$

para razões de probabilidades, ou:

$$logit\{ D \mid E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap ... E_n \} = logit\{ D \} + \sum_{i=1}^{n} W^+_i , \qquad \text{(Equação 29)}$$

para os pesos de evidência. Nestas fórmulas gerais, LS se transforma em LN, e W^+ se transforma em W^-, se o padrão do mapa está ausente ao invés de presente. Obtêm-se o *odds posterior (pstodds)* de depósito pelo exponencial de $logit\{ D \mid E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap ... E_n \}$, e o resultado é convertido em termos de probabilidade posterior $P\{ D \mid E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap ... E_n \}$ através da expressão *pstodds* / (1+ *pstodds*).

Na aplicação do método dos pesos de evidência os parâmetros $logit\{ D \}$, W^+ e W^- são calculados diretamente a partir dos dados, mas antes os mapas de evidência devem ser submetidos dois a dois ao teste de independência condicional. Este teste vai diagnosticar se os mapas de evidência são estatisticamente independentes, isto é, dados dois mapas binários de evidência E_1 e E_2 a probabilidade de E_1 estar presente independe de E_2 estar ou não presente. Matematicamente esta relação pode ser expressa como:

$$P\{ E_1 \mid E_2 \} = P \{ E_1 \} \quad e \quad P\{ E_2 \mid E_1 \} = P \{ E_2 \}. \qquad \text{(Equação 30)}$$

Por outro lado, se os dois mapas são condicionalmente independentes com relação ao conjunto dos pontos de depósitos, então:

$$P\{ E_1 \cap E_2 \mid D \} = P \{ E_1 \mid D \} . P\{ E_2 \mid D \} , \qquad \text{(Equação 31)}$$

que é equivalente a:

$$N\{ E_1 \cap E_2 \cap D \} = \frac{N \{ E_1 \cap D \} . N\{ E_2 \cap D \}}{N\{ D \}} , \qquad \text{(Equação 32)}$$

onde $N\{ E_1 \cap E_2 \cap D \}$ é o número de depósitos observadas na área de intersecção entre os padrões E_1 e E_2, e a razão $N \{ E_1 \cap D \} . N\{ E_2 \cap D \} / N\{ D \}$ é o número esperado de depósitos nesta área. Se esta expressão for, pelo menos razoavelmente, satisfeita, então E_1 e E_2 devem ser condicionalmente independentes.

Nesta avaliação utilizam-se tabelas de contingência, que expressam as possibilidades de combinação entre a presença e ausência dos padrões E_1 e E_2 (tabela 8.4) e o teste estatístico *chi-quadrado* (χ^2) que pode ser calculado segundo a expressão:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{4} \frac{(\text{Observado}_i - \text{Esperado}_i)^2}{\text{Esperado}_i}, \qquad \text{(Equação 33)}$$

e comparado com valores tabelados de *chi-quadrado*, a um grau de liberdade. Num nível de probabilidade de 98%, por exemplo, só há razão para se rejeitar a hipótese da independência condicional quando χ^2 resultar maior que 5,4. Este limite baixa para 3,8 num nível de probabilidade de 95%.

	E_1 presente	***E_1 ausente***	***Total***
E_2 presente	$N\{E_1 \cap E_2 \cap D\}$	$N\{E_1 \cap E_2 \cap D\}$	$N\{E_2 \cap D\}$
E_2 ausente	$N\{E_1 \cap E_2 \cap D\}$	$N\{E_1 \cap E_2 \cap D\}$	$N\{E_2 \cap D\}$
Total	$N\{E_1 \cap D\}$	$N\{E_1 \cap D\}$	$N\{D\}$

Tabela 8.4. Tabela de contingência para teste de independência condicional. Os valores que preenchem a tabela são ora os valores esperados, assumindo-se a independência dos mapas, (calculados através do lado direito da equação 33), ora os valores observados (medidos diretamente dos dados).

8.3.2. Aplicação do método dos pesos de evidência ao mapeamento do potencial aurífero da área de estudo

Como este método tem caráter mais restritivo que o anterior, baseando-se estatisticamente nas ocorrências conhecidas, a seleção de novas áreas potenciais só faz sentido sob as mesmas condições destas ocorrências. Dessa forma o mapa de corte utilizado restringiu-se às unidades litológicas onde existem ocorrências auríferas (figura 8.8).

Escolhida a área de estudo para aplicação do método (figura 8.8), esta área vai ser definida como mapa base da análise (*basemap*). Os passos a seguir são, sucintamente:

1. Seleção dos mapas de evidência, que devem ser submetidos a esquemas de reclassificação para conversão em mapas binários (de apenas duas classes), de forma a otimizar-se a associação espacial entre cada um e os depósitos conhecidos.

2. Teste de independência condicional entre os pares de mapas, de forma a eliminar-se ou combinar-se os mapas condicionalmente dependentes.

3. Aplicação do método dos pesos de evidência na construção do mapa de potencial aurífero em termos de probabilidade posterior.

4. Avaliação dos resultados.

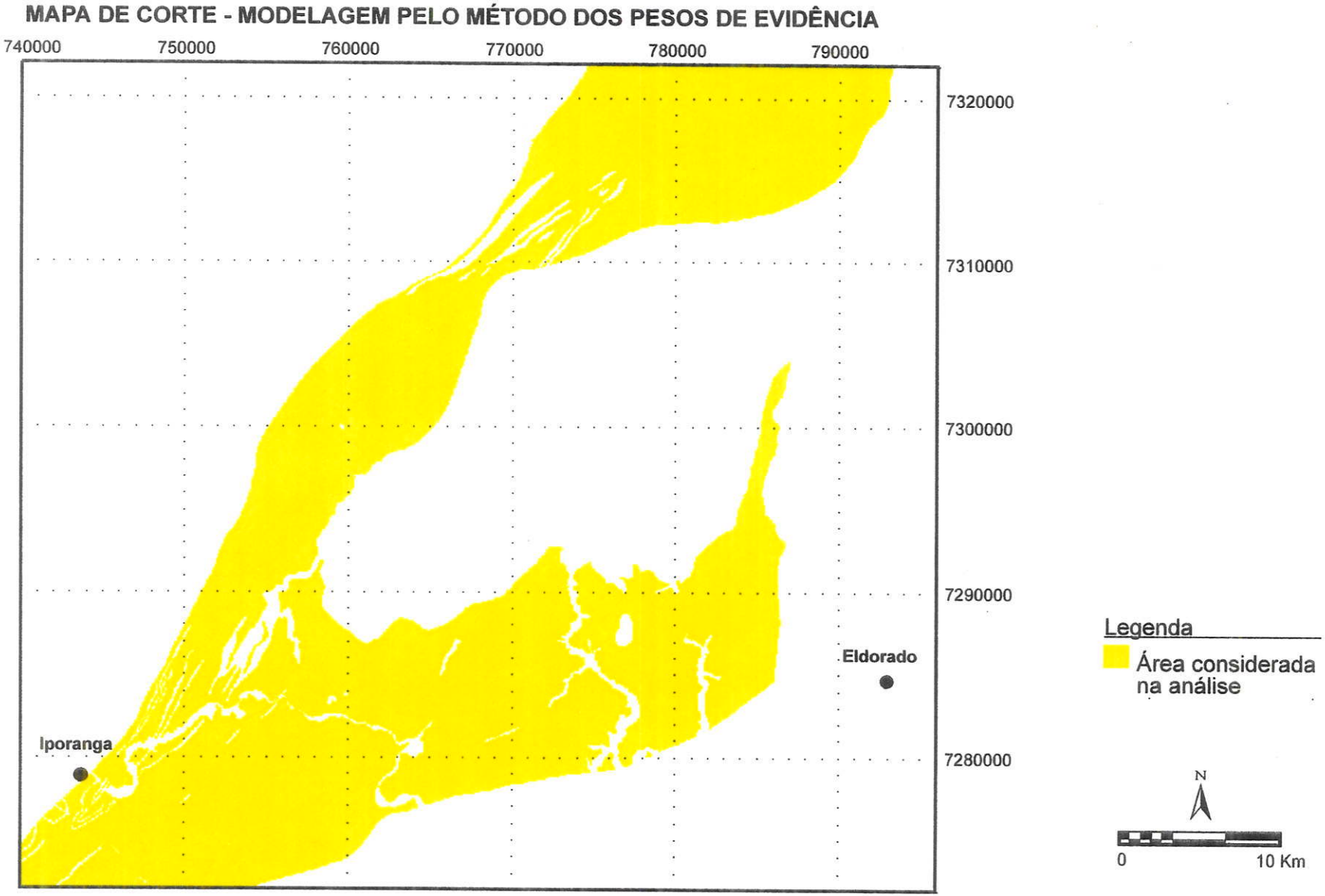


Figura 8.8. Mapa de corte, booleano, utilizado como mapa-base na modelagem pelo método dos pesos de evidência. Inclui as unidades mineralizadas. Prioridade prévia de depósitos = 0,00824.

8.3.2.a. Seleção dos mapas de evidência

Os mapas de evidência foram selecionados através do método dos pesos de evidência, a partir dos mapas temáticos (multiclasses) de litologia; anomalias geoquímicas de arsênio, chumbo, cobre, cromo, ferro, níquel, prata e ouro; aerogamaespectrometria (razão U/K); proximidade de estruturas favoráveis, de lineamentos magnéticos e do contato com metabásicas (da Unidade Piririca e possíveis correlatas). Para aplicação deste método utilizou-se além do programa *SPANS-GIS* programas aplicativos, desenvolvidos por G.F. Bonham-Carter e colaboradores, gentilmente cedidos por estes autores.

Na seleção dos mapas de evidência o programa utilizado foi o *WTS*, nele são calculados os pesos de evidência W^+ e W^- para cada classe dos mapas temáticos (multiclasses) e o Contraste (C), definido como a diferença entre W^+ e W^-, além dos desvios padrão de cada um destes valores. O Contraste (C) vai resultar positivo e maior que 1 quando a evidência possuir forte correlação positiva com os depósitos, e ao contrário, negativo no caso de correlação negativa. Por outro lado, quando a evidência tiver pouca ou nenhuma correlação com os depósitos, $W^+ \cong W^- \cong 0$, e o contraste resulta próximo a zero. Neste caso a evidência deve ser descartada. O programa *WTS* utiliza arquivos de extensão *REP*, produzidos pelo *SPANS-GIS* numa análise do tipo *area*, que indica a área de cada classe do mapa analisado. Utiliza também a tabela de ocorrências de ouro primário (que consta de 71 pontos na área do mapa base) acrescida de campo referente à classe do mapa em que o ponto se encontra, obtido da modelagem do tipo *append class* no *SPANS-GIS*. O *WTS* requisita ainda o tamanho da célula (unidade de área), que foi escolhida como de 0,1 km^2. Os resultados obtidos são escritos num arquivo *ascii* de extensão *WTS*.

No caso do mapa litológico os resultados produzidos nesta análise estão expostos na tabela 8.5, já excluídas as classes, ou unidades litológicas, que não continham depósitos e portanto W^+, W^- e C resultaram zero. Diante destes resultados foram construídos três mapas binários de evidência. O mapa de filitos carbonosos da Unidade Piririca (classe 31), o mapa de calciofilitos (classe 32) e em conjunto o mapa das metabásicas/ultrabásicas da mesma unidade (classe 33) e correlatas a norte no domínio Votuverava (classe 28).

Para análise de mapas de isodistâncias (*buffers*) os pesos W^+ e W^- são medidos cumulativamente a partir da classe mais próxima da estrutura linear ou contato, e como classe de corte considera-se aquela em que o contraste (C) atinge o valor máximo.

A tabela 8.6 traz os resultados da análise do mapa de proximidade do contato com metabásicas favoráveis. Observa-se forte correlação com esta evidência que gerou o mapa

binário das distâncias de 0 a 100 m (classe 1 - a partir desta classe o valor de contraste já diminui).

classe	*área*	*pontos*	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	*C*	*s(C)*
24	1405	4	-1,0682	0,5007	0,1211	0,1227	-1,1882	0,5155
26	172	1	-0,3569	1,0029	0,0061	0,1200	-0,3630	1,0101
27	379	1	-1.1465	1,0013	0,0312	0,1200	-1.1776	1,0085
28	41	1	1,0993	1,0124	-0,0095	0,1200	1,1087	1,0195
31	986	41	1,6524	0,1595	-0,7442	0,1829	2,3966	0,2427
32	59	14	3,6164	0,3058	-0,2143	0,1329	3,8307	0,3334
33	83	7	2,3977	0,3949	-0,0948	0,1255	2,4925	0,4143
34	4028	2	-2,8169	0,7073	0,6084	0,1213	-3,4254	0,7176

Tabela 8.5. Pesos de evidência calculados para o mapa litológico. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

classe	*área*	*pontos*	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	*C*	*s(C)*
1	176	19	2,6767	0,2429	-0,2929	0,1391	2,9695	0,2799
2	309	25	2,3592	0,2086	-0,4002	0,1479	2,7594	0,2557
3	436	29	2,1485	0,1922	-0,4762	0,1547	2,6247	0,2467
4	546	32	2,0123	0,1822	-0,5370	0,1605	2,5493	0,2428
5	666	36	1,9272	0,1714	-0,6307	0,1694	2,5578	0,2410
6	788	37	1,7794	0,1684	-0,6443	0,1719	2,4237	0,2406
7	889	39	1,7079	0,1638	-0,6921	0,1771	2,4000	0,2412
8	1009	40	1,6028	0,1613	-0,7083	0,1800	2,3111	0,2417
9	1108	40	1,5060	0,1610	-0,6952	0,1800	2,2012	0,2415
10	1221	42	1,4557	0,1570	-0,7469	0,1861	2,2026	0,2435

Tabela 8.6. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de proximidade do contato com unidades metabásicas favoráveis. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

Para análise das evidências geoquímicas foram utilizados os mapas de bacias anômalas para cada elemento mas considerando-se as classes "anomalia presente" (classe 2), "anomalia ausente" (classe 1 - para as bacias em que o elemento foi analisado mas não é anômalo), e "dados ausentes" (classe 0 - para as áreas em que não se dispõe de dados). Os resultados obtidos estão descritos nas tabelas 8.7 a 8.14 e a partir deles concluiu-se que os mapas de anomalias de ouro e ferro devem ser eliminados. O primeiro demonstrou correlação negativa com as mineralizações, o que, em tratando-se do próprio ouro, deve refletir o problema de densidade de amostragem, e o segundo mostrou valores de W^+ e Contraste (C) muito baixos, indicando baixa correlação. De fato outros elementos foram testados, tais como zinco e molibdênio, mas analogamente ao ouro e ferro, evidenciaram pouca correlação com o tipo de depósito estudado.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	6012	29	-0,5388	0,1861	0,6792	0,1556	-1,2179	0,2431
1	2190	7	-0,9524	0,3786	0,1913	0,1256	-1,1436	0,3989
2	414	35	2,4069	0,1767	-0,6337	0,1670	3,0407	0,2431

Tabela 8.7. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de arsênio. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	3273	17	-,4645	0,2432	0,2059	0,1368	-0,6704	0,2790
1	4816	14	-1,0473	0,2677	0,6058	0,1335	-1,6530	0,2991
2	527	40	2,2896	0,1645	-0,7699	0,1800	3,0596	0,2438

Tabela 8.8. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de chumbo. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	3273	17	-0,4645	0,2432	0,2059	0,1368	-0,6704	0,2790
1	4713	24	-0,4844	0,2046	0,3830	0, 1468	-0,8674	0,2518
2	631	30	1,7930	0,1871	-0,4762	0,1566	2,2692	0,2440

Tabela 8.9. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de cobre. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	3273	17	-0,4645	0,2432	0,2059	0,1368	-0,6704	0,2790
1	4969	49	0,1812	0,1436	-0,3142	0,2138	0,4954	0,2576
2	374	5	0,4876	0,4502	-0,288	0,1236	0,5164	0,4669

Tabela 8.10. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de ferro. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	3826	20	-0,4580	0,2242	0,2585	0,1408	-0,7165	0,2647
1	4621	42	0,0989	0,1550	-0,1279	0, 1864	0,2268	0,2424
2	170	9	1,9061	0,3425	-0,1165	0,1275	2,0227	0,3655

Tabela 8.11. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de cromo. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	3273	17	-0,4645	0,2432	0,2059	0,1368	-0,6704	0,2790
1	4723	36	-0,0784	0,1673	0,0877	0, 1698	-0,1661	0,2384
2	621	18	1,2785	0,2392	-0,2192	0,1378	1,4977	0,2761

Tabela 8.12. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de níquel. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	5209	32	-0,2958	0,1773	0,3318	0,1609	0,1611	0,2395
1	3302	15	-0,5991	0,2588	0,2482	0,1343	-0,8472	0,2916
2	105	24	3,5634	0,2321	-0,4029	0,1463	3,9663	0,2744

Tabela 8.13. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de prata. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
0	6454	70	0,2774	0,1202	-2,8881	1,0002	3,11655	1,0074
1	1058	0						
2	1103	1	-2,22151	1,0005	0,1240	0,1201	-2,33916	1,0076

Tabela 8.14. Pesos de evidência calculados para o mapa de anomalias de ouro. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

O resultado obtido da análise dos mapas estruturais (tabelas 8.15 a 8.18) determinou a construção de dois mapas binários de evidências, um relativo às distancias de até 400m de fraturas NS e o outro às distâncias de até 600 m das falhas distensivas. As outras evidências analisadas não representaram correlação significativa com as ocorrências.

Da mesma forma o mapa de isodistâncias até 1000m a partir de lineamentos magnéticos foi eliminado pois apresentou peso positivo sempre baixo ou negativo assim como o contraste cumulativo (tabela 8.19), indicando pouca correlação com as ocorrências conhecidas.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
1	280	2	-0,1454	0,7096	0,0045	0,1209	-0,1500	0,7199
2	530	5	0,1362	0,4493	-0,0096	0,1236	0,1457	0,4660
3	782	5	-0,2554	0,4487	0,0223	0,1236	-0,2777	0,4654
4	1012	5	-0,5148	0,4483	0,0524	0,1236	-0,5671	0,4651
5	1245	8	-0,2507	0,3547	0,0369	0,1265	-0,2876	0,3766
6	1481	11	-0,1050	0,3026	0,0205	0,1296	-0,1255	0,3292
7	1686	14	0,0076	0,2684	-0,019	0,1330	0,0095	0,2995
8	1915	16	0,0138	0,2511	-0,0040	0,1354	0,0178	0,2852
9	2121	19	0,0844	0,2305	-0,0291	0,1392	0,1135	0,2692
10	2346	23	0,1754	0,2095	-0,0743	0,1449	0,2497	0,2548

Tabela 8.15. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de zonas de cisalhamento transcorrente dúctil-rúptil e rúptil-dúctil de direção NE. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
1	876	10	0,3290	0,3180	-0,0449	0,1285	0,3739	0,3430
2	1529	12	-0,0491	0,2898	0,0103	0,1307	-0,0594	0,3179
3	2276	23	0,2061	0,2096	-0,855	0,1449	0,2916	0,2548
4	2794	25	0,0830	0,2009	-0,0424	0,1480	0,1254	0,2495
5	3378	30	0,0755	0,1834	-0,0518	0,1568	0,1273	0,2413

Tabela 8.16. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de estruturas rúpteis NE-SW/EW. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
1	48	2	1,6461	0,7222	-0,0231	0,1209	1,6693	0,7322
2	89	3	1,4293	0,5873	-0,0330	0,1218	1,4623	0,5998
3	133	7	1,8971	0,3883	-0,0889	0,1255	1,9860	0,4081
4	176	9	1,8653	0,3422	-0,1157	0,1275	1,9810	0,3651
5	223	13	2,0053	0,2858	-0,1773	0,1318	2,1826	0,3147
6	272	16	2,0151	0,2577	-0,2248	0,1353	2,2399	0,2910
7	317	18	1,9770	0,2427	-0,2567	0,1378	2,2344	0,2791
8	367	19	1,8805	0,2356	-0,2698	0,1391	2,1503	0,2736
9	412	21	1,8643	0,2240	-0,3037	0,1419	2,1680	0,2651
10	461	22	1,7970	0,2185	-0,3181	0,1433	2,1151	0,2613

Tabela 8.17. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de zonas de cisalhamento normais distensivas de direção NE. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
1	182	6	1,4084	0,4151	-0,0674	0,1245	1,4759	0,4334
2	333	11	1,4125	0,3066	-0,1299	0,1296	1,5424	0,3329
3	545	24	1,7125	0,2088	-0,3496	0,1463	2,0621	0,2549
4	683	32	1,7773	0,1811	-0,5198	0,1605	2,2972	0,2420
5	847	34	1,6155	0,1750	-0,5517	0,1648	2,1672	0,2404

Tabela 8.18. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de fraturas NS. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

classe	área	pontos	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)
1	735	5	-0,1942	0,4487	0,0164	0,1236	-0,2105	0,4655
2	1429	10	-0,1648	0,3173	0,0298	0,1286	-0,1946	0,3424
3	2145	14	-0,2349	0,2681	0,0672	0,1330	-0,3021	0,2993
4	2853	21	-0,1139	0,2190	0,0520	0,1420	-0,1659	0,2610
5	3593	27	-0,0927	0,1932	0,0615	0,1514	-0,1542	0,2454
6	4280	31	-0,1299	0,1803	0,1138	0,1588	-0,2437	0,2403
7	4834	41	0,0292	0,1568	-0,0385	0,1833	0,0677	0,2412
8	5410	45	0,0096	0,1497	-0,0164	0,1969	0,0261	0,2474
9	5869	49	0,0133	0,1435	-0,0291	0,2141	0,0424	0,2577
10	6328	55	0,0539	0,1354	-0,1659	0,2509	0,2198	0,2851

Tabela 8.19. Pesos de evidência cumulativos calculados para o mapa de lineamentos magnéticos NE-SW. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775.

O mapa de aerogamaespectrometria no seu tema razão U/K (26 níveis) apresentou boa correlação (próxima a 1) e contraste maior que 1 nas classes 7 e 9 (tabela 8.20). Estas classes representam dois intervalos de valores absolutos, entre 0,105 e 0,118, e entre 0,135 e 0,151 (ambos abaixo do *background* da área em 0,216). Indicam que a assinatura radiométrica dos depósitos estudados está associada a teores baixos a intermediários de Urânio (entre 5,2 e 20,8 cps) e intermediários a relativamente elevados de potássio (48,1 a 195,9 cps). Como estas assinaturas devem pelo menos em parte refletir os processos de alteração hidrotermal na área, e os depósitos conhecidos associam-se principalmente à zona

da carbonatação, onde sericita ocorre secundariamente, sugere-se que nesta zona da alteração os processos envolvidos causaram um enriquecimento relativo em potássio (o valor médio do intervalo estabelecido,122 cps, é maior que o *background* da área, 70,2) e um empobrecimento menos acentuado em urânio (o valor médio do intervalo, 13 cps, é mais baixo que *background* da área, 14,8).

A reclassificação do mapa da razão U/K com 26 intervalos gerou o mapa binário de gamaespectrometria razão U/K, combinando-se as classes 7 e 9 numa única.

classe	*área*	*pontos*	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	*C*	*s(C)*
6	73	1	0,5123	1,0069	-0,0057	0,1200	0,5180	1,0140
7	272	6	0,9978	0,4128	-0,0566	0,1245	1,0544	0,4312
8	616	4	-0,2403	0,5016	0,0164	0,1227	-0,2567	0,5164
9	1151	21	0,8049	0,2202	-0,2088	0,1419	1,0137	0,2620
10	1314	17	0,4556	0,2441	-0,1090	0,1366	0,5646	0,2797
11	1449	9	-0,2847	0,3344	0,0490	0,1276	-0,3337	0,3579
12	1125	5	-0,6215	0,4482	0,0675	0,1236	-0,6890	0,4650
13	840	2	-1,2480	0,7079	0,0747	0,1209	-1,3228	0,7182
14	669	2	-1,0190	0,7082	0,0527	0,1209	-1,0717	0,7184
15	385	1	-1,1608	1,0013	0,0318	0,1200	-1,1926	1,0085
16	262	1	-0,7746	1,0019	0,0169	0,1200	-0,7914	1,0091
18	102	1	0,1681	1,0049	-0,0022	0,1200	0,1703	1,0120

Tabela 8.20. Pesos de evidência calculados para o mapa de gamaespectrometria razão U/K (26 níveis). Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Nas classes não citadas não há ocorrências.

Assim, a análise dos mapas temáticos indicou como fatores fortemente positivos a presença de calciofilitos e metaultrabásicas/básicas da Unidade Piririca, anomalias de prata, arsênio, chumbo e a proximidade do contato das metaultrabásicas. Ainda bastante favorável é a presença de e filitos carbonosos, anomalias de cromo e cobre e a proximidade de falhas normais e fraturas NS. Razoavelmente positivas são as anomalias de níquel e os padrões radiométricos associados às classes 7 e 9 do mapa da razão U/K. A proximidade dos lineamentos rúpteis NE e EW constitui um fator fracamente positivo. Não apresentaram boa correlação com as ocorrências conhecidas, em parte devido a vasta expressão espacial, as proximidades de zonas de cisalhamento dúctil e de lineamentos magnéticos.

Com base neste resultado 13 mapas binários foram produzidos e receberam as denominações de (em ordem alfabética): *agb*, *asb*, *basib*, *crb*, *cub*, *fnormb*, *fratb*, *g2833b*, *g31b*, *g32b*, *nib*, *pbb* e *ukb*. Exceto os mapas geoquímicos, que contém também a classe 0, com o objetivo de se considerar a ausência de dados na estimativa, os demais mapas contém

apenas as classes 1 e 2 às quais vão ser atribuídos os pesos W^- e W^+ respectivamente, na aplicação da equação 29.

8.3.2.b. Teste de independência condicional

O teste de independência condicional destes mapas é feito com base num mapa do tipo *unique conditions*, produzido pelo *SPANS-GIS*, que traz todas as combinações possíveis entre as classes de todos eles. Juntamente com este mapa o *SPANS-GIS* gera uma tabela organizada segundo o tamanho em área das classes produzidas (em ordem descendente de área e ascendente do número da classe) e a combinação, das classes dos mapas originais, a que cada uma corresponde. A tabela de ocorrências também é acrescida de um campo correspondente ao mapa de *unique conditions.*

Estas tabelas foram utilizadas pelo programa *CIPP* para gerar os resultados do teste de independência condicional (tabela 8.21), que, respeitando-se o limite de $\chi^2_{.95,1}$ = 3,8, evidenciou como condicionalmente dependentes os pares: *agb-basib*, *agb-fnorb*, *agb-fratb*, *agb-g32b*, *agb-nib*, *agb-pbb*, *agb-ukb*, *asb-fnorb*, *asb-pbb*, *basib-g31b*, *basib-g32b*, *basib-pbb*, *crb-cub*, *crb-fratb*, *crb-g31b*, *crb-g32b*, *crb-nib*, *cub-fratb*, *cub-nib*, *cub-nib*, *fnorb-fratb*, *g31b-g32b*, *g31b-g33b*, *g32b-pbb*, *nib-pbb*.

Com base nestes resultados vários mapas puderam ser descartados da modelagem, já que, devido a presença de dependência condicional, estavam representados por outras evidências. São eles: *agb*, *basib*, *crb*, *cub*, *fnorb*, *g31b* e *pbb*. Novo mapa e tabela de *unique conditions* foram gerados então considerando-se apenas as evidências: *asb*, *fratb*, *g32b*, *g33b*, *nib*, *ukb*.

	agb	*asb*	*basib*	*crb*	*cub*	*fnorb*	*fratb*	*g31b*	*g32b*	*g33b*	*nib*	*pbb*	*ukb*
agb	0,00	1,08	**9,87**	0,65	0,08	**13,00**	**5,97**	3,15	**5,35**	0,17	**3,92**	**8,48**	**5,98**
asb		0,00	1,26	0,18	0,02	**4,54**	0,19	1,92	2,23	2,19	1,58	**9,16**	1,26
basib			0,00	1,76	0,31	3,19	1,24	**5,89**	**27,29**	1,52	1,30	**3,78**	0,02
crb				0,00	**5,72**	0,00	**11,73**	**10,75**	**7,30**	1,82	**6,53**	1,66	0,01
cub					0,00	2,64	**5,68**	0,27	0,02	0,25	**14,26**	**7,15**	0,06
fnorb						0,00	**5,99**	3,52	3,59	0,77	0,70	0,01	0,00
fratb							0,00	0,95	0,01	0,08	0,01	0,58	0,03
g31b								0,00	**20,98**	**8,15**	0,23	0,03	0,08
g32b									0,00	0,78	2,14	**4,35**	0,94
g33b										0,00	0,02	0,08	2,27
nib											0,00	**3,92**	0,50
pbb												0,00	0,86
ukb													0,00

Tabela 8.21. Teste de independência condicional entre as evidências selecionadas. Em negrito os valores acima do limite de $\chi^2_{.95,1}$ = 3,8, indicativo de presença de dependência condicional.

8.3.2.c. Mapa do potencial aurífero estimado por pesos de evidência.

O próximo passo é a utilização do programa *PREDICT*, que solicita a nova tabela de *unique conditions*, a tabela de ocorrências acrescida de campo correspondente a este mapa e o tamanho da célula unitária (0,1 km^2). Este programa vai calcular a probabilidade prévia de depósitos na área, os pesos de evidência W^+ e W^- de cada mapa envolvido (valores semelhantes aos já calculados no *WTS*), e com base nestes dados, a probabilidade posterior de depósitos para cada classe do mapa de *unique conditions* (*unicon*). Estes dados são listados, respectivamente, em dois arquivos, o *WTS.DAT* e a tabela *WEIGHTS.TBA*, esta deve ser importada para o *SPANS-GIS* e traz os dados necessários para a construção do mapa potencial através da equação:

x = table ('weights'),class('unicon'),'postp'); (Equação 34)
x

O mapa final (*x*) é gerado em dois estágios de aplicação da equação acima: no primeiro gera-se um esquema de classificação por *quantiles* (20 níveis) a partir dos valores do campo 'postp' (probabilidade posterior), da tabela *weights.tbb*, que correspondem a cada classe do mapa *unicon*. No segundo gera-se o mapa *postp* a partir do esquema de classificação.

No mapeamento do potencial mineral de uma área, onde assume-se a probabilidade prévia como a média da densidade de depósitos pontuais conhecidos, um último teste pode ser aplicado na determinação do número total de depósitos pontuais previstos, através da equação:

$$N\{D\}_{calc} = \sum_{k=1}^{m} P_k \cdot N\{A\}_k \qquad \text{(Equação 35)}$$

onde N{D} é o número de depósitos previstos, determinado pela somatória dos produtos das áreas em unidades de célula N{A} pela probabilidade posterior P de todos as classes (k=1,2,3,...m) do mapa.

Segundo Bonham-Carter (1994), se o total de depósitos previstos é muito maior que 10% do número de depósitos observados, é possível que a independência condicional esteja sendo violada, e novos procedimentos como eliminação de mapas ou combinações entre mapas dependentes devem ser desenvolvidos na resolução deste problema.

Durante a operação do programa *PREDICT* este fornece na tela o número de depósitos previsto, e portanto o mapa potencial só será construído se este número não exceder os limites de tolerância. No caso do mapa de *unique conditions* produzido este número resultou

exageradamente alto, 112,48, e portanto 58% maior que o número de ocorrências conhecidas (71).

Numa análise mais detalhada dos mapas de evidência, e de seus respectivos pesos, verificou-se que em áreas relativamente extensas a coincidência de padrões muito favoráveis resultavam em somatórias de peso positivo W^+ elevadas. Procedeu-se então com a restrição espacial das evidências *fratb*, *asb* e *nib*. No caso do mapa de fraturas NS, foi construído um novo mapa (*frat2b*), em que a evidência restringiu-se a classe 2 (ou 200 m a partir das fraturas). Além de um peso W^+ menos elevado que o anterior (ver tabela 8.18) este mapa tem sua área de evidência restringida em aproximadamente 50%.

Já os mapas *asb* e *nib* foram combinados numa operação *booleana* do tipo adição que resultou no mapa *niquas*, com peso W^+ da evidência positiva intermediário entre o dos dois padrões isolados. Para restrição da área da evidência, este mapa foi submetido a operação do tipo *overlay-matrix* com um mapa binário de litologias não desfavoráveis (*litndesf*), onde a classe 1 representa as unidades litológicas, onde há ocorrências, mas que não estão representadas nos mapas de evidências *g32b* e *g33b*. Estas (que representam as principais unidades mineralizadas, mas que já constituem evidências) e as demais onde não há ocorrências compuseram a classe 0. Na confecção da matriz de combinação entre ambos (tabela 8.22) considerou-se como classe 0, ou ausência de dados, as áreas onde efetivamente não se dispõe de dados e as áreas onde há anomalia mas que não há litologia favorável. Na classe 1, ou ausência de anomalia, estão representadas as áreas nesta condição, e as áreas onde os dados estão ausentes mas a litologia é desfavorável. A classe 2 representa a coincidência entre os dois padrões positivos. O mapa gerado recebeu a denominação de *niquasb*, cujos pesos de evidência estão mostrados na tabela 8.23.

		niquas		
		0	1	2
litndesf	0	1	1	0
	1	0	1	2

Tabela 8.22. Matriz de combinação dos mapas *niquas* e *litndesf* para geração do mapa *niquasb*.

classe	*área*	*pontos*	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	*C*	*s(C)*
0	5117	46	0,0879	0,1481	-0,1440	0,2007	0,2320	0,2494
1	3067	7	-1,2899	0,3784	0,3396	0,1257	-1,6294	0,3987
2	432	18	1,6531	0,2408	-0,2426	0,1378	1,8957	0,2774

Tabela 8.23. Pesos de evidência calculados para o mapa *niquasb*. Áreas em unidades de célula. Célula unitária é igual a 0,1 km^2. Área total é igual a 861,775. Classe 0 corresponde a ausência de dados, classe 1 a anomalia ausente e classe 2 a anomalia presente.

O novo mapa de *unique conditions* elaborado envolveu portanto os mapas: *frat2b*, *g32b*, *g33b*, *niquasb* e *ukb*, e o número de depósitos previstos reduziu-se a aproximadamente 76 ou 7% a mais que as ocorrências conhecidas, validando portanto a nova estimativa. O resultado do teste de independência condicional para este caso é mostrado na tabela 8.24.

	fratb	*g32b*	*g33b*	*niquasb*	*ukb*
fratb	0,00	0,02	0,01	0,82	0,05
g32b		0,00	0,78	0,25	0,26
g33b			0,00	2,38	2,27
niquasb				0,00	0,90
ukb					0,00

Tabela 8.24. Resultado do teste de independência condicional entre os mapas selecionados para modelagem final por pesos de evidência.

Os resultados obtidos listados no arquivo *WTS.DAT* estão expostos na tabela 8.25 e o mapa de potencial aurífero construído é mostrado na figura 8.9.

padrão	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	*C*	*s(C)*
fratb	1,413	0,307	-0,130	0,130	1,542	0,333
g32b	3,616	0,306	-0,214	0,133	3,831	0,333
g33b	2,398	0,395	-0,095	0,125	2,493	0,414
niquasb	1,797	0,241	-1,146	0,378	2,943	0,448
ukb	0,845	0,194	-0,300	0,151	1,145	0,246

Tabela 8.25. Pesos de evidência utilizados na estimativa do potencial aurífero da área.

Em vista da probabilidade prévia de 0,00824 o mapa gerado foi reclassificado para conter apenas as classes com probabilidades posteriores acima desse limiar (figura 8.10). Das 71 ocorrências observadas nesta área de modelagem, 52 (ou 73%) coincidem com algum dos padrões do mapa da figura 8.10.

MAPA DA PROBABILIDADE POSTERIOR DE DEPÓSITOS - MODELAGEM PELO MÉTODO DOS PESOS DE EVIDÊNCIA

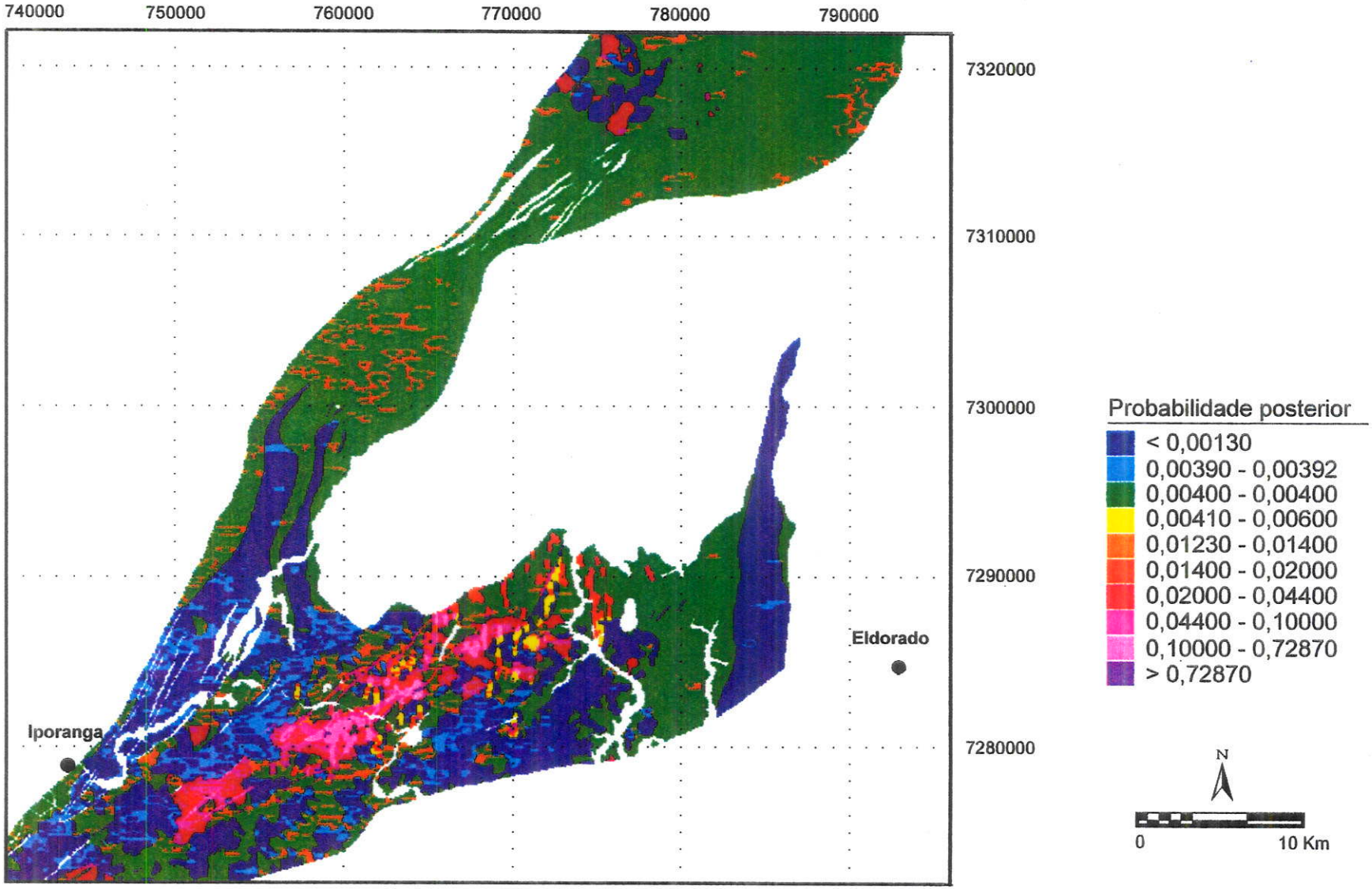


Figura 8.9. Mapa de probabilidade posterior de depósitos. Combinação dos mapas *frat2b, g32b, g33b, niquasb, ukb.* Modelagem pelo método dos pesos de evidência.

MAPA DA PROBABILIDADE POSTERIOR DE DEPÓSITOS - MODELAGEM PELO MÉTODO DOS PESOS DE EVIDÊNCIA

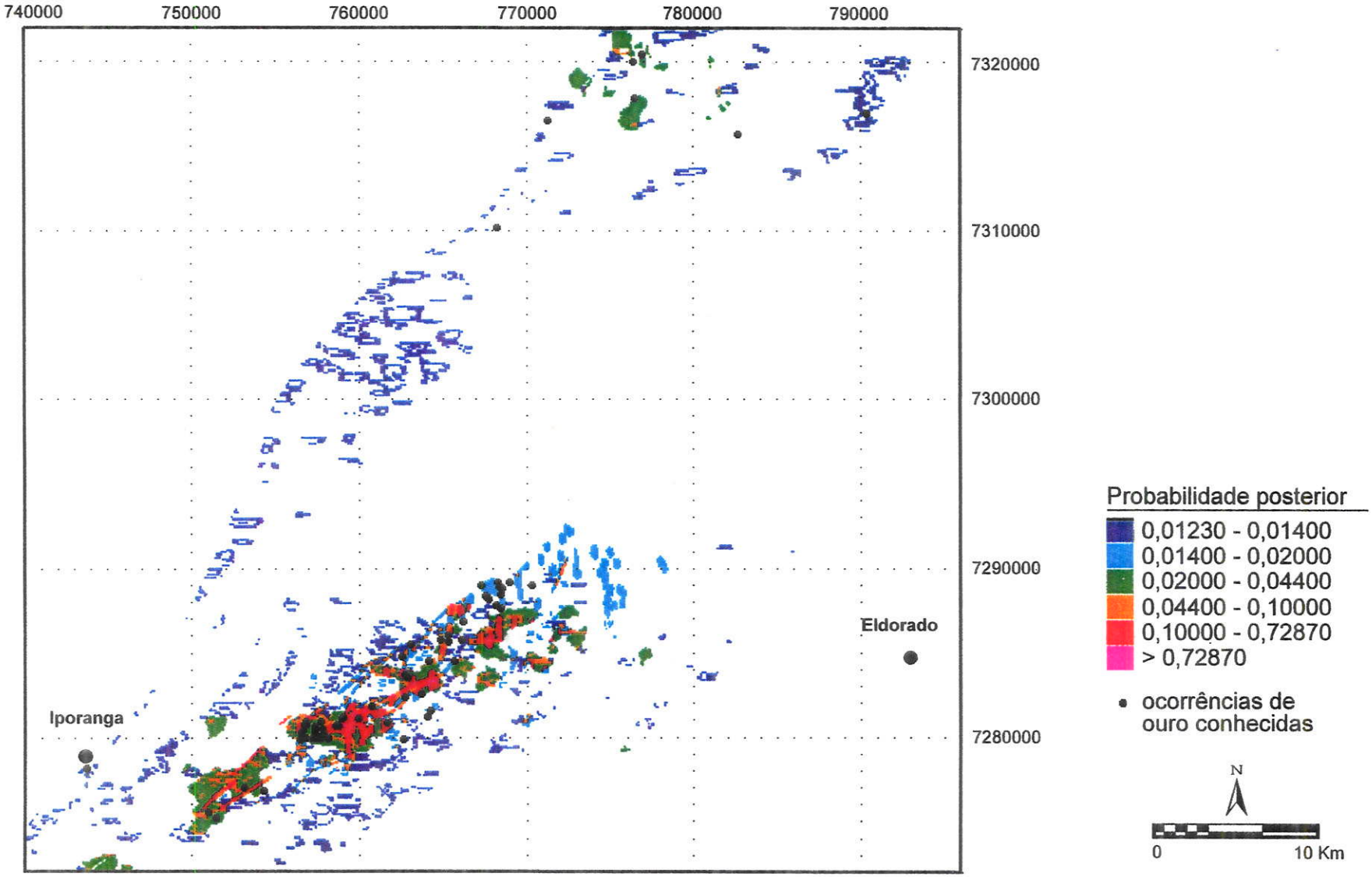


Figura 8.10. Mapa de probabilidade posterior de depósitos. Reclassificado para conter somente as áreas com probabilidade posterior maior que a probabilidade prévia. Modelagem por pesos de evidência. Superposição dos pontos de ocorrência de ouro.

9. COMPARAÇÃO DOS MODELOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No geral os resultados obtidos mostraram uma razoável coincidência entre os dois tipos de modelagem utilizados.

A correlação gráfica entre os dois mapas previsionais, na área de afloramento da Unidade Piririca, é mostrada no mapa da figura 9.1, elaborado a partir da reclassificação de um mapa do tipo *unique conditions* entre os resultados finais de indexação (reclassificado para 6 níveis, para compatibilização de número de classes) e de probabilidade posterior (figura 8.10), segundo a tabela 9.1. A hierarquia das classes do mapa de correlação respeita uma ordem crescente de favorabilidade.

	<0,0123	*0,01230-0,01400*	*0,01400-0,02000*	*0,02000-0,04400*	*0,04400-0,10000*	*0,10000-0,72870*	*>0,72870*
0	0	0	1	1	2	2	3
9	0	1	1	2	2	3	4
10-11	1	1	2	2	3	3	4
12-13	1	2	2	3	3	4	5
14-15	2	2	3	3	4	5	5
16-17	2	3	3	4	5	5	6
18	3	4	4	5	5	6	6

Tabela 9.1. Tabela de reclassificação aplicada ao mapa de *unique conditions* gerado a partir da combinação dos mapas finais de indexação (linhas) e probabilidade posterior (colunas).

Esta correlação positiva entre os modelos previsionais indica a coerência dos pesos atribuídos aos submodelos indexados, o que constitui uma vantagem na aplicação deste método, de implementação computacional muito mais simples e possível em qualquer **SIG**.

Por outro lado, a modelagem por pesos de evidência, dado seu caráter objetivo, evitando a escolha subjetiva de pesos, fornece mais segurança ao pesquisador. Uma grande vantagem deste método é a possibilidade de se estimar estatisticamente as incertezas decorrentes da ausência de dados, o que é muito interessante principalmente no caso da avaliação das evidências geoquímicas, onde a densidade de amostragem raramente oferece uma cobertura completa e as áreas onde há ausência de dados sempre será modelada como mais potencial que as áreas onde o levantamento não indicou anomalias.

A grande desvantagem deste método decorre da dificuldade de sua implementação. Nenhum dos **SIG**s comercializados atualmente dispõe de rotinas para sua aplicação.

Outra dificuldade decorre do problema da hipótese da independência condicional entre mapas de evidência. As evidências geológicas são, no geral, intimamente associadas. É muito

comum que as anomalias geoquímicas relacionem-se às litologias e estas por sua vez disponham-se segundo a estruturação regional, que comumente controla a percolação de fluidos mineralizantes no caso de depósitos epigenéticos. Fechando este círculo de dependência, a gamaespectrometria, por vezes referida como "geoquímica aérea", pode apresentar correlações com todos os padrões anteriores. No caso em estudo verificou-se, por exemplo, na combinação dos mapas *asb*, *fratb*, *g32b*, *g33b*, *nib* e *ukb* que apesar do resultado do teste de independência condicional mostrar valores bem abaixo dos limites tolerados de χ^2 (tabela 8.20), o número de depósitos previstos resultou exagerado, indicando ainda certa dependência entre estes mapas. Apesar termos recebido do Prof. Dr. G. F. Bonham-Carter os programas aplicativos para geração dos dados estatísticos necessários a implantação do método, o que evitou o seu cálculo manual, as inúmeras combinações possíveis entre mapas de evidência, aqui não apresentadas, demandou um gasto significativo de tempo para construção de cada mapa de *unique conditions* no *SPANS-GIS*. Por outro lado, quando uma evidência é descartada da análise o que pode ocorrer é uma diminuição pouco significativa do número de depósitos previstos, já que contribui para uma menor restrição da área de influência das outras evidências. Assim a combinação de poucos mapas de evidência gera um mapa de *unique conditions* com poucas classes, cada uma de distribuição areal extensa, e portanto resultando num número elevado de depósitos previstos, já que cada um corresponde a uma unidade de área.

O método da Indexação de *overlays* assim como outros semelhantes na combinação de múltiplos mapas de evidência, como por exemplo modelo da lógica *booleana* que envolve operações de adição linear e intersecção entre mapas (Bonham-Carter *et al.* 1988), e portanto aplicável nos casos em que ocorram também evidências mutuamente exclusivas, e lógica *fuzzy*, que permite combinações ponderadas mais flexíveis entre mapas (Zimmermann 1985 *in:* Bonham-Carter 1994, An *et al.* 1991), estão vinculados a modelos empíricos subjetivos, utilizando o conhecimento dos processos envolvidos na estimativa da importância relativa das evidências. Nestes métodos a presença de depósitos conhecidos fornece mais um fator de embasamento para a ponderação, mas não é uma condição necessária para sua aplicação.

Ao contrário, o método dos pesos de evidência e outros métodos dirigidos pelos dados, como por exemplo regressão logística (Bonham-Carter & Chung 1983, Chung & Agterberg 1980, Agterberg 1989), só é aplicável em regiões onde um significativo número de ocorrências é conhecido.

Na região do Vale do Ribeira estudada, apesar de um número suficientemente grande ocorrências conhecidas, estas mostram-se muito concentradas na área de afloramento da

Unidade Piririca, de forma que esta área resultou como a de mais altos valores de probabilidade posterior. Se por um lado este resultado pode decorrer de um problema de amostragem, por outro, um resultado semelhante na modelagem por indexação de overlays (de caráter menos restritivo), pode evidenciar que condições semelhantes a esta faixa (como ambiente paleogeográfico e estruturas condicionantes da mineralização) não se associaram favoravelmente em outras áreas exceto em porções restritas. Como os modelos gerados baseiam-se fortemente nesta densidade de ocorrências, parte delas, que guardam alguma diferença de tipologia, caem em áreas de menor probabilidade (figura 8.10) ou menos favoráveis (figura 8.7). Mas é interessante notar que, na sua grande maioria, estas ocorrências não "modeladas" são de pequena importância, e em algumas o ouro ocorre apenas como componente menor na assembléia de elementos economicamente exploráveis, dominada por chumbo, prata e menos comumente cobre.

Um teste final para ambas estimativas, já que não foi possível a implementação de trabalhos prospectivos nas áreas modeladas favoravelmente, foi a superposição de um vetor correspondente a pequenas bacias, com teores anômalos de ouro superiores a 15 ppm (em concentrado de bateia - analisado por fusão total), na área do rio Pedro Cubas (dados inéditos de um levantamento de detalhe recente - do tipo *follow up* - em convênio da CPRM com empresa privada), que tiveram parte de suas áreas coincidindo, de fato, com padrões de alta probabilidade posterior ou altos índices de favorabilidade (figuras 9.2 e 9.3).

Com relação às hipóteses levantadas na condução da modelagem, verificou-se que as rochas metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca devem realmente constituir a principal área fonte do ouro na região. Os fluidos mineralizantes, de provável origem na devolatização metamórfica da pilha metavulcano-sedimentar foram gerados, devido a um aquecimento local, e em pequenos volumes, pois apesar da possibilidade de canalização através da rede de estruturas associada às zonas de cisalhamento, a percolação parece não ter sido muito extensa. Afetou essencialmente as próprias subvulcânicas, possibilitando sua alteração hidrotermal do tipo carbonatação e concomitante mineralização, e as unidades litológicas imediatamente adjacentes, da própria Unidade Piririca, que composicionalmente ricas em CO_2, constituíram litotipos reativos, favoráveis a deposição aurífera.

A correlação as ocorrências conhecidas com as anomalias geoquímicas confirmou as hipóteses levantadas, exceto no caso do ferro. Este fato deve refletir a distância em que se encontram da área fonte os litotipos enriquecidos neste elemento (por exemplo os metarenitos ferruginosos), que no geral é um importante catalisador nos processos de deposição do ouro.

Verificou-se ainda a correlação mais direta das ocorrências com as estruturas extensivas do Sistema de Cisalhamento Ribeira, desenvolvidas no seu domínio transtrativo. As unidades estratigraficamente indiferenciadas, a norte no Domínio Votuverava, que guardam semelhanças litológicas com a Unidade Piririca, dispõe-se essencialmente no domínio transpressivo deste sistema, e mostram apenas áreas favoráveis restritas.

Finalmente, os modelos prospectivos propostos, mostraram áreas potenciais, dentro da própria Unidade Piririca, onde ocorrências não são observadas, muitas vezes com índices de favorabilidade mais altos que das áreas dos depósitos conhecidos, estabelecendo-se assim prioridades para explorações futuras. Mas ressalta-se que a consistência dos modelos propostos pode ser significativamente ampliada, através de estudos de detalhe nos depósitos conhecidos, em busca de um modelo genético mais preciso, e de trabalhos de mapeamento básico, que possam contribuir com a evolução da cartografia geológica da região do Vale do Ribeira.

CORRELAÇÃO ENTRE OS DOIS MODELOS CONSTRUÍDOS

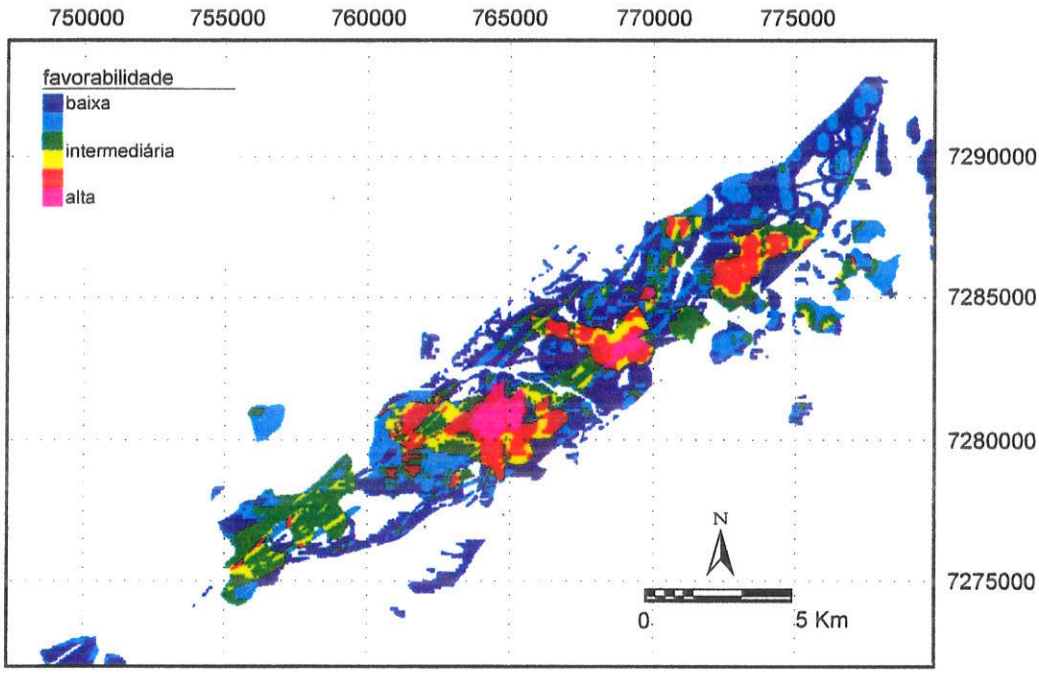


Figura 9.1. Mapa de correlação entre os modelos finais de indexação de *overlays* e pesos de evidência na área de afloramento da Unidade Piririca. Combinação dos mapas potenciais finais segundo os parâmetros expostos na tabela 9.1..

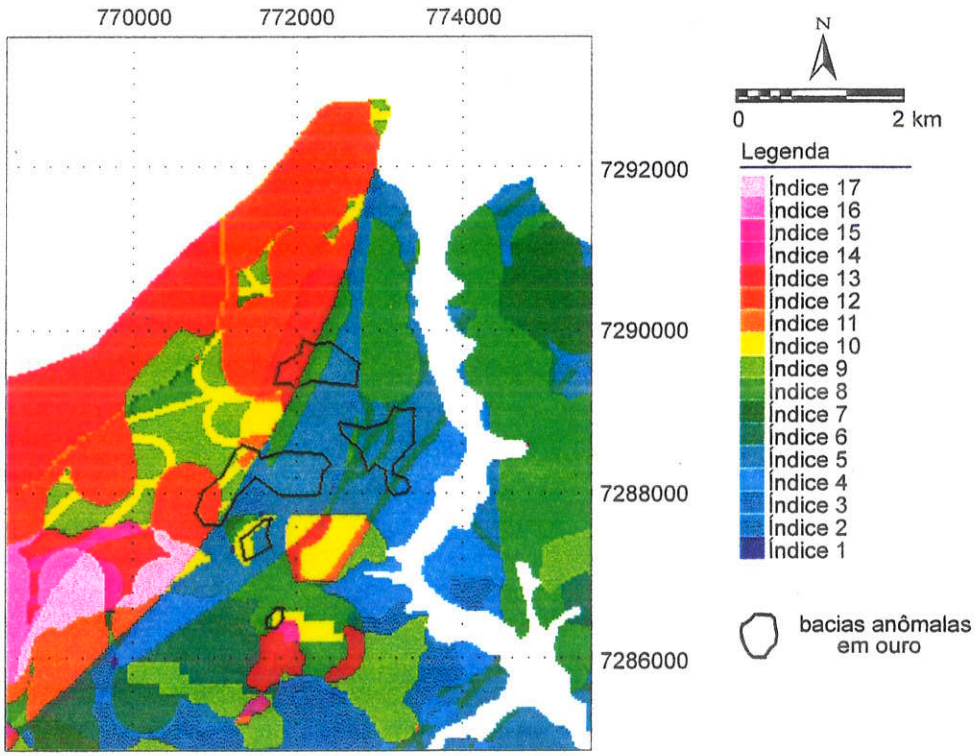


Figura 9.2. Mapa do potencial aurífero estimado pelo método da indexação de *overlays*. Detalhe da área da bacia do rio Pedro Cubas. Superposição do vetor de bacias anômalas em ouro.

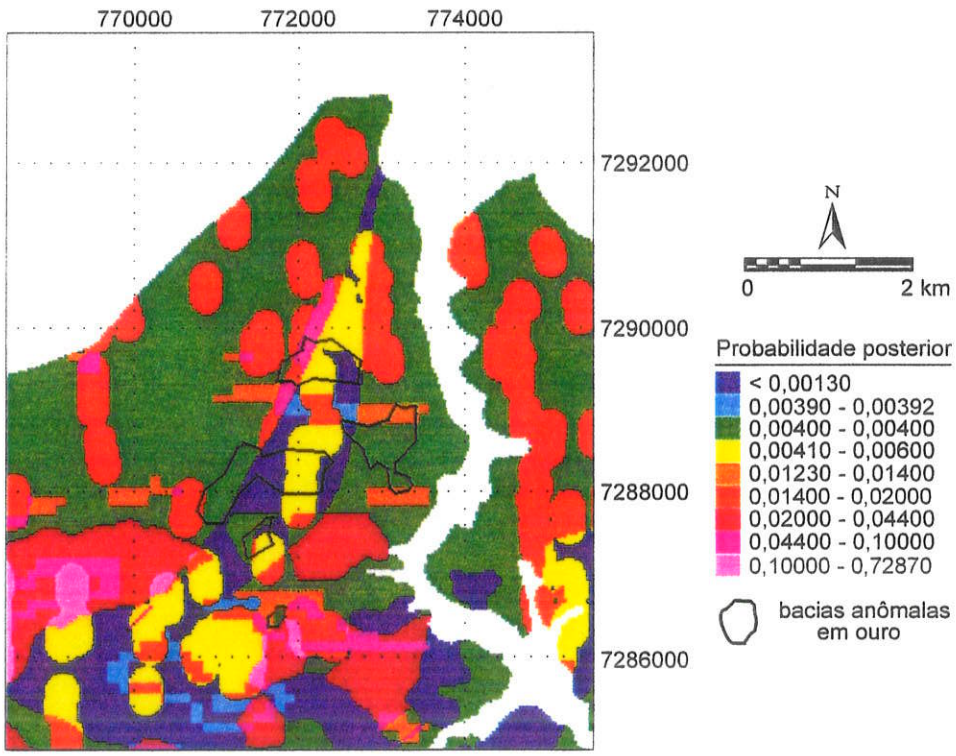


Figura 9.3. Mapa de probabilidade posterior de depósitos. Detalhe da área da bacia do rio Pedro Cubas. Superposição do vetor de bacias anômalas em ouro.

10. BIBLIOGRAFIA

ADDAS, W. & VINHA, C. A. G. da. 1975. *Projeto Sudelpa: relatório final reconhecimento geoquímico (parte 1 a 3).* São Paulo: Sudelpa / CPRM, 1975, v. 15/17.

ADDAS, W. & PINTO, G. G. 1979. Os sulfetos de Pb e associados das Regiões do Leite, Piririca, Passagem e Nhungara, Vale do Ribeira (SP): exemplos de detecção de áreas mineralizadas graças à prospecção geoquímica. In.: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA; 2, Gravatal, 1979. *Atas...* Gravatal, 1979, p. 161-168.

ADDAS, W.; PINHO FILHO, W. D. de; MORGENTAL, A. 1979. Chumbo e zinco: elementos utilizados como indicadores geoquímicos na descoberta de mineralizações epigenéticas de arsenopirita e pirita (possivelmente auríferos) no Vale do Ribeira(PR). In.: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. *Atas...* Rio Claro: SBG, 1979, v. 2, p. 101-115.

AGTERBERG, F. P. 1989. LOGDIA - FORTRAN 77 program for logistic regression with diagnostics: *Computers & Geosciences,.* **15**(4): 599-614

AGTERBERG, F. P. & BONHAM-CARTER, G. F. 1990. Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for the predicton of discrete events: *Proceedings 22nd APCOM Symposium,* Berlim, Germany, 1990. Technical University of Berlim, v.2:381-395.

AGTERBERG, F. P.; BONHAM-CARTER, G. F.; WRIGHT, D. F. 1990. Statistical pattern integration for mineral exploration: In: *Computer Applications in Resource Estimation Prediction and Assessment for Metals and Petroleum.* Ed: Gaál, G. e Merriam, D. F. Pergamon Press, Oxford-New York, p. 1-21.

ALEGRI, V.; PIZZATO, L. G.; FERRARI, C. P.; ADDAS, W.; MORGENTAL, L. A. 1980. *Projeto serra do Jabaquara: relatório de prospecção preliminar.* São Paulo: CPRM, 1980, 2 v.

ALGARTE, J. P. & HAMA, M. 1984. Projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais: Folha Itararé (SG.22-X-B), escala 1:250.000. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984, v. 7, p. 192-193.

ALGARTE, J. P.; DAITX, E. C.; CUNHA, H. C. da S.; CAVALCANTE, J. C.; YAMAMOTO, K.; KAEFER, L. Q.; CHIEREGATI, L. A. 1972. *Projeto Sudeste do Estado de São Paulo: Folha Itararé (SG.22-X-B)-mapa geológico.* São Paulo: DNPM/CPRM, 1972.

ALGARTE, J. P.; HAMA, M.; CHIODI FILHO, C.; MACEDO, A. B.; BEZERRA, J. de R. 1986. *Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais, Folha Itararé, escala 1:250.000.* São Paulo: CPRM, 1986, 2 v.

ALMEIDA, M. A. de. 1989. Geologia da Formação Água Clara na Região de Araçaíba (SP). São Paulo: IG/USP, 193 p.(Dissertação de Mestrado).

ALMEIDA, M. A. de; BISTRICHI, C. A.; STEIN, D. P. 1986. A Formação Água Clara na Região de Araçaíba,(SP): litotipos, metamorfismo e deformação. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia: SBG, 1986, v. 2, p. 905-918.

AN, P.; MOON, W. M.; RENCZ, A. 1991. Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data. *Canadian Journal of Exploration Geophysics,* **27**: 1-11.

BETTENCOURT, J. S. & RUEGG, N. R. 1972. O exame de diques de diabásio da Região de Guapiara, São Paulo. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. *Anais...*Belém: SBG, 1972, 296p. (Res. de Com.)

BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. 1958. Estudos preliminares na Série Açungui. VIII - Formação Votuverava. *Boletim Instituto de História Natural, Geol.,* **2**: 6 p. - Curitiba.

BIONDI, J. C. 1989. Tipologia de depósitos minerais com ouro. 177p. (inédito)

BIONDI, J. C. 1990. Metalogenias dos depósitos minerais em zonas de cisalhamento. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais ...* Natal: SBG, 1990. v. 3, p. 1267-1273.

BONHAM-CARTER, G. F. 1991. Integration of geoscientific data using GIS. In: Maguire, J. D.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. (eds). *Geographical Information Systems:principles and applications*. Longman, London, vol.1, pp:171-188.

BONHAM-CARTER, G. F. 1994. Geographic Information Systems for geoscientists. Modelling with GIS. *1st* edition. *Computer Methods in the Geosciences. vol.13.* Pergamon Press. Ontario, Canada. 398p.

BONHAM-CARTER, G. F. & CHUNG, C. F. 1983. Integration of mineral resource data for Kasmere Lake area, Northwest Manitoba with emphasis on uranium. *Computers & Geosciences,* **15**: 25-45.

BONHAM-CARTER, G. F.; AGTERBERG, F. P.; WRIGHT, D. F. 1988. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*, **54**(11):1585-1592.

BONHAM-CARTER, G. F.; AGTERBERG, F. P.; WRIGHT, D. F. 1989. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential: *In:* Agterberg, F. P. e Bonham-Carter, G. F.(ed.), *Statistical Applications in the Earth Sciences,*. Geological Survey of Canada Paper 89-9, p. 171-183.

BORIN JÚNIOR, T. 1983. *Projeto Pilões: relatório de prospecção prelilminar* . São Paulo: CPRM.

BORIN JÚNIOR, T. & FERRARI, C.1986. *Projeto Pilões. Reatório Final de Pesquisa*. São Paulo. CPRM. 1v.

BORIN JÚNIOR, T.; PINTO, G. G.; SILVA, A. A. G. P. da; MORGENTAL, A.; CASTRO, V. H. S. de. 1980. Mineralizações filoneanas polimetálicas contendo ouro e prata associados a metais básicos descobertos pelo Projeto Eldorado, Vale do Ribeira (SP). In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. *Anais...* Camboriú: SBG, 1980, v. 3, p. 1444-1458.

BOYLE, R. W. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. *Geological Survey of Canada Bulletin,* **280**:584 p.

BRAUX, C.; CASSARD, D.; DELPONT, G., BONNEFOY, D.; CORPEL, J.; LAGNY, P. 1991. Identification de secteurs à vocation aurifère dans un couloir tectonique régional par interprétation de données satellitaires, géologiques et géophysiques intégrées dans un Système d'information géographique. L'exemple du cisaillement sud-armoricain (France). *Chron. Rech. Min.*, **505**:19-34.

CÂMARA, M. M. 1992. Classificação das principais mineralizações auríferas primárias do Vale do Ribeira. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Anais...* São Paulo: SBG, 1992, v. 1, p. 236.(Bol. Res. Exp.).

CÂMARA, M. M. & PERROTTA, M. M. 1994. Análise de imagens aerogamaespectrométricas no estudo de zonas de alteração hidrotermal associadas a mineralizações auríferas no médio Vale do Ribeira-SP. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1994. *Anais...* Camboriú: SBG, 1994, v. 2, p. 123-125.(Bol. Res. Exp.)

CAMPANHA, G. A. da C. 1991 Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. São Paulo: IG/USP. (Tese de Doutoramento).

CAMPANHA, G. A. da C.; GIMENEZ FILHO, A.; CAETANO, S. L. V.; PIRES, F. A.; DANTAS, A. S. L.; TEIXEIRA, A. L.; DEHIRA, L. K. 1985. Geologia das Folhas Iporanga (SG.X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG.22- X-B-VI-1) (SP). São Paulo: IPT/PROMINÉRIO, 1985. (Relatório 22. 352).

CAMPANHA, G. A. da 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 (SP). In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia: SBG, 1986, v. 2, p. 1058-1073.

CAMPANHA, G. A. da C.; MACHADO JÚNIOR, D. de L.; NAGATA, N.; DANTAS, A. S. L.; ENS, H. H.; GIMENEZ FILHO, A.; BISTRICHI, C. A.; RONDINELLI, D.; MONMA, R.; MAEYAMA, O.; DEHIRA, L. K.; BODIGNON, J. L. 1988. Avaliação preliminar da geologia das Folhas (em 1:50.000) Taquaral, Mina do Espirito Santo, Ribeirão Itacolomi, Serra do Aboboral, Jacupiranga (Eldorado Paulista), Rio Guaraú, (Barra do Azeite), Rio Turvo (Serra do Aleixo), Vale do Ribeira (SP). São Paulo: IPT/SICCT/PROMINÉRIO, 1988. (Relatório 26.863).

CAMPANHA, G. A. da 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 de Resumos Expandidos...* Águas de São Pedro: SBG, 1995, p 111.

CAMPOS NETO, M. da C. 1983. Contribuição a litoestratigrafia e estrutura do Grupo Açungui no sudeste do Estado de São Paulo. In.: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4, São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo: SBG, 1983, 11 p. (Separata).

CAMPOS NETO, M. da C. & FIGUEIREDO, M. C. H. de . 1995. The Rio Doce Orogeny, Southeatern Brazil. *Journal of South American Earth Science*, **8**(2): 143-162

CHAPPELL, B. W. & WHITE, A. J. R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology,* **8**:173-174.

CHIODI FILHO, C.; TAKAHASHI, A. T.; SILVA, C. R. da; FERREIRA, J. C. G.1983. *Projeto Capão Bonito: relatório final.* São Paulo: CPRM/PROMINÉRIO, 2 v.

CHUNG, C. F. & AGTERBERG, F. P. 1980. Regression models for estimating mineral resources from geological map data. *Mathematical* Geology, **12**(15): 473-488

CLARKE, D. B. 1970. Tertiary basalts of Baffin Bay:possible primary magma from the mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* **25**:203-224.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). 1979. Projeto Aerogeofísico São Paulo-Rio de Janeiro. *sub área IV.* ENCAL/CPRM/DNPM.

COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen & Unwin, 450 p.

DAITX, E. C.; TAKAHASHI, A. T.; SILVA, C. R. da; FERREIRA, J. C. G.; MAEYAMA, O. 1983. *Projeto Anta Gorda - Fase III: mapeamento geológico da área norte.* São Paulo: DNPM/ CPRM, 123p.

DAITX, E. C.; TEIXEIRA, W.; ZANARDO,A. 1990. Geologia e geocronologia do metagabro de Apiaí, Vale do Ribeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Boletim de Resumos...* Natal: SBG, 1990, p 341.

EBDON, D. 1992. Spans - a quadtree-based GIS. *Computer & Geosciences,* **18**: 471-475.

ELLIOTT, J. E.; TRAUTWEIN, C. M.; CHESTER, A. W.; LEE, G. K.; ROWAN, L. C.; HANNA, W. F. 1993. Mineral resource assessment of the Butte 1° x 2° Quadrangle In: Applications of geographic information systems in mineral deposit modelling and resource assessment - CPRM-USGS Cooperative Workshop. Rio de Janeiro.1993. 64p.

FIGUEIREDO, M. C. H. de & CAMPOS NETO, M. da C. 1994. O arco magmático calcio-alcalino de alto-K da microplaca Apiaí-Guaxupé. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1994. *Anais...* Camboriú: SBG, 1994, v. 1, p. 620-621.(Bol. Res. Exp.)

FIORI, A. P. 1990. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. São Paulo: IG-USP. 261 p. (Tese de Livre Docência)

FRASCÁ, M. H. B. de O.; FIGUEIREDO, M. C. H. de; ALMEIDA, M. A. de; COUTINHO, J. M. V. 1990. Petrografia e geoquímica da Formação Água Clara: Região de Araçaíba (SP). *Bol. IG/USP,* **21**: 73-92. (Série Científica).

FRASCÁ, M. H. B. de O.; CAMPANHA, G. A. da C.; FIGUEIREDO, M. C. H. de; SADOWSKI, G. R. 1992. Geoquímica dos metabasitos do alto e médio Vale do Ribeira, São Paulo e Paraná. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Anais...* São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 30-31. (Bol. Res. Exp.)

FUCK, R. A.; MARINI, O. J.; TREIN, E.; MURATORI, A. 1971. Geologia do leste paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo: SBG, 1971, v. 1, p. 121-130.

GIMENEZ FILHO, A. 1993. Evolução do Complexo Granítico Três Córregos a noroeste de Apiaí, SP. São Paulo: IG USP, 1993. (Dissertação de Mestrado).

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências,* São Paulo: SBG, **5**(4): 257-262, 1975.

HOOVER D. B. & PIERCE, H. A. 1990. Annotated Bibliography of Gamma-Ray Methods Applied to Gold Exploration. *USGS. Open-File Report 90-203.* 23p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1983 Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional. São Paulo: DMGA/IPT (Relatório 27039). 2v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1985 Projeto geoquímica regional das folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaíba, Barra do Chapéu. São Paulo: DMGA/IPT (Relatório 28631).2v.

IRVINE, N. T. & BARAGAR, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rock. *Cannadian Journal of Earth Sciences,* **8**: 523-548.

ISHIHARA, S. 1977. The magnetic-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology,* **27**: 293-305.

JANASI, V. de A. & ULBRICH, H. H. G. J. 1991. Late Proterozoic granitoid magmatism in the State of São Paulo, Southeastern Brazil. *Precambrian Research,* **51**:351-374.

JENSEN, L. S. 1976. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks. *Ont. Min. Nat. Resour., Misc. Pap.*, **66**: 22 p.

JULIANI, C. 1993. Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos Grupos Serra de Itaberaba e São Roque nas regiões das serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo, São Paulo, 801 p.

KNECHT, T. 1939. Ouro no Estado de São Paulo. *Inst. Geogr. Geol.*, São Paulo, Boletim 6, 37 p.

LE BAS, M.; LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology,* **27**(3):745-750.

LOISELLE, M. C. & WONES, D. R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America, Abstracts with Program,* **11**:468.

LOPES JÚNIOR, I.; CÂMARA, M. M.; VASCONCELOS, C. S. de; PIZZATTO, L. G. 1994. A prospecção geoquímica descobrindo novas mineralizações auríferas no Vale do Ribeira. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, 1994. *Anais...* Camboriú: SBG, 1994, v. 3, p. 170-171.(Bol. Res. Exp.).

LOPES JÚNIOR, I.; CÂMARA, M. M.; VASCONCELOS, C. S. de; PIZZATTO, L. G. 1995. Novas mineralizações auríferas no Vale do Ribeira - um trabalho de prospecção geoquímica. . In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, Águas de São Pedro, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos...* Águas de São Pedro: SBG, 1995, p 121.

LOUGHLIN, W. P.1991. Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*, **57**(9):1163-1169

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, 1981, v. 1, p. 71-81.

MAURICE, Y. T. & CHARBONNEAU, B. W. 1987. U and Th concentration processes in canadian granitoids, their detection by airborne gamma ray spectrometry and their relationship to granophile mineralization. *Revista Brasileira de Geosciências,* **17**(4):644-646.

MORGENTAL, A.; BATOLLA JÚNIOR, F.; PINTO, G. G.; PAIVA, I. P.; DRUMOND, J. B. V. 1975a. *Projeto Sudelpa: relatório final.* São Paulo: SUDELPA/CPRM, 18v.

MORGENTAL, A.; BATOLLA JÚNIOR, F.; PINTO, G. G.; PAIVA, I. P.; DRUMOND, J. B. V. 1975b. *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, 1978, 8v.

MORGENTAL, A.; PAIVA, I. P.; BORIN JÚNIOR, T.; PINTO, G. G.; CARMO, L. S. do .1981. Pesquisa de ouro no Vale do Ribeira: atuação da CPRM. In.: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1981. *Atas ...* Curitiba: SBG, 1981, p. 56-70.

NOGUEIRA, S. A. A. 1990. Estudo das mineralizações filoneanas auríferas do depósito de Piririca, Vale do Ribeira (SP). São Paulo: IGC/USP, Dissertação de Mestrado.

PAIVA, I. P. & MORGENTAL, A. 1980. *Prospecto Ouro na Regiões Auríferas dos Agudos Grandes e Morro do Ouro, Vale do Ribeira.* São Paulo: CPRM: 1 v.

PEARCE, J. A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. *In:* Thorpe, R. S. (ed.), *Andesites.* John Wiley & Sons, London, 1982. p: 525-548.

PHILLIPS, G. N. & POWELL, R. 1992. Gold-only provinces and their common features. *Contributions of the Economic Geology Research Units (EGRU),* 27p.

PINTO, G. G.; PAIVA, I. P.; MORGENTAL, A.; BORIN JÚNIOR, T.; PINHO FILHO, W. D. de; FERREIRA, F. J. F.; CASTRO, V. H. S. de. 1979. Pesquisa de cobre, chumbo e zinco em rochas do Grupo Açungui, município de Iporanga, SP. In.: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. *Atas...* Rio Claro: SBG, 1979, v. 2, p. 117-128.

PINTO, G. G. & BORIN JÚNIOR, T. 1982. *Projeto Eldorado: relatório integrado final de pesquisa, resultados de análises.* São Paulo: CPRM, 1982, 3 v.

PIRES, F. A. 1988. Uma nova concepção para os ambientes do Grupo Açungui, na Região de Iporanga e Apiaí, sul de São Paulo. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. *Anais...* Belém: SBG, 1988, v. 2, p. 606-616.

PIRES, F. A. 1990. Análise paleoambiental e estratigráfica das sequências Betari e Furnas-Lageado (Grupo Açungui), na Região de Iporanga e Apiaí, sul de São Paulo. São Paulo: IG/USP, 151 p. (Dissertação de Mestrado).

PIRES, F. A. 1991. Relações estratigráficas e dinâmica deposicional das sequências Betari e Furnas-Lageado (Grupo Açungui) na Região de Iporanga e Apiaí. In.: SIMPÓSIO GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. *Atas...* São Paulo: SBG, 1991, p. 37-44.

POWELL, R.; WILL, T. M.; PHILLIPS, G. N.1991. Metamorphism in Archean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization. *Journal of Metamorphic Geology,* **9**:141-150.

REIS NETO, J. M. 1994. Faixa Itaiacoca: Registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozóico. São Paulo: IG-USP, 253 p. (Tese de doutoramento).

SCHRANK, A & CÂMARA. M. M. 1992. Depósitos de ouro e zonas de alteração hidrotermal em *sills* básicos da região do Pirrica, Vale do Ribeira, SP. Classificação das principais mineralizações auríferas primárias do Vale do Ribeira. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Anais*... São Paulo: SBG, 1992, v. 1, p. 238-239.(Bol. Res. Exp.)

SILVA, A. A. G. P. da. 1982. *Projeto Serra do Jabaquara: relatório preliminar de pesquisa de ouro, cobre, chumbo, e zinco do município de Capão Bonito (SP).* São Paulo: CPRM, 2 v.

SILVA, A. B. 1991. Remotely sensed, geophysical and geochemical data as aids to mineral exploration in Bahia State, Brazil. London:The Open University, 2 v. (Thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy).

SILVA, A. T. S. F. da; FRANCISCONI, O.; GODOY, A. M. de; BATOLLA JÚNIOR, F. 1981. *Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira: relatório final.* São Paulo: DNPM/CPRM, 5v.

SILVA, C. R. da & CÂMARA, M. M. 1990. Depósito de Au e Ag do Ivaporunduva, município de Eldorado Paulista (SP). In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais* ... Natal: SBG, 1990.

SOUZA, A. P. 1990 Mapa geológico na escala: 1:50.000 e esboço de evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde SP-PR. São Paulo: IG-USP. (Dissertação de Mestrado).

STACEY, J. S. & KRAMERS, J. P. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**: 207-221.

TAKAHASHI, A. T.; FERREIRA, J. C. G.; THEODOROVICZ, A. 1984. *Projeto Guapiara: relatório final.* São Paulo: CPRM/PROMINÉRIO v. 1, 104 p.

TASSINARI, C. C. G.; BARBOUR, 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: São Paulo e Paraná. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais*... Natal: SBG, 1990, v. 3, p. 1254-1266.

TEIXEIRA, W. 1982. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SG.21-Assuncion, SG.22-Curitiba e SG.23-Iguape. Considerações sobre os dados radiométricos:interpretação e evolução geocronológica. Brasília, Ministério das Minas e Energia. (inédito).

VAN SCHMUS W. R.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.1986. Estudo geocronológico da parte inferior do Grupo São Roque. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia: SBG, 1986, v. 3, p. 1399-1406.

VASCONCELOS, C. S. de; CÂMARA, M. M.; PIZZATO, L. G.;LOPES JÚNIOR, I.; BEZERRA, J. R. L.; DREWS, M. G. P. 1993. *Projeto Vale do Ribeira: relatório final de pesquisa.* São Paulo: CPRM, 60 p.

VASCONCELOS, C. S. de & CÂMARA, M. M. 1995. *Projeto Vale do Ribeira:Relatório Final de Pesquisa.* São Paulo: CPRM, v. 1, 60 p.

VLACH, S. R. F. & CORDANI, U. G. 1986. A sistemática Rb-Sr em rochas granitóides: considerações interpretativas, limitações e exemplos brasileiros. *Revista Brasileira de Geociências,* **16**: 38-53.

VLACH, S. R. F.; JANASI, V. A.; VASCONCELLOS, A. C. B. C. 1990. the itu belt: Associated calc-alkaline and aluminous A-type late Brasiliano granitoids in the states of São Paulo and Paraná, Southern Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. *Anais...* Natal: SBG, 1990, v. 6, p. 1700-1711.

ZARTMAN, R. E. & DOE, B. R. 1981. Plumbotectonics. The model. *Tectonophysics,* **75**: 135-172.

ANEXO 2 - TABELA DE OCORRÊNCIAS DE OURO E OUTROS METÁLICOS

Abreviaturas de minerais e outras substâncias:

ASP: arsenopiririta
AZ: azurita
BA: barita
BO: bornita
CCS: calcário silicoso
CCT: calcita
CLM: calamina
CLN: calcosina
COF: concreções ferruginosas
COM: concreções magnesíferas
COV: covelita
CP: calcopirita
CRC: crisocola
EF: esfalerita
GAL: galena
HE: hematita
IM: ilmenita
LI: limonita
MG: magnetita
MQ : malaquita
PI: pirita
PIT: pirrotita
PF: pirofilita
QZ:quartzo
TT: tetraedrita
TU:turmalina

Nº REGISTROS 127

CAMPOS:

1 UTM-E
2 UTM-N
3 NÚMERO NO DNPM
4 ENCAIXANTE
5 UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA.
6 IDADE
7 MORFOLOGIA
8 CONTROLE
9 IDADE DA MINERALIZAÇÃO
10 ALTERAÇÃO HIDROTERMAL
11 GANGA
12 ELEMENTOS ECONOMICAMENTE IMPORTANTES
13 TEOR1
14 TEOR2
15 TEOR3
16 ASSOCIAÇÃO MINERALÓGICA
17 TIPOLOGIA
18 STATUS
19 OBSERVAÇÕES

DADOS:

740600.00 7274700.00 ' 820.090/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' ' Au' 'Au 0.08 g/m^3' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' ALUVIÃO S/FILITOS FM.VOTUVERAVA'

744450.00 7274600.00 ' 820.570/86' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' ' ' Fe' ' Fe_2O_3 66.1%' ' MnO 3.9%' ' ' ' ' ' NÃO ESPECIFICADO' ' OCORRÊNCIA' ' '

743500.00 7278000.00 ' 820.089/84' ' CONGLOMERADO' ' FM. PARIQUERA-AÇU' ' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' Q / TQ' ' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' SEDIMENTOS S/FILITOS FM. VOTUVERAVA'

751000.00 7275600.00 ' 820.592/80' ' METAMARGA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' Au GAL CP PI COV ASP TT' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

739650.00 7279750.00 ' 806.014/75' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' '

744650.00 7282200.00 ' 820.089/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' 'Au 0.11 g/m^{3,} ' ' ' ' ' Au IM' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' ALUVIÃO S/FILITO FM.IPORANGA R.8550000m^{3,}

754300.00 7276800.00 ' ' 'FILITOS CARBONOSOS/CALCIFILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' ' ' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' Au GAL CP PI TT ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

763300.00 7277000.00 ' 820.029/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' Au 0.2 g/m^{3,} ' ' ' ' ' Au IM' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

756400.00 7279830.00 ' 800.267/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 1.74 PPM' ' Ag 17.6 PPM' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

756550.00 7279950.00 ' 800.267/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON' ' QZ' ' Au Ag As' ' Au 2.3 PPM' ' Ag 22.7 PPM' ' As 1.3%' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

756650.00 7279980.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON' ' QZ' ' Au Ag As' ' Au 2.4 PPM' ' Ag 23.6 PPM' ' As 2.7%' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

756550.00 7280250.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ' ' ' ' ' ' ' ' PI GAL ASP CP PIT Au' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

756550.00 7280350.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ' ' ' ' ' ' ' ' PI GAL ASP CP PIT Au' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

756600.00 7280430.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ' ' ' ' ' ' ' ' PI GAL ASP CP PIT Au' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

756750.00 7279980.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON' ' QZ' ' ' ' ' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

757100.00 7279950.00 ' 800.267/76' ' CALCIFILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' ' ' Au Ag As' ' Au 1.5 PPM' ' Ag 73.8 PPM' ' As 1.8%' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

757400.00 7279930.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ+CCT' ' Au Ag As Pb' ' Au 3.5 PPM' ' Ag 42.7 PPM' ' As 3.3%' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' TEOR DE Pb=0.8%'

757700.00 7279930.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag As' ' Au 2.43 PPM' ' Ag 45 PPM' ' As 1.2%' ' PI CP ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

757800.00 7280100.00 ' 820.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag As Pb' ' Au 3 0 PPM' ' Ag 84 PPM' ' As 1 2%' ' Au PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' TEOR DE Pb=0.8%'

757900.00 7280230.00 ' 820.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag As Pb' ' Au 3 0 PPM' ' Ag 84 PPM' ' As 1.2%' ' Au PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' TEOR DE Pb=0.8%'

758150.00 7279930.00 ' 820.267/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

757350.00 7280350.00 ' 800.267/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBON/SERICIT' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

757350.00 7280500.00 ' 800.267/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBON/SERICIT' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

757350.00 7280630.00 ' 800.267/76' ' METASSILTITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBON/SERICIT' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

756700.00 7280750.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ' ' Au Ag As Pb' ' Au 1.82 PPM' ' Ag 27.1 PPM' ' As 2.3%' ' PI GAL ASP CP PIT Au' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' TEOR DE Pb= 1.13%'

756750.00 7280800.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ' ' Au Ag As' ' Au 1.82 PPM' ' Ag 21.3 PPM' ' As 1%' ' PI GAL ASP CP PIT Au' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

756750.00 7280950.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ' ' Au Ag Pb' ' Au 3.84 PPM' ' Ag 135 PPM' ' Pb 3.3%' ' PI GAL ASP CP PIT Au' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

757800.00 7280450.00 ' 800.267/76' ' METABÁSICAS' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' 1303-1270' ' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ CCT' ' Au Ag' ' Au 2 8 PPM' ' Ag 62 PPM' ' ' 'Au ASP CP GAL PIT EF TT BOU COV CLN MG HE IM' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' TIPO GOLDEN MILE (AUSTRÁLIA)'

757700.00 7280940.00 ' 800.267/76' ' CALCIFILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 1.33 PPM' ' Ag 16.9 PPM' ' ' ' PI CP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

758600.00 7280700.00 ' 820.265/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 1.0 PPM' ' Ag 153 PPM' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

758650.00 7280750.00 ' 820.265/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 1.0 PPM' ' Ag 153 PPM' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

758750.00 7280700.00 ' 820.267/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag Pb' ' Au 1.3 PPM' ' Ag 29.2 PPM' ' Pb 1.1%' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

758900.00 7281100.00 ' 820.265/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag Pb' ' Au 3.25 PPM' ' Ag 195 PPM' ' Pb 0.99%' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

758950.00 7281150.00 ' 820.265/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

759000.00 7281250.00 ' 820.265/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 1.6 PPM' ' Ag 80.5 PPM' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' '

759900.00 7281150.00 ' 820.265/76' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

762600.00 7279900.00 ' 820.102/84' ' FILITO CARBONOSO/CALCIFILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' ' ' CARBON' ' QZ' ' Au' 'Au 0.5-4 g/t' ' Ag 5-88 g/t' ' ' ' Au GAL CP PI COV PIT EF' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TIPO GOLDEN MILE (AuSTRÁLIA)'

760700.00 7281800.00 ' 820.265/76' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' Au PI CP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

764000.00 7281250.00 ' 820.904/88' ' FILITOS DIVERSOS' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' ' ' CARBON' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' Au CP PI PIT' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TIPO GOLDEN MILE (AuSTRÁLIA)'

762900.00 7283550.00 ' ' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

762650.00 7283700.00 ' 820.098/84' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 13 6 PPM' ' Ag 18.5 PPM' ' ' ' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

762550.00 7284750.00 ' ' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' PI CP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

763050.00 7285500.00 ' 820.751/85' ' CALCIFILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' ' Au PI CP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

764100.00 7284550.00 ' 820.751/85' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ+CCT' ' Au Cu As Ag' ' Au 15 PPM' ' Cu 5000 PPM' ' As>1000 PPM' ' Au PI CP ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TEOR DE Pb=1000PPM TEOR DE W=300PPM'

765500.00 7284100.00 ' 820.101/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' ' Au' ' Au 0.3 g/m^{3}' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' SOBRE FILITOS SEQ.R.PEDRAS RES.450000 m^{3}'

765650.00 7284500.00 ' ' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' QZ' ' ' ' ' ' ' ' ' PI CP Au' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

744700.00 7285800.00 ' 820.618/88' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' '' Au' ' '' '' '' '' '' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' ALUVIÃO S/FILITO FM.IPORANGA'

739200.00 7290600.00 ' '' FILITOS/METACALCÁRIOS' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' '' '' '' Pb Zn' ' '' '' '' GAL EF LI PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

739250.00 7291500.00 ' 001.664/37' ' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' '' '' CCT LI' ' Pb' ' '' '' '' GAL GF PI CP PIT CLN COV' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' 0 8-1 5 M - FRATURA N60E/50SE'

739400.00 7291500.00 ' '' MÁRMORES' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' '' '' Q2 CCT FL' ' Zn Pb' ' '' '' '' EF GAL PI CP LI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' FRATURA - 0 15 - 0 20M ESPESSURA N50E'

740800.00 7291800.00 ' '' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' '' Au' ' '' '' '' '' RESIDUAL/DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' FILITOS ADJAC.'

745000.00 7291750.00 ' 920.484/82' ' METADOLOMITO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 1100-1400' ' '' QZ+CCT' ' Pb Ag' ' '' '' '' GAL EF PI ASP CP LI CCS' ' HIDROTERMAL' ' MINA ABANDONADA' ' IDADE DA MINERAL. CORRELAÇÃO (TIPO FURNAS)'

745500.00 7292500.00 ' '' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 1100-1400' ' '' QZ+CCT' ' Pb Ag' ' Au 4.4 g/t' ' '' '' GAL EF PI ASP CP COV LI.' ' HIDROTERMAL' ' MINA ABANDONADA' ' IDADE DA MINERAL. CORRELAÇÃO (TIPO FURNAS)'

752950.00 7291750.00 ' 820.583/83' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' '' Au' ' '' '' '' '' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' SOBRE METARGILITOS FM. VOTUVERAVA'

741500.00 7294000.00 ' 007.475/56' ' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 1260' ' '' CCT+QZ' ' Pb Ag' 'Au 0.8-4 g/t' ' '' '' GAL EF PI COV LI HE CRC CLM' ' HIDROTERMAL' ' MINA ABANDONADA' ' '

745250.00 7294200.00 ' '' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 890' ' '' QZ+GAL' ' Pb' ' '' '' '' GAL PI ASP LI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

744250.00 7295200.00 ' 817.978/69' ' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 890' ' '' QZ+CCT' ' Pb Ag' ' '' '' '' '' HIDROTERMAL' ' MINA ABANDONADA' ' '

746100.00 7294300.00 ' '' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 890' ' '' QZ' ' Pb' ' '' '' '' GAL PI LI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' CONTATO CALCARIO/FILITO'

747000.00 7296000.00 ' '' FILITO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 890' ' '' QZ' ' Pb' ' '' '' '' '' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

746000.00 7298950.00 ' 801.788/77' ' METACALCÁRIO' ' SEQ. FURNAS-LAGEADO' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' 1100-1400' ' '' QZ+CCT' ' Pb' ' '' '' '' GAL EF PI ASP CP PIT COV LI CLN' ' HIDROTERMAL' ' MINA ABANDONADA' ' IDADE DA MINERAL. CORRELAÇÃO (TIPO FURNAS)'

764850.00 7285780.00 ' 820.099/84' ' MILONITO CARBONOSO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' IRREGULAR' ' ESTRUTURAL/ESTRATIGRÁFICO' ' ' ' SERICIT/CARBON' ' QZ' ' Au' ' Au 2 4 PPM' ' '' '' Au GAL PI CPI ASP' ' HIDROTERMAL' ' DEPÓSITO' ' TIPO CARLIN (USA) PARACATU (BR)'

765300.00 7285650.00 ' 820.099/84' ' CALCIOSSILICÁTICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' '' CARBON' ' QZ+CCT' ' Au' ' Au 57 PPM' ' '' '' Au GAL ASP CP PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TIPO GOLDEN MILE (AuSTRÁLIA)'

765250.00 7286000.00 ' '' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 59 PPM' ' Ag 140 PPM' ' '' PI CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

766050.00 7285750.00 ' '' TURMALINITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' '' '' QZ+TU' ' '' '' '' '' PI ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

766150.00 7286800.00 ' '' TURMALINITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' '' '' QZ+TU' ' Au Ag As' ' Au 0.5 PPM' ' Ag 3.4 PPM' ' As 7%' ' ASP PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

766650.00 7286650.00 ' 820.099/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' '' Au' ' '' '' '' '' '' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' '

767300.00 7289000.00 ' 820.163/79' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' '' SERICIT/CARBON/CLORITIZ' ' QZ+CCT' ' Au' ' Au 2 8 PPM' ' Au 50 7 PPM' ' '' PI PIT MG EF CP GAL' ' HIDROTERMAL METAMORFICO' ' DEPÓSITO 2T./Au' ' TIPO GOLDEN MILE (AuSTRÁLIA)'

759750.00 7296300.00 ' 813.444/76' ' FORMACAO FERRÍFERA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' '' QZ+CCT' ' Pb' ' '' '' '' GAL' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

759200.00 7297800.00 ' 820.591/85' ' FORMACAO FERRÍFERA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' 1500-1700' ' '' QZ' ' Pb' ' '' ' ' '' GAL' ' VULCANO SEDIMENTAR EXALATIVO' ' OCORRÊNCIA' ' '

759700.00 7297750.00 ' 820.591/85' ' FORMACAO FERRÍFERA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' 1500-1700' ' '' '' Pb' ' '' '' ' ' GAL PI CP PIT CD CN' ' VULCANO SEDIMENTAR EXALATIVO' ' OCORRÊNCIA' ' '

757500.00 7299600.00 ' 820.632/80' ' QUARTZITO/FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' 1500-1700' ' '' QZ+CCT' ' Pb' ' Pb 0.5 %' ' '' '' GAL' ' VULCANO SEDIMENTAR EXALATIVO' ' OCORRÊNCIA' ' '

774500.00 7272450.00 ' 820.536/88' ' QUARTZITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' '' '' '' Fe' ' '' '' '' HE MG' ' '' OCORRÊNCIA' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

768600.00 7276500.00 ' 820.564/87' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' '' Au' ' '' '' '' '' '' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

779350.00 7278300.00 ' 820.073/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' '' Au' ' '' '' '' '' '' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' ADJ.FILITOS SEQ.DAS ANDORINHAS'

769100.00 7278800.00 ' 822.028/87' ' FORMACAO FERRÍFERA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' '' '' '' Fe' ' '' '' '' '' SUPERGÊNICO' ' MINA ABANDONADA' ' '

772900.00 7279900.00 ' 820.717/88' ' FORMACAO FERRÍFERA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' '' '' ' ' ' Fe Mn' ' '' '' '' '' VULCANO SEDIMENTAR EXALATIVO' ' OCORRÊNCIA' ' '

776450.00 7278800.00 ' 820.027/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' ' ' Au' ' '' '' '' '' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

777250.00 7282250.00 ' 820.027/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' ' ' Au' ' '' '' '' '' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

775000.00 7285500.00 ' 820.026/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' ' ' Au' ' '' '' '' '' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

781450.00 7283650.00 ' 820.023/88' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' ' ' Au' ' '' '' '' '' Au IM' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' ADJ.FILITOS FM. VOTUVERAVA'

782000.00 7280600.00 ' 820.666/83' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' ' ' Au' ' Au 0.3 g/m^3' ' '' '' Au IM' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' DEPÓSITO 2.325.000 m^3' ' ADJ.FILITOS FM. VOTUVERAVA'

793750.00 7284200.00 ' 820.889/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' '' ' ' Au' ' '' '' '' '' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' '

767400.00 7287250.00 ' 820.092/87' ' TURMALINITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' '' CARBON' ' QZ+TU' ' As' ' ' '' '' ASP GAL PIT CP PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

768200.00 7287800.00 ' 820.103/79' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Au As' ' Cu 1200 PPM' ' Au 0.05 PPM' ' As 1700 PPM' ' '' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

768200.00 7287800.00 ' 820.163/79' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Pb Au As' ' Cu 4300 PPM' ' Pb 560 PPM' ' Au 0.28 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TEOR DE As=2300PPM'

767700.00 7288150.00 ' 820.163/79' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu As Au' ' Cu 2600 PPM' ' As 1300 PPM' ' Au 0.08 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

768400.00 7287650.00 ' 820.103/79' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au' ' Au 0.05 PPM' ' '' '' '' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

767500.00 7288350.00 ' 820.163/79' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Au As' ' Cu 1000 PPM' ' Au 0.2 PPM' ' As 1300 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

768250.00 7289140.00 ' 820.163/79' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Au' ' Cu 820 PPM' ' Au 0.05 PPM' ' '' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

768450.00 7288450.00 ' 820.163/79' ' CALCIFILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' '' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au As' ' Au 0.05 PPM' ' As 4900 PPM' ' '' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

768300.00 7288940.00 ' 820.163/79' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Pb Zn Ag' ' Cu 800 PPM' ' Pb 8200 PPM' ' Zn 1400 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TEORES:Ag=28PPM Au=.28-.56PPM As=1600PPM'

768550.00 7288790.00 ' 820.163/79' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Pb Au As' ' Cu 3000 PPM' ' Pb 500 PPM' ' Au 0.26 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TEOR DE As=1.8%'

768300.00 7289000.00 ' 820.163/79' ' METABÁSICA' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Cu Pb Ag Au' ' Cu 1600 PPM' ' Pb 20.5%' ' Ag 340 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TEOR DE Au=0.30PPM'

768950.00 7289150.00 ' 820.163/79' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' CARBONATAÇÃO' ' QZ' ' Au Pb Cu Ag' ' Au 74 PPM' ' Pb 6000 PPM' ' Cu 3500 PPM' ' CP GAL ASP' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' TEORES DE:Ag=124 PPM As=9.9%'

774400.00 7285800.00 ' 820.026/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

773750.00 7287550.00 ' 820.026/80' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

774200.00 7288100.00 ' 820.026/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' SOBRE FILITOS DA FM.VOTUVERAVA'

773750.00 7291600.00 ' 820.025/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' 'Au 0.35 g/m^{3}' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' DEPÓSITO 915 Kg' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

776250.00 7285700.00 ' 820.538/83' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' SOBRE FILITOS FM. VOTUVERAVA'

781100.00 7288650.00 ' 820.732/88' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' Au IM' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

789650.00 7286150.00 ' 821.858/87' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' 'Au 0 01 G/m^{3}' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' DEPÓSITO 1.845.000 m^{3}' ' ADJ.METAPELITOS FM. VOTUVERAVA'

793600.00 7291900.00 ' 820.726/88' ' CROSTA LATERÍTICA' ' ' ' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' TQ' ' ' ' QZ+COM' ' Mn' ' ' ' ' ' ' ' ' ' SUPERGENICA' ' OCORRÊNCIA' ' LATERITA S/XISTO FM.VOTUVERAVA -GRANITO'

739300.00 7300000.00 ' 820.399/33' ' METACALCÁRIO/METARENITO' ' FM. SERRA DA BOA VISTA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL/LITOLÓGICO' ' ' ' ' ' ' Pb Cu' ' ' ' ' ' ' GAL CP PI' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

739500.00 7305250.00 ' 820.234/85' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' 'ADJ.METAR. E METACONGL.-FM.SERRA DA BOA VISTA'

741200.00 7308510.00 ' 820.472/83' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' CÁCIOXISTO .ADJ.'

742700.00 7310500.00 ' 820.470/83' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' OCORRÊNCIA' ' XISTOS ADJ.'

758500.00 7302700.00 ' 803.241/77' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' IRREGULAR' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' QZ+CCT' ' Pb' ' ' ' ' ' ' GAL' ' VULCANO SEDIMENTAR EXALATIVO' ' OCORRÊNCIA' ' '

759750.00 7303100.00 ' 803.241/77' ' FILITO CARBONOSO/JASPILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' ' ' ' ' Pb' ' Pb 0.15 %' ' ' ' ' GAL' ' VULCANO SEDIMENTAR EXALATIVO' ' OCORRÊNCIA' ' '

757600.00 7311450.00 ' 801.770/69' ' CROSTA LATERÍTICA' ' ' ' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' TQ' ' ' ' COF' ' Fe' ' ' ' ' ' ' ' ' SUPERGÊNICO' ' OCORRÊNCIA' ' LATERITA S/METACONGLOM.SUBG.LAGEADO.'

767100.00 7313700.00 ' 820.971/84' ' FILITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' QZ' ' Au Ag' ' Au 2 0 PPM' ' Ag 0 5 PPM' ' ' ' ' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

746750.00 7319900.00 ' 820.504/89' ' METASSEDIMENTO' ' FM. ÁGUA CLARA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' 1500-1700' ' ' ' QZ' ' Pb' ' ' ' ' ' ' ' VULCANOSSEDIMENTAR METAMORFICO' ' MINA ABANDONADA' ' IDADE DA MINERAL. CORRELAÇÃO (TIPO PERAu)'

749450.00 7321500.00 ' 004.986/55' ' METACALCÁRIO' ' FM. ÁGUA CLARA' ' PMS' ' ESTRATIFORME' ' LITOLÓGICO' ' 1500-1700' ' ' ' QZ+CCT' ' Pb Ba' ' ' ' ' ' ' ' BA GAL PI' ' VULCANOSSEDIMENTAR METAMORFICO' ' MINA ABANDONADA' ' IDADE DA MINERAL. CORRELAÇÃO (TIPO PERAu)'

793000.00 7300750.00 ' 820.463/85' ' CROSTA LATERÍTICA' ' ' ' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' TQ' ' ' ' COM' ' Mn' ' MnO 48%' ' ' ' ' ' ' ' SUPERGENICA' ' OCORRÊNCIA' ' LATERITA S/XISTO FM. VOTUVERAVA'

793300.00 7300750.00 ' 820.463/85' ' XISTO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' ' ' ' QZ' ' Mn' ' ' ' ' ' ' ' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

771300.00 7316500.00 ' 820.967/84' ' FILITOS DIVERSOS' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' QZ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

774450.00 7317000.00 ' 820.967/84' ' CROSTA LATERÍTICA' ' ' ' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' TQ' ' ' ' COF' ' COV Fe' ' ' ' ' ' ' ' ' SUPERGÊNICO' ' OCORRÊNCIA' ' LATERITA S/FILITOS FM. VOTUVERAVA'

768300.00 7319500.00 ' 805.921/68' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' ESTRATIGRÁFICO/LITOLÓGICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' ' ' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' GARIMPO ABANDONADO' ' ALUVIÃO SOBRE FILITOS DA FM.IPORANGA'

772750.00 7319500.00 ' 820.965/84' ' FILITO CARBONOSO' ' FM. IPORANGA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' QZ+COF' ' Au Ag Cu' ' Au 3 5 PPM' ' Ag 10 5 PPM' ' ' ' Au Cu PI CP IM Ag' ' HIDROTERMAL/SUPERGÊNICO' ' OCORRÊNCIA' ' '

775850.00 7316400.00 ' 820.967/84' ' CASCALHO' ' ALUVIÃO' ' QH' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO/ESTRATIGRÁFICO' ' HOLOCENO' ' ' ' ' Au' 'Au 0.144 g/t' ' ' ' ' ' ' RESIDUAL DETRÍTICO' ' DEPÓSITO R. 15 000 m^3' ' ADJ. FILITO CARBONOSO FM. VOTUVERAVA'

776900.00 7320500.00 ' 821.326/87' ' METABASITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' ESTRUTURAL' ' ' ' ' QZ' ' Au Ag Cu' ' Ag 0 5 PPM' ' ' ' ' CP PI BO HE Au Ag' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

779250.00 7318000.00 ' 821.323/87' ' CROSTA LATERÍTICA' ' '' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' TQ' ' '' COF+COM' ' Mn Fe' ' '' '' '' '' '' SUPERGÊNICO' ' OCORRÊNCIA' ' '

779250.00 7318000.00 ' 821.323/87' ' CROSTA LATERÍTICA' ' '' TQ' ' IRREGULAR' ' LITOLÓGICO' ' TQ' ' '' COM+COF' ' Fe Mn Ni' ' Fe 20%' ' Ni 100 PPM' ' '' '' SUPERGÊNICO' ' OCORRÊNCIA' ' LATERITA S/FILITOS FM. VOTUVERAVA'

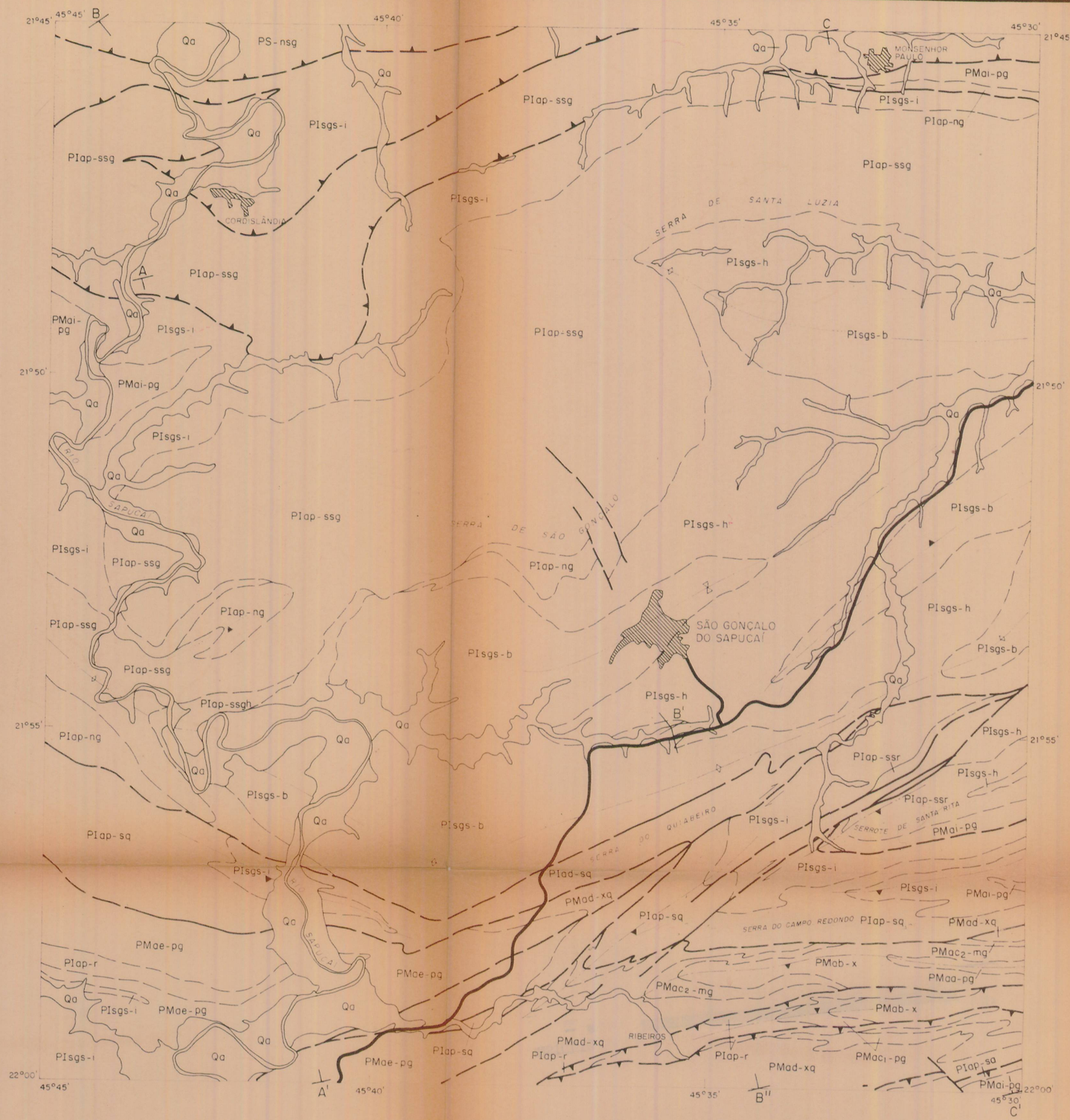
783050.00 7314200.00 ' 820.547/87' ' METAPELITO SILICIFICADO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' '' '' '' QZ' ' Pl Pb Fe Cu' ' Fe-20 %' ' Cu-700 PPM' ' '' '' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

782800.00 7317200.00 ' 820.639/83' ' METAPELITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' '' '' '' QZ' ' Pb Cu' ' Pb 4.5 %' ' Cu 0.15 %' ' '' GAL Pl COV ASP MG AZ LI Au Ag' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

781800.00 7320100.00 ' 821.325/87' ' METAPELITO' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' '' '' '' CCT+QZ' ' Cu Pb' ' '' '' '' ' CP GAL Pl MQ Ag.' ' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

793200.00 7318750.00 ' 805.831/69' ' METASSEDIMENTOS;GRANITO' 'SEQ.RIB PEDRAS GR.AgUDOS GRANDES' 'PMS/PSEO' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' '' '' QZ' ' Au' ' Au 20 g/t' ' '' '' '' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '

783900.00 7321800.00 ' 821.327/87' ' ' ' FM. VOTUVERAVA' ' PMS' ' FILONEANA' ' LITOLÓGICO/ESTRUTURAL' ' '' '' QZ' ' Cu Pb' ' '' '' '' '' '' HIDROTERMAL' ' OCORRÊNCIA' ' '



LEGENDA

QUATERNÁRIO

Qa — Aluviões recentes

PROTEROZÓICO SUPERIOR

NAPPE DE EMPURRÃO SOCORRO - GUAXUPÉ

PS-nsg — Granada-hornblenda e biotita gnaisses bandados e gnaisses da suíte charnoquítica, ambas de idade indeterminada.

PROTEROZÓICO - MÉDIO

GRUPO ANDRELÂNDIA

PMae-pg — Granada-muscovita-biotita-plagioclásio gnaisse/xisto bandado ou homogêneo com intercalações de micaxistos, gnaisse calciossilicático e quartzitos.

PMad-xq — Alternância de micaxistos variados com intercalações espessas de quartzitos.

PMac$_1$-pg — Granada-muscovita-biotita-plagioclásio gnaisse com intercalações subordinadas de muscovita-biotita-gnaisse.

PMac$_2$-mg — Muscovita-biotita-gnaisse com intercalações subordinadas de granada-muscovita-biotita-plagioclásio gnaisse e quartzitos.

PMab-x — Alternância rítmica de micaxistos variados predominantes com quartzitos e quartzo xistos.

PMaa-pg — Granada-(muscovita)-biotita gnaisse com intercalações de anfibolitos.

PMai-pg — Grupo Andrelândia indiferenciado: granada-(muscovita)-biotita-gnaisse, micaxistos e quartzitos.

PROTEROZÓICO INFERIOR (ARQUEANO?)

COMPLEXO AMPARO

PIap-sa | **PIap-r** | **PIap-ssr** | **PIap-ng** / **PIap-ssg** (h) | **PIap-sq**

Granito-Gnaisses Ocelares: **sa** - milonito gnaisse Serra das Águas: granítico porfiroclástico cinza rosado; **r** - Ortognaisse Ribeiros: granodiorito-granito gnaisse ilustrado porfiroclástico; **ssr** - Ortognaisse Serrote de Santa Rita: granito gnaissico ocelar cinza rosado; **ssg** - Suíte Serra de São Gonçalo: granito gnaissico porfiroide com fácies homogênea (**h**). **PIap-ng** - nebulito-schlieren gnaisses.

Ortognaisse Serra do Quiabeiro: **sq** - tonalito-granodiorito-granito gnaissico cinza homogêneo com fácies ocelares e níveis migmatíticos.

COMPLEXO SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ

PIsgs-h | **PIsgs-b** | **PIsgs-i**

h - ortognaisses homogêneos tonalito-granodioríticos, **b** - gnaisses bandados tonalito-dioríticos com intercalações de metabásicas e de quartzitos subordinados, **i** - Complexo São Gonçalo do Sapucaí indiferenciado.

CONVENÇÕES LITOLÓGICO-ESTRUTURAIS

Zona de cisalhamento e limite de nappe de dobramento

Cavalgamento

Traço axial aproximado de anticlinal isoclinal D_2 com indicação de mergulho do plano axial

Traço axial aproximado de sinclinal isoclinal D_2 com indicação de mergulho do plano axial

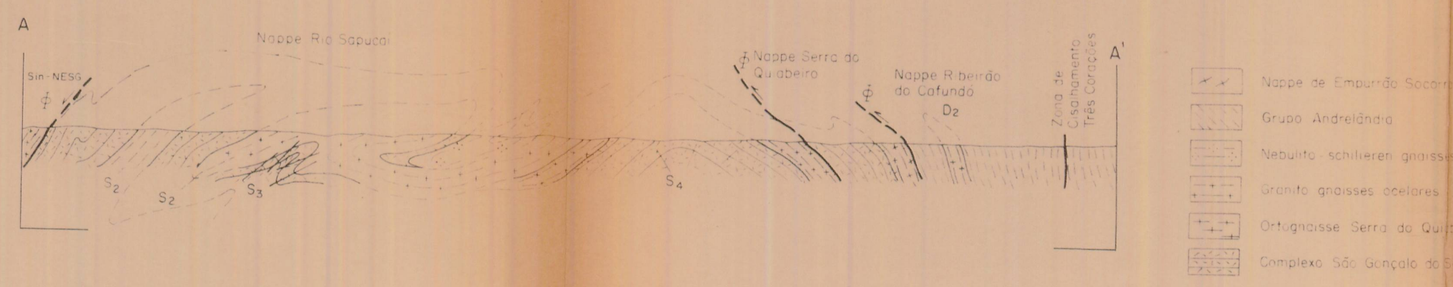
Traço axial aproximado de antiforma invertida D_3 com indicação de mergulho do plano axial

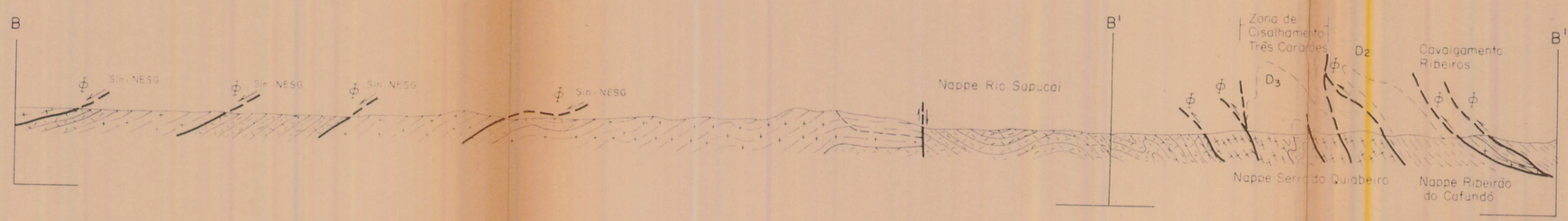
Traço axial aproximado de sinforma invertida D_3 com indicação de mergulho do plano axial

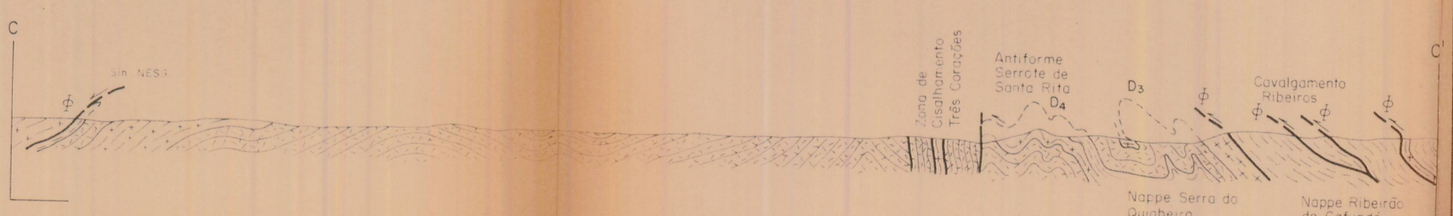
Traço axial aproximado de antiforma D_4

Traço axial aproximado de sinforma D_4

A — A' Secção geológica







Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé (NESG)

Grupo Andrelândia

Nebulito-schlieren gnaisses

Granito-gnaisses ocelares

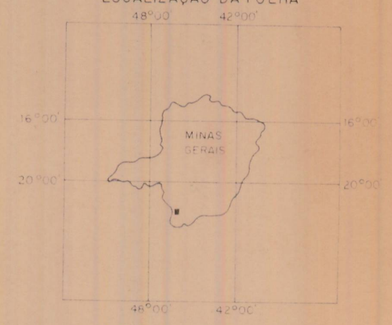
Ortognaisse Serra do Quiabeiro

Complexo São Gonçalo do Sapucaí

} Complexo Amparo

N

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



0 2000 4000 6000 m

1991

MAPA GEOLÓGICO DA FOLHA SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ - SF.23-V-D-V-4

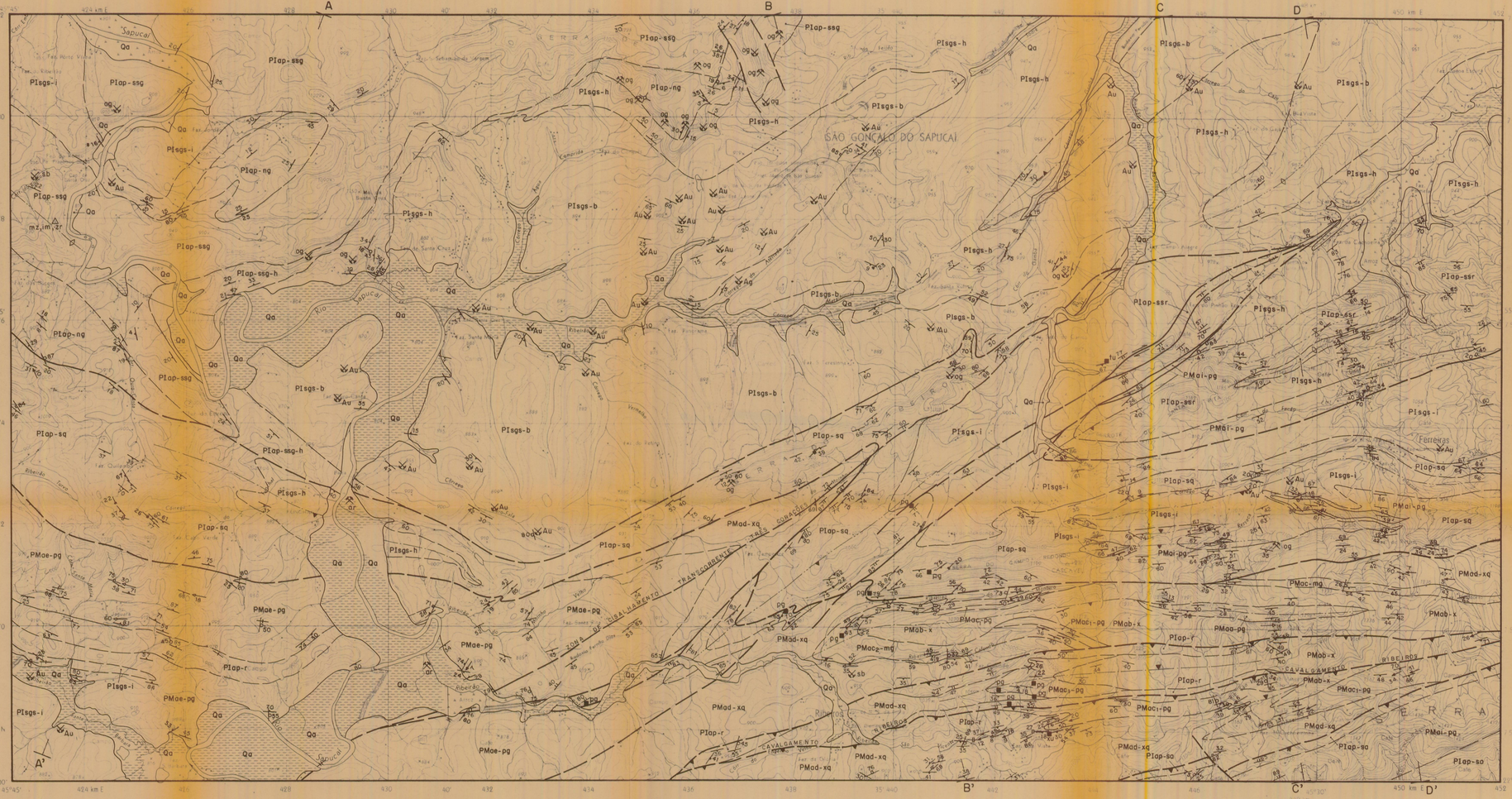
ESCALA 1:100 000

Geologia por: MÔNICA MAZZINI PERROTTA

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T/665 1.2
U.S.P.

ANEXO 1

Desenho, Planejamento e Desenvolvimento Gráfico: Lígia de Souza / R. Rhinecrate (011) 287-2244 / 578 42-80



ELEMENTOS UTILIZADOS

Base topográfica obtida através da montagem e reprodução fotográfica parcial das folhas **SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ** - SF.23-V-D-V-4, IBGE, 1971 e **LAMBARI** - SF.23-V-D-VI-3, IBGE, 1971.

ARTICULAÇÃO DA FOLHA

Machado	Eldi Mendes	Varginha	Três Corações
Poço Fundo	São Gonçalo do Sapucaí	Lambari	Conceição do Rio Verde
Pouso Alegre	Heliodoro	Cristina	São Lourenço

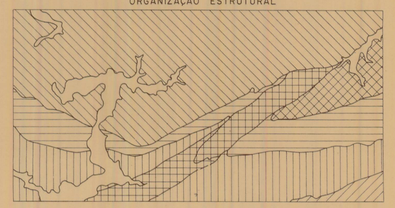
LOCALIZAÇÃO DA FOLHA

N

0 1000 2000 3000 4000 m

1991

ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL



- Nappe anticlinal Rio Sapucaí
- Nappe anticlinal Serra do Quiabeiro
- Nappe anticlinal Ribeirão do Cafundó
- Nappe de cavalgamento Serra das Águas
- Antiforme Serrote de Santa Rita
- Zona de cisalhamento Transcorrente Três Corações

LEGENDA

QUATERNÁRIO

Qa — Aluviões recentes

PROTEROZÓICO - MÉDIO

GRUPO ANDRELÂNDIA

PMae-pg — Granada-muscovita-biotita-plagioclásio gnaisse/xisto bandado ou homogêneo com intercalações de micaxistos, gnaisse calciossilicático e quartzitos.

PMad-xq — Alternância de micaxistos variados com intercalações espessas de quartzitos.

PMac₁-pg — Granada-muscovita-biotita-plagioclásio gnaisse com intercalações subordinadas de muscovita-biotita-gnaisse.

PMac₂-mg — Muscovita-biotita-gnaisse com intercalações subordinadas de granada-muscovita-biotita-plagioclásio gnaisse e quartzitos.

PMab-x — Alternância rítimica de micaxistos variados predominantes com quartzitos e quartzo xistos.

PMaa-pg — Granada-(muscovita)-biotita gnaisse com intercalações de anfibolitos.

PMai-pg — Grupo Andrelândia indiferenciado-granada-(muscovita)-biotita-gnaisse, micaxistos e quartzitos.

PROTEROZÓICO INFERIOR (ARQUEANO?)

COMPLEXO AMPARO

Plap-sa | **Plap-r** | **Plap-ssr** | **Plap-ng** / **Plap-ssg** | **Plap-sq**

Granito Gnaisses Ocelares: **sq**-milonito gnaisse Serra dos Águas; granítico porfiroclástico cinza rosado; **r**-Ortognaisse Ribeiros: granodiorito-granito gnaisse listrado porfiroclástico; **ssr**-Ortognaisse Serrote de Santa Rita: granito gnáissico ocelar cinza rosado; **ssg**-Suíte Serra de São Gonçalo: granito gnáissico porfiróide com fácies homogênea (**h**). **Plap-ng**-nebulito-schlieren gnaisses.

Ortognaisse Serra do Quiabeiro: **sq**-tonalito-granodiorito-granito gnáissico cinza homogêneo com fácies ocelares e níveis migmatíticos.

COMPLEXO SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ

Plsgs-h | **Plsgs-b** | **Plsgs-i**

h-ortognaisses homogêneos tonalito-granodioríticos; **b**-gnaisses bandados tonalito-dioríticos com intercalações de metabásicos e de quartzitos subordinados; **i**-Complexo São Gonçalo do Sapucaí indiferenciado.

OCORRÊNCIAS PONTUAIS

- **pg** — granito pegmatóide
- **tu** — turmalinito
- **xu** — xisto ultramáfico

MINERALIZAÇÕES

- Lavra em atividade
- Lavra paralisada
- Depósitos

Substâncias minerais: **Au**-ouro; **mz**-monazita; **im**-ilmenita; **zr**-zirconita; **og**-ortognaisse; **ar**-areia; **sb**-saibro. (Fonte: Silva et al. 1988).

CONVENÇÕES LITOLÓGICO-ESTRUTURAIS

- Contato litológico definido e aproximado
- Zona de cisalhamento e limite de nappe de dobramento
- Cavalgamento
- Foliação Sn
- Foliação S_2 ou Sn, S_2
- Foliação S_3
- Foliação S_4
- Foliação S_5
- Foliação milonítica
- Foliação S_2 vertical
- Foliação S_3 vertical
- Foliação S_4 vertical
- Foliação S_2 horizontal
- Foliação milonítica vertical
- Eixo B_2
- Eixos e lineações B_3 e L_3
- Lineação mineral L_2
- Eixos e lineações B_4 e L_4
- Lineação de estiramento L_2
- Eixos B_5
- Traço axial aproximado de anticlinal isoclinal D_2 com indicação de mergulho do plano axial
- Traço axial aproximado de sinclinal isoclinal D_2 com indicação de mergulho do plano axial
- Traço axial aproximado de antiforma invertida D_3 com indicação de mergulho do plano axial
- Traço axial aproximado de sinforma invertida D_3 com indicação de mergulho do plano axial
- Traço axial aproximado de antiforma D_4
- Traço axial aproximado de sinforma D_4
- A — A' Secção geológica

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO A SUL DE SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ (MG)

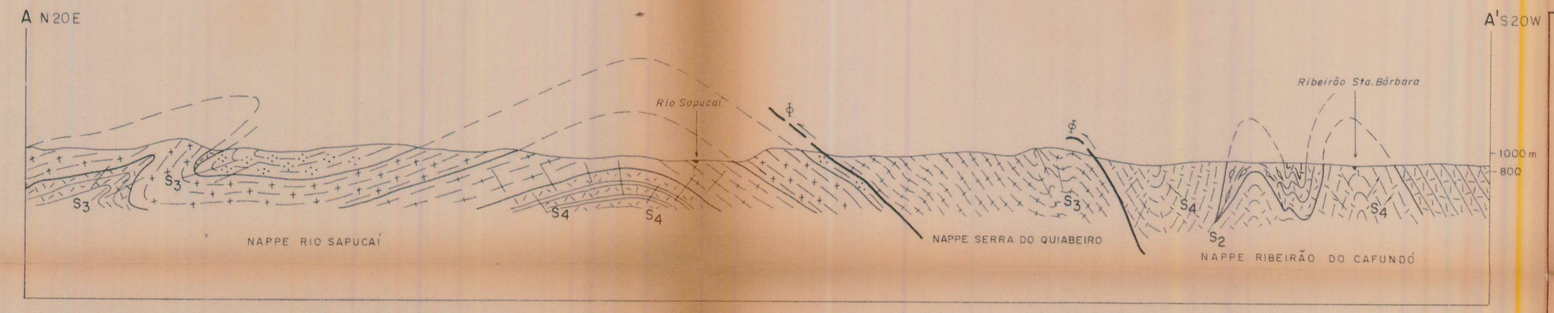
ESCALA 1:50000

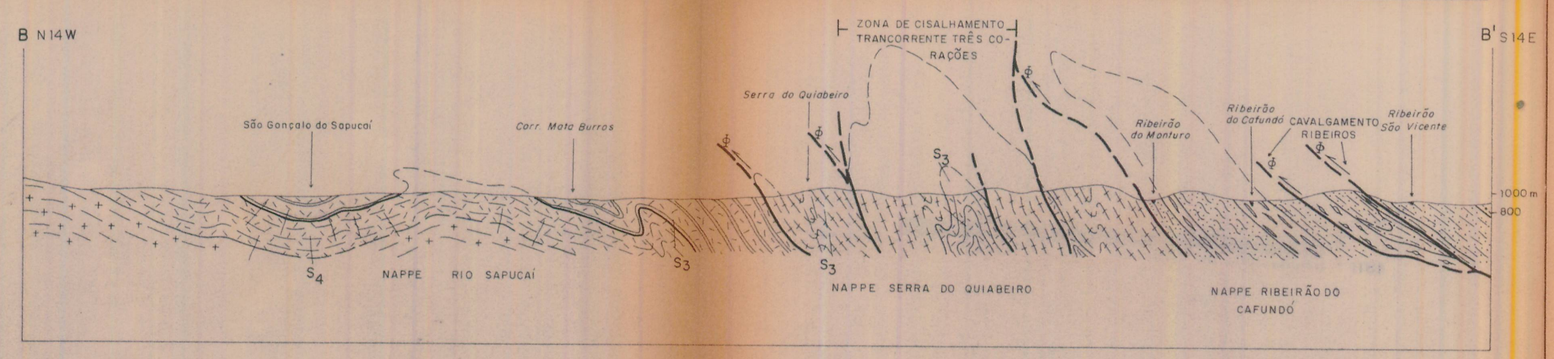
Geologia por: MÔNICA MAZZINI PERROTTA

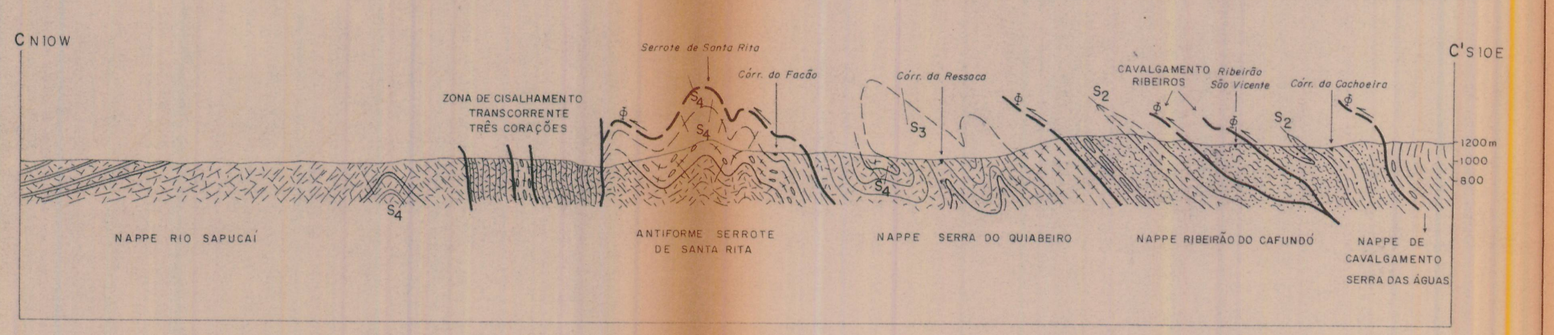
Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 1665 ex. 2
U. S. P.

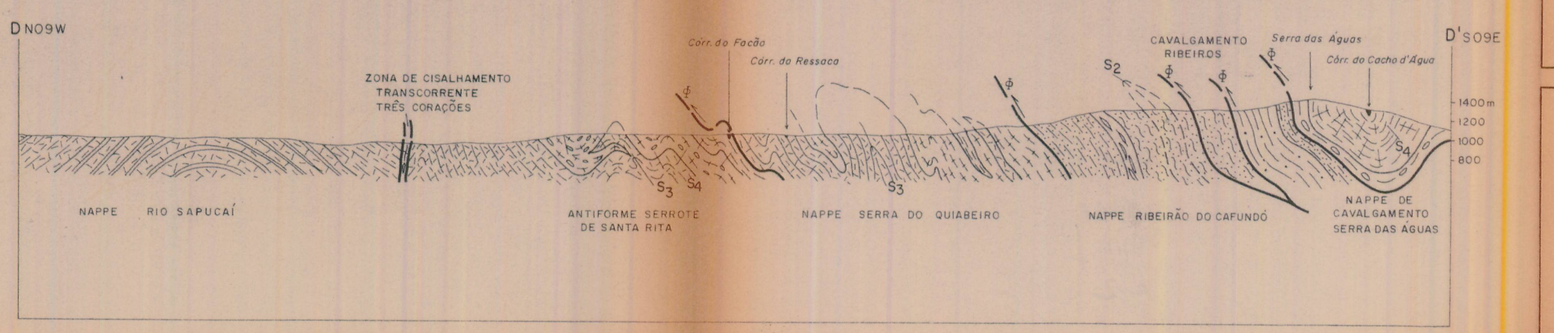
ANEXO 2

Desenho, Planejamento e Desenvolvimento Gráfico: J. Carlos de Oliveira / R. Shimomoto. (011) 297.23.44 / 5724280









LEGENDA

PROTEROZÓICO-MÉDIO

GRUPO ANDRELÂNDIA

- Unidade E
- Unidade D
- Unidade C - fácies C_1
- Unidade C - fácies C_2
- Unidade B
- Unidade A
- Grupo Andrelândia Indiferenciado

PROTEROZÓICO INFERIOR (ARQUEANO ?)

COMPLEXO AMPARO

1 2 3 4 5 6 7

COMPLEXO SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ

8 9 10

1 - Nebulito-schilieren gnaisses
2 - Ortognaisse Serra do Quiabeiro
3 - Ortognaisse Serrote de Santa Rita
4 - Ortognaisse Ribeiros
5 - Milonito gnaisse Serra das Águas
6 - Suíte Serra de São Gonçalo - fácies porfiróide
7 - Suíte Serra de São Gonçalo - fácies homogênea
8 - Complexo São Gonçalo do Sapucaí Indiferenciado
9 - Sequência Bandada
10 - Ortognaisse homogêneo

ESCALAS: $\frac{V}{H}$ = 1:50.000

0 500 1000 2000 m

PERFIS GEOLÓGICOS

(LOCALIZAÇÃO NO MAPA GEOLÓGICO - ANEXO 2)

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 1665 e. 2ex
U. S. P.

Geologia por: MÔNICA MAZZINI PERROTTA

ANEXO 3

Desenho, Planejamento e Desenvolvimento Gráfico: J. Carlos de Gouvêa / R. Shimamoto - (011) 287 22 44 / 57 84 280

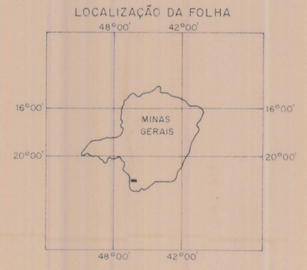
ELEMENTOS UTILIZADOS

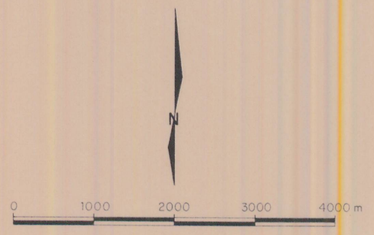
Base topográfica obtida através da montagem e reprodução fotográfica parcial das folhas: SÃO GONÇALO DO SAPUCAÍ - SF.23-V-D-V-4, IBGE, 1971 e LAMBARI - SF.23-V-D-VI-3, IBGE, 1971.

ARTICULAÇÃO DA FOLHA

Machado	Elói Mendes	Varginha	Três Corações
Poço Fundo	São Gonçalo do Sapucaí	Lambari	Conceição do Rio Verde
Pouso Alegre	Heliodora	Cristina	São Lourenço

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA





1991

- ◐ Pontos com análise petrográfica
- ● Pontos com análise petrográfica e química
- ☐ Pontos fotografados ou desenhados

MAPA DE AMOSTRAGEM PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA

ESCALA 1:50.000

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 1665 e 2
U. S. P.

ANEXO 4

Desenho, Planejamento e Desenvolvimento Gráfico: J. Carlos de Gouvêa / R. Shimamoto - (011) 287.22.44 / 578.42.80