UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**QUANTIFICAÇÃO DA POTENCIALIDADE MINERAL
COM BASE EM DADOS GEOQUÍMICOS: UM ESTUDO
APLICADO AS FOLHAS ITAQUAQUECETUBA, PIRACAIA,
IGARATÁ, CAMANDUCAIA E MONTEIRO LOBATO.**

Saul Barisnik Suslick

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo
1986

30900005722

SUMÁRIO

P

AGRADECIMENTOS	i
ILUSTRAÇÕES	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	vi

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1 OBJETIVOS	2
2 JUSTIFICATIVAS	3
3 EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS	4
4 CARACTERÍSTICA DA INFORMAÇÃO GEOQUÍMICA	5

CAPÍTULO II

ASPECTOS ECONÔMICOS NO PLANEJAMENTO DA PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA	9
--	---

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

1 LOCALIZAÇÃO	16
2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS	16
3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	18

4	DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES LITOLÓGICAS E LITOESTRATIGRÁFICAS	19
4.1	Complexo Juiz de Fora - Charnockitos	21
4.2	Complexo Amparo - Migmatitos	21
4.3	Complexo Amparo - Paraíba do Sul - Santa Isabel - Rochas Gnáissicas	22
4.4	Complexo Amparo - Piracaia - Paraíba do Sul - Santa Isabel - Xistos	22
4.5	Suíte Quartzo Monzonítica de Piracaia - Monzonitos e Granodioritos	23
4.6	Grupo São Roque: Metassiltitos e Filitos, Xistos e Quartzitos e Anfibolitos	23
4.7	Suítes Granitóides	24
4.8	Rochas Cataclásticas	25
4.9	Rochas Básicas e Ultrabásicas Alcalinas	25
4.10	Terciário/Quaternário	25
5	OCORRÊNCIAS MINERAIS	25
6	CONTEXTO METALOGENÉTICO	29

CAPÍTULO IV

LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO

1	INTRODUÇÃO	32
2	AMOSTRAGEM E ANÁLISE	33
3	CODIFICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	34

CAPÍTULO V

CONTROLE DE AMOSTRAGEM E PRECISÃO ANALÍTICA

1	INTRODUÇÃO	40
2	OBJETIVO E MÉTODO UTILIZADO	43
2.1	Tratamento Estatístico das Amostras em Replicata	44
2.2	Tratamento Estatístico das Amostras em Duplicata	46
2.3	Programas Computacionais	51
3	ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS REPLICATAS	52
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS DUPLICATAS	60
5	AVALIAÇÃO DOS CONTROLES ROTINA vs REPLICATAS	64
6	AVALIAÇÃO DOS CONTROLES ROTINA vs DUPLICATAS	68

CAPÍTULO VI

QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM EM PROSPECCÃO GEOQUÍMICA

1	INTRODUÇÃO	72
2	MÉTODO UTILIZADO	74
2.1	Seleção dos Fatores e Variáveis de Campo	74
2.2	Seleção das Variáveis de Laboratório	78
2.3	Interação entre Fatores (Cruzamentos) e Variáveis de Campo (Correlações)	79
2.4	Caracterização das influências sobre os elementos químicos	79

3	RESULTADOS OBTIDOS	82
4	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM	101

CAPÍTULO VII

ESTIMATIVAS DAS ANOMALIAS COM BASE NOS TIPOS LITOLÓGICOS

1	INTRODUÇÃO	104
2	MÉTODO UTILIZADO	104
2.1	Individualização dos dados por litologia	106
2.2	Análise Estatística	109
2.3	Análise Exploratória dos dados	113
2.4	Análise dos dados "truncados"	117
2.5	Definição dos Domínios Geoquímicos	119
2.6	Distribuição Espacial dos Teores	120
2.7	Seleção de Alvos	121
3	DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	121
3.1	Análise Estatística	122
3.2	Cartografia Geoquímica	132
3.3	Domínios Geoquímicos e a Seleção de Alvos	160

CAPÍTULO VIII

REGIONALIZAÇÃO DOS DADOS GEOQUÍMICOS

1	INTRODUÇÃO	167
2	NOÇÕES BÁSICAS DE GEOESTATÍSTICA	168
2.1	Variograma	168
2.2	Modelos de Variograma	170
2.3	Cálculo do Variograma: Um exemplo Prático	173
2.4	Krigagem	176
3	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS DADOS GEOQUÍMICOS	177
3.1	Ajuste dos Variogramas Experimentais	177
3.2	Cálculo da Dimensão Ideal da Célula	179
3.3	Krigagem das Células	181
3.4	Cartografia das Anomalias segundo critério Geoestatístico	184

4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE GEOESTATÍSTICA ...	185
---	--	-----

CAPÍTULO IX

ANÁLISE CARACTERÍSTICA: UMA TÉCNICA PARA QUANTIFICAÇÃO DA POTENCIALIDADE MINERAL DE UMA REGIÃO

1	INTRODUÇÃO	189
2	MÉTODO DA ANÁLISE CARACTERÍSTICA	191
2.1	Segunda Derivada de uma Superfície	191
2.2	Representação Booleana	196
2.3	Formulação de um Modelo de "Prospectividade"	196
2.4	Avaliação Regional das Células	200
3	APLICAÇÃO DE MODELOS PARA A REGIÃO ESTUDADA	200
3.1	Análise dos Dados gerados pelos Modelos	203
3.2	Programas Computacionais	206
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	228
5	CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE CARACTERÍSTICA	233

CAPÍTULO X

CONCLUSÕES	235
------------	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	238
----------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	248
--------------------	-----

ANEXOS

A — Equações, Estatísticas e Modelos utilizados para Análise de dados categóricos.....	258
B — Teste de Duncan.....	261
C — Resultados dos testes de aderência e Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Qui-Quadrado (χ^2) para normalidade e lognormalidade e estimativas do nº de populações.....	262
D — As equações da krigagem.....	275
E — Ajustes dos variogramas experimentais globais e das unidades litológicas.....	280
F — Mapas de anomalias dos elementos químicos através do método de krigagem.....	299

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho foi possível graças a conjugação de esforços de várias pessoas e entidades, a quem gostaria de tornar pública minha profunda gratidão.

A orientação desse estudo foi dada pelo Professor Doutor Gilberto Amaral, a quem agradeço a troca de idéias e as sugestões valiosas, bem como a sua dedicada participação nas diversas etapas do trabalho.

O Doutor Richard W. Lewis Jr., em muito contribuiu com sua vasta experiência em exploração geoquímica para a efetivação deste trabalho, através de importantes sugestões, sobretudo durante a elaboração dos modelos de análise característica.

Ao estatístico José A. Quintanilha devo a colaboração na definição dos conceitos sobre o formalismo estatístico que um trabalho desta natureza requer.

Aos geólogos do Agrupamento de Recursos Minerais da DMGA-IPT e em especial ao José Affonso R. Saragiotto e Rubens Borges da Silva, agradeço as profícuas discussões realizadas sobre os resultados geoquímicos da área estudada. Ao geólogo Celso Dal Ré Carneiro devo a colaboração referente a discussão sobre o contexto geológico da área.

Ao eng. Marcos Rodrigues e a sua equipe do Agrupamento de Sistemas Urbanos - ASUR do IPT, agradeço o auxílio e as facilidades fornecidas na elaboração dos mapas bi e tridimensionais da análise característica.

Aos professores Alain Marechal e Georges Matheron do Centro de Geoestatística de Fontainebleau da Escola de Minas de Paris, os quais me introduziram no universo da geoestatística, agradeço o estímulo sempre constante para a aplicação desta técnica aos dados geoquímicos, durante a minha estada no Centro.

Ao acadêmico em estatística Marcos T. Maeda agradeço o auxílio no processamento dos programas de geoestatística.

Os técnicos Bernadete Santos Andrade e Ari Ferreira Pontes muito me auxiliaram na preparação das ilustrações e no processamento dos dados.

As bibliotecárias Márcia Regina Migliorato Saad e Maria Solan

ge de Oliveira Pereira colaboraram junto com a sua equipe na recuperação de um grande número de referências bibliográficas e na normalização da listagem final dos artigos consultados.

A Srta. Marlene Santana agradeço o cuidadoso trabalho de datilografia dos originais.

Agradeço ainda ao Sr. Jaime Alves da Silva pela preparação das capas e a montagem final da Tese.

À Intertec Serviços Ltda. na pessoa do seu gerente de marketing Eng. Carlos Alberto Quaresma agradeço as facilidades fornecidas de sua infra-estrutura em informática que um trabalho desta natureza requer.

O apoio institucional dessa investigação foi mantido pela Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. graças ao incentivo de sua Direção.

Gostaria, finalmente de agradecer ao PRÓ-MINÉRIO - Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo o suporte financeiro para a viabilização desse trabalho.

O Autor

ILUSTRAÇÕES

Este volume contém:

45 Tabelas numeradas em seqüência e intercaladas no texto.

71 Figuras numeradas em seqüência e intercaladas no texto.

6 Anexos, com a seguinte ordem:

ANEXO A - Equações, Estatísticas e Modelos utilizados para Análise de dados categóricos.

ANEXO B - Teste de Duncan.

ANEXO C - Resultados dos testes de aderência e Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Qui-Quadrado (χ^2) para normalidade e lognormalidade e estimativas do nº de populações.

ANEXO D - As equações da krigagem.

ANEXO E - Ajustes dos variogramas experimentais globais e das unidades litológicas.

ANEXO F - Mapas de anomalias dos elementos químicos através do método de krigagem.

RESUMO

O desenvolvimento de métodos quantitativos para a interpretação e integração de dados geoquímicos regionais constitui a filosofia básica deste trabalho. Estes métodos representam um instrumento para auxiliar na separação entre as anomalias significativas e as flutuações dos teores, nem sempre de fácil execução, em decorrência da existência de inúmeros fatores que intervêm no conteúdo dos elementos químicos.

A região selecionada para aplicação desses métodos abrange os domínios geológicos e tectônicos da faixa Brasileira das folhas topográficas de Itaquaquecetuba, Igaratã, Piracaia, Camanducaia e Monteiro Lobato no Estado de São Paulo, perfazendo uma área com aproximadamente 2 400 km². Nessa região foram recolhidas 1 900 amostras geoquímicas de sedimento de corrente, obedecendo uma densidade média de uma amostra por quilômetro quadrado.

Uma decorrência natural do desenvolvimento dos métodos de exploração mineral e quantitativos que será abordada neste trabalho é o dimensionamento da relação custo/benefício. O planejamento econômico possui sérias implicações nos levantamentos geoquímicos, pois uma campanha mal planejada sem o conhecimento dos riscos inerentes da exploração mineral, podem prejudicar a performance da campanha, comprometendo a informação geoquímica.

Uma outra parte deste trabalho é consagrada a avaliação da qualidade das medidas, através das amostras em duplicata e replicata. Esse tipo de avaliação possibilita detectar a dispersão artificial introduzida durante a aquisição dos dados, quer seja na amostragem e/ou na preparação e análise das amostras no laboratório. Nesse trabalho, através de diversos métodos estatísticos, foi possível classificar os elementos em relação a esses controles; cujos resultados foram os seguintes: os elementos Fe, Ca, Mg, Mn, B, Ba, Ga e Sr apresentaram um alto grau de reprodutibilidade, enquanto as flutuações para o Ti, Co, Cr, Cu, Nb e Zr são mais acentuadas. Os elementos La, Mo, Ni, Pb, Sc, V e Y constituem as maiores variações nas medidas quer nas replicatas como nas duplicatas, devido provavelmente a baixa sensibilidade no limite inferior de

detecção. Essa variação não constitui um obstáculo para a identificação das anomalias relevantes, na medida que essas flutuações se restringem ao "background" geoquímico.

Os parâmetros de amostragem, tais como: litologia, pluviosidade, área de bacia, dentre outros foram utilizados neste trabalho para avaliar as relações entre esses parâmetros e as variações significativas dos teores nos elementos traços. Nesse estudo determinou-se que somente a litologia, granulometria e o tipo de ocupação do solo possuem uma variação real e podem vir a influenciar os teores. Em decorrência dessa avaliação, os dados geoquímicos foram agrupados em função das litologias onde foram definidos onze alvos geoquímicos através de métodos geoestatísticos convencionais e reamostragens de algumas áreas de interesse.

A regionalização dos teores e a sua análise estrutural baseada nos métodos geoestatísticos — variograma e krigagem — possibilitou a definição de uma dimensão ideal de célula (2000m) e a individualização de algumas anomalias geoquímicas para os elementos Fe, B, Co, Cr e Cu, adaptados às características espaciais de cada variável.

A integração das informações geológicas e geoquímicas, através da análise característica possibilitou a quantificação da potencialidade mineral da área em foco, utilizando-se de quatro modelos de mineralização. Através desses modelos foi possível definir áreas de interesse direto para diversos ambientes, destacando-se um "trend" na direção NE vinculado a mineralizações vulcano-sedimentares e alvos vinculados as rochas granitoides e pegmatíticas.

ABSTRACT

The basic philosophy of this dissertation was to develop quantitative methods for the interpretation and integration of regional geochemical data. These methods constitute basic tools for the difficult task of separating significant anomalies from fluctuations in background concentrations, caused by the innumerable factors that influence the concentration of chemical elements.

The area selected for the development of these methods is located in the eastern part of the State of São Paulo and covers some 2,400 km² in the quadrangles of Itaquaquecetuba, Igarata, Piracaia, Camanducaia and Monteiro Lobato. The area is underlain by Precambrian rocks situated in a Brazilian Tectonic belt. In this region, 1900 geochemical stream sediment samples were collected, yielding an average density of one sample per kilometer squared.

A natural outcome of the quantitative mineral exploration methods developed in this dissertation, is the scaling of the cost/benefit relation. As economics plays an important rule in any geochemical survey, it should be emphasized that badly planned campaign, which disregards the inherent risks of mineral exploration can limit the performance of a geochemical campaign and consequently seriously compromise the final results and conclusions.

Another aspect of this dissertation deals with the evaluation of the quality of analytical measurements through the use of duplicate and replicate samples. This type of evaluation permits the detection of artificial dispersion introduced during the acquisition of data, whether it be in sampling or the preparation and analysis of the samples. It was possible herein to classify the analytical performance of various elements in selection controls (samples using various statistical methods). The following results were obtained: the elements Fe, Ca, Mg, Mn, B, Ba, Ga e Sr presented a high degree of reproductibility whereas Ti, Co, Cr, Cu, Nb and Sr showed accentuated fluctuations.

The highest variations in both replicates or duplicate samples were shown by La, Mo, Ni, Pb, Sc, V e Y, which in part may be caused by low analytical sensitivity near the lower detection

limit. Nevertheless high variation do not present problems in identifying the relevant anomalies as long as the fluctuations are restricted to values considered part the geochemical background.

Sampling parameters, such as: lithology, average rainfall and basin area were used to evaluate the relation between these ambient factors and significant variations in trace-element concentrations. It was concluded that only the lithology, sediment, granulometry and soil use showed enough variation to cause possible influence on the trace-element concentrations. As a consequence of this evaluation the geochemical data was grouped according to lithologies in which eleven geochemical targets were defined using conventional geostatistical methods, followed by resampling in some areas of interest.

The regionalization of the concentrations and structural analysis based on geostatistical methods-variogram and kriging - made it possible to define an ideal cell size (2000 m) and individualize some geochemical anomalies for the elements Fe, B, Co, Cr and Cu, adapted to the spatial characteristics of each variable.

The integration of geological and geochemical information by means of characteristics analysis made it possible to quantify the mineral potential of in area under investigation, using four mineralization models. It was possible to define areas of direct interest for different ambients with the use of these models. Some areas that stand out lie along a northeastern trend related to vulcano-sedimentary mineralization and as well as potential targets related to granitoid and pegmatitic rocks.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento atual da sociedade industrial baseia-se no uso intensivo dos recursos minerais, que provoca conseqüentemente um esgotamento progressivo das reservas atualmente conhecidas. As nações preocupadas na manutenção de um estoque estratégico de jazidas e com o equilíbrio no abastecimento de matérias-primas, buscam fomentar a descoberta de novos jazimentos através da exploração mineral.

Em diversas regiões climáticas, principalmente no contexto do meio físico brasileiro, a prospecção através da observação direta dos indícios de mineralização, torna-se extremamente difícil e onerosa, devido a existência de uma extensa cobertura resultado da alteração das rochas e a ausência de afloramentos e infra-estrutura adequada. Durante muito tempo essa cobertura quer vegetal, pedológica ou rochosa, constituiu uma barreira quase intransponível a qualquer prospecção sistemática direta das jazidas minerais metálicas e particularmente às sulfetadas. Deste modo, pode-se afirmar sem nenhum exagero, que nas regiões de mais fácil acesso a maior parte das jazidas descobertas no passado recente apresentaram indícios com grande expressão na superfície.

Na atual década a exploração mineral defronta-se com um grande desafio tecnológico imposto pela sociedade: conceber novas técnicas de investigação, capazes de detectar jazimentos econômicos subaflorantes ou mascarados por dezenas ou centenas de metros de cobertura estéril.

Dentro deste contexto, a prospecção geoquímica ocupa um lugar de destaque, na medida que esta técnica possibilita substituir a observação direta pelo reconhecimento de características peculiares dos jazimentos e o seus ambientes, através da análise dos elementos químicos presentes nos materiais superficiais (água, solo, aluvião, etc.).

Durante uma campanha de prospecção geoquímica uma área é submetida a uma amostragem sistemática em diferentes escalas, onde são geradas uma grande quantidade de informações com o objetivo de de

tectar anomalias que indiquem a proximidade de um corpo mineralizado.

O sucesso e a eficácia da prospecção geoquímica para atingir esses objetivos depende da dosagem de inúmeros elementos químicos a níveis situados na escala de partes por milhão (ppm). Em função desses requisitos, a geoquímica tornou-se durante longo período uma técnica de uso limitado a alguns elementos químicos, tendo em vista as restrições impostas pela falta de sensibilidade e o custo elevado dos métodos analíticos até então existentes.

O progresso tecnológico abriu amplas perspectivas para a geoquímica através do aperfeiçoamento das técnicas analíticas (espectrografia de emissão, absorção atômica, plasma, etc.) que permitiu superar as dificuldades anteriormente mencionadas a um custo extremamente baixo. Esse fato impulsionou o uso de análises multi-elementos em grande escala, que demandou a incorporação de técnicas quantitativas e o uso da informática para manipulação e interpretação desse enorme volume de dados gerados.

1. Objetivos

Uma decorrência natural do desenvolvimento dos métodos exploratórios, que será abordado nesse trabalho e que raramente é incorporado no planejamento das campanhas de prospecção geoquímica, é o dimensionamento da relação custo/benefício. Conforme será demonstrado, essa análise possui sérias implicações, pois uma campanha mal planejada sem o conhecimento dos riscos e das peculiaridades que envolvem a exploração mineral, podem levar muitos empreendimentos ao desastre, comprometendo a informação geoquímica.

O controle da variabilidade resultante da análise e da amostragem através de amostras em replicata e duplicata, constitui outro aspecto que será detalhado neste trabalho na medida que a identificação das anomalias está intimamente ligada à qualidade dos resultados geoquímicos e a operacionalidade dos referidos controles.

A incorporação de determinados tipos de informação geoquímica, que usualmente não são incluídas na análise dos dados geoquímicos, será avaliada através de diversas técnicas estatísticas uni e multivariadas, bem como a influência destas variáveis na definição dos valores geoquímicos.

Em função dessa avaliação, os dados geoquímicos serão agrupados em função das litologias, visando definir as áreas com as anomalias mais significativas na região estudada.

A regionalização dos teores e a sua análise estrutural baseada nos métodos geoestatísticos (variograma e krigagem) da escola francesa constitui outro aspecto que será examinado, bem como a de finição da dimensão de uma célula ideal, de modo que a informação geoquímica seja otimizada.

Na parte final deste trabalho será utilizada a técnica multivariada da Análise Característica que incorpora noções modernas de reconhecimento de anomalias geoquímicas, permitindo quantificar a potencialidade mineral da área estudada. Essa técnica utiliza todas as informações mencionadas anteriormente e baseia-se em modelos pré-estabelecidos construídos pelo usuário. Em função das características da área foram selecionados 4 modelos que mostraram bens resultados em termos de prospectividade.

Em síntese, pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- metodologia de integração e interpretação dos dados geoquímicos regionais para quantificação da potencialidade mineral da área a nordeste da cidade de São Paulo;
- métodos quantitativos para definição de áreas que possam ter alto índice de sucesso na prospecção para determinados modelos de associações de elementos-traços;
- conjunto de elementos-traços, como indicadores da potencialidade mineral;
- sistema automático e interativo para avaliação e quantificação para recursos minerais, visando subsidiar o planejamento para futuros trabalhos de prospecção que atenda cada modelo de mineralização pré-estabelecido.

2 JUSTIFICATIVAS

Nas últimas décadas a aplicação de métodos quantitativos em Geociências tem experimentado uma grande expansão em todos os seus domínios. No caso específico da exploração geoquímica, já se possui internacionalmente um certo conhecimento acumulado cujas aplicações mostraram razoável sucesso na descoberta de importantes depósitos minerais.

No Brasil, entretanto, o tratamento e interpretação de dados de prospecção geoquímica encontram-se num estágio de desenvolvimento

to muito aquêm da demanda existente. A maior parte das técnicas e dos programas computacionais é importada, sendo que muitos deles não são adaptáveis à realidade nacional e regional, implicando em pesado ônus com pagamento de royalties.

No curso dos últimos vinte anos foram descobertas 200 a 300 jazidas minerais através dos métodos geoquímicos (BOYLE, 1979), o que justifica a importância que deve ser dada ao estudo e aperfeiçoamento desta técnica, ao conhecimento da estrutura dos dados geoquímicos e aos métodos quantitativos que possibilitam avaliar o potencial mineral de uma região, que constituem os temas que serão a bordados nesta tese.

A par do elevado interesse científico e tecnológico que um estudo dessa natureza encerra, existem ainda outras questões ligadas ao setor mineral, que justificam o estudo na área em questão. Trata-se de uma região que vem merecendo a atenção de diversos pesquisadores e entidades, em função do seu contexto metalogenético e a proximidade do mercado consumidor da cidade de São Paulo. A área abrange uma porção considerável do Grupo São Roque, que representa uma das unidades mais promissoras do Estado sob o ponto de vista de aproveitamento mineral, apenas superada pelo Vale do Ribeira em volume de jazidas ou ocorrências conhecidas.

3 EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

As técnicas de prospecção geoquímica vêm sendo empregadas na descoberta dos depósitos minerais durante séculos, embora de maneira pouco sistemática. Segundo BOYLE (1984), os antigos tratados greco-romanos já faziam menção ao uso de concentrados de bateia em drenagens na pesquisa de ouro. AGRICOLA (1556), na sua célebre obra DE RE METALLICA, enfatiza o papel da análise das águas superficiais na descoberta dos veios mineralizados e discute os seus efeitos provocados na vegetação.

Nos tempos recentes, os primeiros levantamentos geoquímicos sistemáticos foram realizados por cientistas soviéticos, GINZBURG (1960) apresenta um histórico destas pesquisas, mostrando que desde a década de 30 eram realizadas investigações através de métodos geoquímicos na URSS, sendo já desde esta época usadas análises espectrográficas multi-elementos. A prospecção geoquímica teve um enorme desenvolvimento na URSS tanto que a partir de 1955, os traba

lhos geoquímicos tornaram-se obrigatórios em todos os levantamentos geológicos.

Já nesse período eram coletadas e analisadas nesse país aproximadamente cinco milhões de amostras por ano, em sua maioria de rochas, solos e sedimentos de corrente. Essa cifra é bastante significativa se compararmos com o número atualmente estimado de 15 milhões de amostras coletadas no mundo inteiro, sendo 10 milhões somente na URSS (BOYLE, 1979).

Após a Segunda Grande Guerra, os métodos geoquímicos foram introduzidos nos E.U.A., Canadá e na Europa e empregados extensivamente nos programas exploratórios pelas companhias e agências governamentais do setor mineral, em função da demanda crescente de matérias-primas minerais. Nesse período utilizavam-se maciçamente os métodos analíticos de colorimetria em laboratórios móveis ou portáteis, onde a maior parte das amostras eram analisadas no campo.

Um marco evolutivo na história da prospecção geoquímica é o desenvolvimento dos métodos de análise multi-elementos, que permite a dosagem simultânea de 20 a 30 elementos a um preço competitivo. Esse fato propiciou a adaptação e o desenvolvimento de técnicas específicas de quantificação através do computador, possibilitando a interpretação dos resultados analíticos mais eficazes e seletivos.

Um dos produtos desse progresso tecnológico refere-se a mudança do conceito tradicional de anomalia geoquímica, antes baseado no teor e distribuição de um único elemento químico, e atualmente com um enfoque múltiplo caracterizado pela distribuição global dos elementos e demais variáveis qualitativas (litologia, pluviosidade, etc) que participam e condicionam o ambiente geoquímico.

4 CARACTERÍSTICAS DA INFORMAÇÃO GEOQUÍMICA

A natureza da informação em prospecção geoquímica combina dois tipos de componentes: a primeira que descreve a constituição (ou composição) das amostras e a segunda que nos informa sobre a sua localização.

Na primeira componente a composição das amostras é obtida através da análise de diversos elementos químicos. Essas variáveis fornecem os elementos (e associados) que possuem um interesse econômico, tais como: os metais básicos vinculados a mineralizações

sulfetadas de Cu, Pb e Zn. No contexto das campanhas geoquímicas regionais, busca-se executar uma varredura a mais completa possível do potencial metalogenético de uma região, utilizando-se de métodos analíticos multielementares. Outros tipos de medidas que complementam os dados multielementares são: teores de matéria orgânica, Eh, pH, granulometria, cor, litologia, etc.

A posição das amostras no mapa indicado pelas suas coordenadas representa a segunda componente da informação geoquímica. Nesse grupo estão representadas as observações relativas ao ambiente das amostras ou do sítio de amostragem.

Segundo LEWIS (1984), os dados geoquímicos podem ser divididos também em três categorias:

- 1) Dados qualitativos;
- 2) dados semi-quantitativos, e
- 3) informação quantitativa

Os dados classificados como qualitativos são do tipo categórico ou descritivo, cuja informação não admite uma expressão numérica ou hierárquica. A distribuição desses dados não permite uma análise estatística através de, por exemplo, medidas de tendência central. A manipulação dos dados qualitativos por intermédio dos métodos estatísticos tradicionais é bastante difícil, entretanto, esses dados admitem algumas operações de contagem e correlação cruzada com outras variáveis. Este tipo de informação pode ser utilizado como critério para separar subpopulações e estabelecer controles de amostragem como será visto no capítulo VI desse trabalho. Exemplos desse tipo de dado incluem: data da coleta, coletor, método analítico, cor, tipo e horizonte de solo, cobertura vegetal, unidade geológica e/ou litologia no ponto de amostragem, etc.

Os dados semi-quantitativos compreendem as informações do ambiente geoquímico e descritivo, que podem ser mensuradas com certa precisão, mas a sua variabilidade apresenta um interesse limitado em prospecção geoquímica. Exemplos nesse grupo incluem: dados pluviométricos, área da bacia de drenagem, profundidade, coordenadas cartesianas, altitudes, etc. A aplicação mais comum desses dados se concentra na classificação dos dados analíticos em grupos homogêneos.

Os dados quantitativos englobam as informações de caráter numérico (escalar ou hierárquico). Os valores mostram uma tendência

de distribuição consistente que permite a sua manipulação estatística. A maioria dos métodos estatísticos utilizados em exploração geoquímica visam a utilização desses tipos de dados. Os exemplos típicos desses dados são as análises geoquímicas.

Um outro tipo de abordagem em relação aos dados geoquímicos é o proposto por MELLINGER et al. (1984), onde a informação geoquímica é apresentada como um espaço de variação dos dados que contém todas as medidas e observações, isto é, os dados químicos, geográficos e geofísicos. O espaço químico contém todos os dados químicos expressos diretamente em concentração (p.ex.: ppm de Cu) ou indiretamente (pH). O espaço geográfico resume os dados espaciais dispostos geralmente em sistemas de coordenadas geográficas (p.ex.: morfologia, geomorfologia, litologia, vegetação, etc). O espaço geofísico contém os dados obtidos através dos métodos geofísicos, incluindo dados de sensoriamento remoto e propriedades físicas das amostras.

A aplicação dos métodos quantitativos aos dados geoquímicos devem ter sempre como premissa a incorporação das características acima mencionadas. Torna-se importante ressaltar que um conjunto de dados geoquímicos possui sempre um caráter misto, ou seja, o caráter da informação combina componentes descritivos, semi-quantitativos com os resultados analíticos. Em outros termos, utilizando a definição de MELLINGER et al. (1984) o caráter da informação geoquímica combina diferentes espaços de variação de dados (químicos, geográficos e geofísicos).

Essas premissas impõem uma flexibilidade na busca de um método estatístico adequado para tratar o conjunto dessas informações.

Uma outra peculiaridade refere-se aos planos de amostragem geoquímica que será abordada no capítulo V, que na prática encerram sempre uma considerável quantidade de desvios ou viés (variações) da amostragem original. Isto é provocado por fatores operacionais, tais como: dificuldade de acesso, topografia, predominância de certas unidades geológicas, etc. Na maioria das circunstâncias é impraticável evitar esses tipos de erros. Entretanto, deve-se buscar reconhecê-los, não permitindo que os mesmos provoquem distorções nas inferências estatísticas dos dados e sua conseqüente interpretação.

O número insuficiente de amostras coletadas constitui um problema freqüente da amostragem em exploração geoquímica. Nestas situações, onde as unidades não podem ser submetidas a um tratamento estatístico adequado, ocorre uma perda significativa de informação.

CAPÍTULO II

ASPECTOS ECONÔMICOS NO PLANEJAMENTO DA PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA

Neste capítulo pretende-se abordar uma questão que usualmente não é incorporada quando se executa um planejamento de campanhas geoquímicas regionais. Trata-se da conceituação de risco e do impacto dos benefícios em relação aos custos envolvidos, visando a otimização da informação geoquímica.

Em termos genéricos, pode-se conceituar a exploração mineral como a geração de oportunidades (depósitos minerais) com caráter e conômico para o setor mineral. O processo da descoberta envolve uma longa cadeia de eventos com ações ora independentes ora com alto nível de interdependência que culminam na definição e avaliação permanente da variável risco, que irá participar em todo o processo de decisão de qualquer empreendimento.

Os custos das operações de uma campanha de exploração mineral são bastante elevados e implicam sempre em grandes riscos. Deste modo, novas tecnologias, inclusive a prospecção geoquímica, devem ser orientadas para proporcionar a redução dos riscos, a diminui-ção dos custos e o aumento do índice de novas descobertas de depósitos minerais. O conhecimento do ambiente geológico, na procura do bem mineral, constitui também um elemento importante porque condiciona a geração dos diversos depósitos minerais. Este fato pode parecer trivial, mas auxilia enormemente na redução dos custos, na medida que não se pretenda, a título de exemplo, pesquisar zinco num ambiente essencialmente para estanho e tungstênio.

No campo da prospecção mineral e principalmente em geoquímica, toda a tarefa de avaliação racional e objetiva do desempenho da técnica utilizada, torna-se extremamente difícil em função da escassez de dados que retratem a situação inicial dos levantamentos, os custos envolvidos, o nível e o número de descobertas. Dentro das limitações impostas, faremos uma tentativa de esboçar alguns critérios, que podem ser incluídos no planejamento dos levantamentos geoquímicos ou em campanhas exploratórias em larga escala.

Um primeiro fator que pode auxiliar na avaliação econômica de uma técnica no campo da exploração mineral é dimensionar suas despesas por quilômetro quadrado. Esse fator varia em função dos seguintes parâmetros: grau de recobrimento (escala), cobertura vegetal, grau de acesso à região e características do meio físico. Segundo TROY (1973) que trabalhou com dados de levantamentos do hemisfério norte, afirma que partindo-se de uma área de cerca de 1 milhão de km^2 , tornou-se possível a geração de 12 jazidas a um investimento médio de 450 dólares/ km^2 . Essas cifras devem variar sensivelmente em campanhas realizadas dentro do contexto de um meio físico brasileiro como, por exemplo, da Amazônia.

Na verdade as superfícies iniciais nas operações de uma campanha estratégica, seja através de geoquímica ou de outra técnica qualquer jamais são publicadas, o que torna a análise da viabilidade econômica bastante complexa. Estudos realizados por diferentes especialistas em diversos países para algumas províncias metalogênicas indicam que uma prospecção regional representa cerca de 15% das despesas totais da pesquisa, e corresponde aproximadamente 4% do valor do minério descoberto.

ROUTHIER (1980) propõe a utilização de três tipos de razões para o controle de um teto de investimento, de modo que este não se torne proibitivo:

$$R_1 = \frac{\text{custo global das pesquisas}}{\text{valor total do minério}}$$

$$R_2 = \frac{\text{custo global das pesquisas}}{\text{lucro anual global}}$$

$$R_3 = \frac{\text{custo global das pesquisas em 20 anos}}{\text{lucro acumulado durante 20 anos (realizado+provável)}}$$

Aquele autor aplicou esses critérios para as atividades de exploração mineral do Bureau de Recherches Geologique et Minières — BRGM entre o período de 1948 a 1966, considerando as exigências usuais das companhias privadas e dos bancos. O valor encontrado para R_1 e R_3 foi respectivamente 2% e 3%, embora uma das funções básicas destes levantamentos fosse a avaliação dos recursos minerais do território francês, que não objetivava um resultado econômico imediato.

Conforme salientado anteriormente, esses valores são bastante imprecisos, pois variam de país a país. Dados da ONU (1978) indicam para R_1 um teto de 0,8%; a União Soviética opera com valores na faixa de 2% a 10%. O valor de R_1 será mais baixo na medida que o jazimento descoberto se apresentar com um bom potencial metalogenético e com uma estrutura bastante simples. Os parâmetros R_2 e R_3 implicam numa vinculação mais estreita com o valor econômico da jazida, ao invés da otimização e rendimento dos trabalhos de pesquisa. No Canadá para 6 metais: Cu, Pb, Zn, Ni, Mo e V no período entre 1951-1970 as despesas totais da pesquisa e avaliação representaram 6% a 7% do valor da produção mineral do período, com base nos preços dos minérios da usina de concentração. Na TABELA 1 tem-se um quadro bastante detalhado dos custos envolvidos na quisa mineral,

Dados recentes de GIRAUD (1983) obtidos do Inventário Mineiro Francês após cinco de atividades, através de campanhas sistemáticas de geoquímica e geofísica fornecem uma boa imagem do tipo de produto gerado e os riscos envolvidos (probabilidade de descoberta). Neste inventário foram detectadas 1 000 anomalias, sendo que 200 delas após trabalhos de detalhe, justificaram a execução de algumas sondagens. Deste total, somente 25 prospectos mereceram uma avaliação que culminou na geração de 3 a 4 minas.

Estudo semelhante foi realizado pela COMINCO, empresa estatal de mineração do Canadá, sobre o desempenho da empresa entre o período de 1927-1969 onde foram auferidos os seguintes resultados:

- número de alvarás requeridos nas áreas onde a prospecção foi efetuada - 1 000
- número de programas de reconhecimento realizado com valores superiores a US\$ 73 000 - 78
- número de jazidas descobertas - 18
- número de minas rentáveis - 7

A partir de dados internacionais, BEUS & LEPELTIER (1980) fizeram uma avaliação dos custos em termos percentuais das diversas etapas numa campanha de prospecção geoquímica (TABELA 2), onde foi constatado que a etapa mais onerosa é a amostragem. Os resultados do Programa Geoquímica Regional do Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais - PRÓ-MINÉRIO aproximam-se bastante dos valores médio definidos na referida tabela.

TABELA 1 - ESTATÍSTICAS DO CUSTO DA PESQUISA MINERAL SEGUNDO GIRAUD (1983).

ÍNDICES	OBSERVAÇÕES
<p>A) <u>Pesquisa mineral com sucesso</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • O custo estatístico de descoberta e avaliação de um jazimento representa aproximadamente 4 vezes o montante das despesas efetivamente utilizadas na exploração de um bom prospecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Este índice pode variar de 2 a 15 se restringirmos as fases de exploração
<p>B) <u>Custo da pesquisa sob o valor da produção</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 a 7% do valor da produção mineral, avaliado sob o concentrado do minério. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para os principais metais não-ferrosos.
<p>C) <u>Custo da pesquisa nos investimentos minerais globais</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • No Canadá representa 16% aproximadamente dos novos investimentos mineiros (sem incluir refinaria e fundição) para os minerais metálicos. • Uma amostra mundial de 21 jazimentos que foram colocados na fase de lavra as despesas de exploração representam 6,5% dos investimentos totais necessários a abertura da mina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluindo as pesquisas sem sucesso • Razão decresce à medida que a dimensão da mina cresce
<p>D) <u>Custo anual da pesquisa para as companhias mineiras</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 2% dos lucros • 10,8% do fluxo de caixa ("cash flow") • 18% do benefício líquido, descontando os impostos 	<ul style="list-style-type: none"> • Dados calculados para uma amostra de companhias mineiras norte-americanas

TABELA 2 - CUSTOS PERCENTUAIS DAS ETAPAS DE UM PROGRAMA DE EXPLORAÇÃO GEOQUÍMICA EM ÂMBITO REGIONAL.

ETAPA PROJETO	TRABALHO DE CAMPO (%)	EQUIPAMENTO (%)	LABORATÓRIO (%)	SUPERVISÃO E RELATÓRIO (%)
Guatemala (1969)	55	6	7	32
El Salvador(1970)	48	12	12	28
Panamá-FaseII(1971)	64	5	11	20
Equador (1972)	49	11	12	28
Marrocos (1974)	47	16	13	24
M É D I A	53	10	11	26

Fonte: BEUS & LEPELTIER (1980)

Os resultados demonstram claramente que os trabalhos de campo respondem por mais da metade do custo da campanha geoquímica, de modo que um pequeno incremento no volume das operações de amostragem terá um grande impacto no custo final do projeto. Um aumento da densidade de amostragem de 1 para 5 amostras por Km^2 , implicará num acréscimo de custo das operações de campo, provocando um aumento em termos globais de 50% para 75% (BEUS & LEPELTIER, 1980). A expectativa seria que esse acréscimo gere um aumento de US\$ 20/ Km^2 para US\$ 35/ Km^2 .

A FIGURA 1 apresenta as diversas escalas utilizadas nas campanhas de geoquímica por sedimento de corrente. Os dados internacionais foram obtidos de HOWARTH (1983), enquanto que as informações referentes ao Brasil foram coletadas a partir de dados reunidos por SUSLICK (1985) de entidades (Departamento Nacional de Produção Mineral — DNPM, Companhia Baiana da Pesquisa Mineral — CBPM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — CPRM, Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais — PRÓ-MINÉRIO, etc.) que participam na área de levantamento geoquímico. As principais densidades de amostragem utilizadas no Brasil em levantamentos regionais são resumidos na TABELA 3.

TABELA 3 - PRINCIPAIS DENSIDADES DE AMOSTRAGENS UTILIZADAS NOS PROGRAMAS GEOQUÍMICOS NO BRASIL.

LEVANTAMENTO	DENSIDADE DE AMOSTRAGEM (AMOSTRA/ Km^2)
CPRM — Amazonia	1/50-100
PGBC (Programa Geofísico Brasil Canadá — DNPM)	1/50
Bambuí (CPRM)	1/5
CBPM (Contendas - BA)	1/3,4
Jatibaras (NE)	1/3
Progr. Geoquím. Regional (PRÓ-MINÉRIO-SP)	1/1

De uma maneira geral, conforme ressaltado anteriormente, em todos os programas quer a nível nacional ou internacional, as informações referentes ao número de amostras, a dimensão da área pesquisada e o número de anomalias produzidas são frequentemente omi-

tidas, que dificulta a comparação e avaliação dos resultados.

A experiência mundial nos trabalhos de prospecção geoquímica com sedimento de corrente vem comprovando que raramente têm-se ob_utido sucesso na identificação de corpos mineralizados, com uma den_usidade de amostragem inferior a uma amostra para cada 5 km², sendo que os mais altos índices de sucesso foram atingidos com maiores densidades. Essa regra não pode ser generalizada para as condições brasileiras, tendo em vista a extensão territorial e o atual estã_ugio do conhecimento dos ambientes geológico/geoquímico.

No cenário internacional essas densidades também apresentam sensíveis diferenças conforme os objetivos estabelecidos nos levan_utamentos. Na França, GRANIER (1973) recomenda a coleta de 1 a 16 amostras por Km², enquanto na URSS, as densidades oscilam entre 1,7 a 32 amostras por Km². Nos EUA, o projeto National Uranium Re_usource Evaluation - NURE que tem por objetivo o reconhecimento geo_uquímico de todo o país, com base em folhas topográficas de 1 e 2 graus, uti_uliza uma densidade de 1 amostra para cada 12-20 km² para 43 elementos químicos (PRICE, 1979).

FIG. 1 - DENSIDADES DE AMOSTRAGEM (km²/amostra) EM PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SEDIMENTO DE CORRENTE.

Fonte: HOWARTH (1983) e SUSLICK (1985)

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

1 LOCALIZAÇÃO

A área estudada com aproximadamente 2 400 km², situa-se a nordeste da cidade de São Paulo, entre os paralelos 22°45' e 23°30' de latitude sul e os meridianos 46°30' e 45°45' de longitude oeste, abrangendo as quadriculas na escala 1:50 000 de Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3) e Piracaia (SF-23-Y-D-I-1), Igaratã (SF-23-Y-D-I-2), Camanducaia (SF-23-Y-B-IV-3) e Monteiro Lobato (SF-23-Y-B-V-3), conforme mostra a FIGURA 2.

Os principais núcleos urbanos são constituídos pelas cidades de Itaquaquecetuba, Arujá, Piracaia, Bom Jesus dos Perdões, Nazaré Paulista, Igaratã, Monteiro Lobato, Joanópolis e Camanducaia.

A região possui uma densa malha de estradas que possibilita diversas opções de acesso (FIGURA 2). A Rodovia Pedro I secciona transversalmente a área na direção noroeste-sudeste que liga Atibaia (Rodovia Fernão Dias) a Jacareí (Rodovia Presidente Dutra). O extremo oeste da área pode ser atingido utilizando-se da Rodovia SP-65, tomando-se então a estrada para Piracaia e Joanópolis.

Uma outra alternativa de acesso que permite atingir o extremo leste da área é através de São José dos Campos, seguindo pela Rodovia SP-50 que liga São José dos Campos a Campos do Jordão, cortando a área no sentido Norte-Sul.

2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

A região foi inicialmente colocada no contexto da província geomorfológica do Planalto Atlântico, na Zona da Serra da Mantiqueira na denominada subzona ocidental (ALMEIDA, 1964). Estudos recentes (IPT, 1981c) inserem a região na sua porção mais a sul, como uma zona geomorfológica pertencente a Serrania de São Roque e parte no Planalto de Jundiá.

Na parte norte da área que abrange principalmente as quadriculas de Camanducaia e Monteiro Lobato, o relevo é formado por serras alongadas e montanhas com vales profundos, predominando topos angulosos e vertentes, por vezes abruptas, destacando-se como um dos relevos mais acidentados do Estado de São Paulo. A drenagem sempre muito densa apresenta-se em padrões dendríticos.

As escarpas da Serra da Mantiqueira atuam como acumuladoras de unidade, barrando os ventos com índices pluviométricos que che

FIGURA 2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DOS ACESSOS

gam a atingir 2 750 mm anuais com maior incidência no verão (dezembro, janeiro e fevereiro), e os períodos de seca coincidem com o inverno (junho-julho).

Em relação à vegetação primitiva, a área está inserida no domínio da Floresta subtropical subcaducifólia (ALONSO, 1977), com pequenas manchas isoladas de araucárias em superfícies mais elevadas. Atualmente, a cobertura vegetal predominante é constituída por extensas áreas de reflorestamento de "PINUS" e eucaliptos, principalmente na porção nordeste da área.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área em questão abrange a região correspondente ao setor central da Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1977) que se estende ao longo da região costeira do sul da Bahia para o Uruguai. A Província Mantiqueira possui seus limites no sul do Espírito Santo, sul e sudeste de Minas Gerais, engloba o Rio de Janeiro, as unidades pré-cambrianas de São Paulo, o leste paranaense e parte do leste de Santa Catarina.

Um grande volume de dados vem sendo acumulado pelos pesquisadores desde do final do século passado e início deste, na tentativa de separar conjuntos litológicos e as inúmeras constatações de presença de rochas de diferentes idades. Neste trabalho, em função dos seus objetivos, não apresentaremos um perfil histórico da evolução dos conhecimentos nesta região, que pode ser encontrado na síntese publicada por HASUI & OLIVEIRA (1984) na qual é apresentada uma resenha detalhada de boa parte do universo dos trabalhos, destacando-se também a importante síntese coordenada por SCHOBBERHAUS FILHO (1974).

As rochas mais antigas apresentam registros de evoluções políclicas e polifásicas que dificultam sobremaneira a sua delimitação espacial. Algumas dessas rochas eram genericamente Arqueanas. Segundo HASUI & OLIVEIRA (1984), trata-se de rochas metamórficas de fácies granulito, anfibolito e, em pequena parte, xisto-

verde, do Arqueano, Proterozóico Inferior e talvez em alguns locais até do Proterozóico Médio, que mostram efeitos termotectônicos dos eventos Jequiê, Transamazônico, Brasileiro e parcialmente do Uruçuano. As transformações metamórficas, redobramentos, cisalhamentos evidenciam as ações policíclicas, onde o retrabalhamento não se deu de modo uniforme, variando desde regiões praticamente intactas até regiões bastante transfiguradas. As unidades abrangidas na área em questão atribuídas ao Arqueano e Proterozóico Inferior são: Complexo Juiz de Fora, Paraíba do Sul, Piracaia, Santa Isabel, Igaratã e Amparo.

As unidades do Proterozóico Superior foram dobradas e metamorfasadas, e injetadas por granitóides e submetidas à migmatização em processos envolvendo diversas fases. Esses processos produziram modificações que dificultam a reconstituição das seqüências das rochas, entretanto, as unidades maiores podem ser separadas. Na área em foco, segundo HASUI & OLIVEIRA (1984), podem ser incluídas no Proterozóico Superior os grupos: São Roque e Açungui. As rochas granitóides constituem suítes diversas, atribuídas na sua maior parte ao Evento Brasileiro.

No contexto das unidades fanerozóicas podemos assinalar:

- rochas alcalinas diversas em forma de corpos cilíndricos e diques, datados de 110 a 52 Ma;
- sedimentos cenozóicos que incluem a Bacia de Taubaté.

4 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES LITOLÓGICAS E LITOESTRATIGRÁFICAS

Na área podem ser encontradas rochas cristalinas do Arqueano e Proterozóico, variando de xistos de baixo grau de metamorfismo até gnaisses de grau médio-alto e incluindo diversos tipos de rochas graníticas. Destacam-se zonas cataclásticas expressivas, individualizadas através de falhamentos transcorrentes: Falha de São Bento, Zona de falhamento Jundiuvira, Falha de Buquira e Zona de Falhamento Monteiro Lobato-Jaguari. A FIGURA 3 apresenta o mapa geológico simplificado da área, sintetizado a partir dos trabalhos de OLIVEIRA et al.(1983,1985), CAMPOS NETO et al.(1983,1985) e IPT (1981b).

É importante salientar que a individualização das unidades no

mapa foi realizada segundo dois critérios. Um primeiro critério que obedeceu as informações compiladas dos trabalhos mencionados anteriormente. E o segundo critério visou atender as necessidades da compartimentação dos grupos litológicos para interpretação dos dados geoquímicos que será discutida no capítulo IV. Dentro deste contexto, podem ser descritas na área de maneira sucinta as seguintes unidades:

4.1 Complexo Juiz de Fora - Charnockitos

Na parte norte-nordeste da área nas proximidades de São Francisco Xavier ocorrem charnockitos de granulação grosseira, frequentemente com hornblenda e biotita, com intercalações de granada-sillimanita quartzitos. Aparecem em corpos isolados e restritos associados com os granitos porfiríticos. Trabalhos de OLIVEIRA et al. (1983, 1985) situam essas rochas como Arqueanas pertencentes ao Complexo Juiz de Fora.

4.2 Complexo Amparo - Migmatitos

Os migmatitos na porção norte da área que abrange as quadriculas de Camanducaia e Monteiro Lobato foram divididos por OLIVEIRA et al. (1983) em dois tipos: migmatitos de estruturas diversas e migmatitos de injeção. Enquanto os primeiros parecem ser formados por processos de anatexis, sendo os tipos schollen, nebulítico e estromatolítico os mais comumente encontrados, os migmatitos de injeção sugerem uma origem através da introdução de material granítico nas seqüências gnáissicas e migmatíticas, ora discordante, ora paralelamente a gnaissificação. Nesse último tipo resulta o caráter bandado típico com alternância de bandas leuco e mesocráticas, que foi individualizado no mapa com a denominação "MGIA" incluindo no Complexo Amparo (OLIVEIRA et al., 1985).

Em vários pontos dos migmatitos, observa-se um contato parcialmente abrupto com os granitos porfiríticos grosseiros. Segundo os autores na parte sul das quadriculas de Camanducaia e Monteiro Lobato os corpos graníticos apresentam uma relação intrusiva, que mostram a colocação de granitos após a formação dos migmatitos.

4.3 Complexo Amparo - Piracaia - Paraíba do Sul - Santa Isabel - Rochas Gnáissicas

Nesta unidade estão incluídas um conjunto de rochas como gnaisses pelíticos, rochas metabásicas, quartzitos e rochas calciosilicáticas que sofreram metamorfismo de fácies anfibolito a granulito e algumas vezes migmatizadas. Estas rochas afloram na parte central, SW e NE das quadrículas de Monteiro Lobato e Piracaia na porção leste e sudeste onde sofreram intenso cisalhamento e milonitização nas falhas de Jundiunvira, Monteiro Lobato e de Buquira. Podemos destacar nesta unidade os seguintes tipos: sillimanita-granada gnaiss, granada-biotita gnaiss, rochas calciosilicáticas e quartzitos, anfibolitos e granulitos básicos.

Os tipos predominantes na parte norte da área foram individualizados no mapa com a denominação "GNIA" que abrange os sillimanita-granada gnaiss, que se encontram associados aos quartzitos, rochas calciosilicáticas e anfibolitos. Os biotita gnaisses em geral são rochas relacionadas aos sillimanita-granada gnaiss, que resultaram da diminuição da quantidade dos minerais aluminosos e aumento do teor em biotita. Neste tipo não ocorrem intercalações de quartzitos e rochas calciosilicáticas mencionadas anteriormente, mas por outro lado, variações de hornblenda-biotita gnaiss em bandas de anfibolito são frequentes.

Os gnaisses da porção sul da área que abrange os Complexos Paraíba do Sul, Santa Isabel, Piracaia, Igaratã definidos por CAMPOS NETO et al. (1983) foram individualizados com a denominação "GNIP", agrupados no Proterozóico Inferior a médio. Os gnaisses do Complexo Igaratã compreendem biotita e/ou hornblenda gnaisses bandados homogêneos, às vezes porfiróides, composição granítica a tonalítica, granulação média a grossa, coloração cinza e nota-se a presença de blastomilonitos. Nos demais complexos associam-se a sillimanita hornblenda gnaiss, gnaisses bandados, gonditos e gnaisses granítico com alguns conjuntos de rochas intensamente migmatizados.

4.4 Complexo Amparo - Piracaia - Paraíba do Sul - Santa Isabel - Xistos

Os xistos encerram micaxistos dos Complexos Igaratã e Pira

caia (CAMPOS NETO et al. 1983) e recebem a denominação de XSIP no mapa. No Complexo Igaratã predomina xisto à muscovita e biotita, com porfiroblastos de quartzo e localmente granada. Intercalando-se nesta seqüência, tem-se lentes de anfibolito quartzoso e calciossilicáticas. No Complexo Piracaia a unidade dos xistos corresponde a seqüências alternadas de granada-biotita-quartzo xistos, quartzitos micáceos e micaxistos com intercalações menores de anfibolitos, meta-hornblenda gábro, gnaisses e piroxênio-anfibólito gnaiss.

4.5 Suíte Quartzo Monzonítica de Piracaia - Monzonitos e Granodioritos

Trata-se de um maciço orientado NE/SW com contatos intrusivos com contatos intrusivos no seu limite oriental e essencialmente tectônico na borda ocidental. CAMPOS NETO et al. (1983) denominou-o de Suíte Intermediária de Piracaia. A associação varia desde rochas intermediárias a ácidas, incluindo: monzonitos, quartzo-monzodioritos, granodioritos e subordinadamente granitos.

4.6 Grupo São Roque Metassiltitos e Filitos. Xistos e Quartzitos e Anfibolitos

O Grupo São Roque é constituído predominantemente por metassedimentos terrígenos e rochas graníticas, distribuídos em uma faixa alongada que acunha para nordeste, limitada a norte pelo Grupo Amparo, a nordeste pelo Grupo Paraíba do Sul, ambos pertencentes ao Proterozóico Inferior; e a leste e sul pelo Complexo Embu do Proterozóico Superior (IPT, 1981b).

Dentre os metassedimentos terrígenos predominam filitos sericiticos algumas vezes grafitosos, incluindo subordinadamente metassiltitos, quartzo-mica xistos e quartzitos. Associam-se a este conjunto com caráter eminentemente transaccional xistos à biotita, clorita xistos e quartzo xistos com intercalações de metassiltitos, filitos, metagrauvacas, calcários dolomíticos e rochas calciossilicatadas (IPT, 1981b).

Em toda extensão do Grupo São Roque encontra-se a presença de metadioritos e quartzo dioritos gnáissicos ocorrendo principalmente nas proximidades da Serra de Itaberaba.

Diversos corpos de anfibolitos de dimensões muito variadas,

ocorrem intercalados nos metassedimentos. COUTINHO et al. (1982), na região da Serra de Itaberaba distinguiram entre orto e para-anfibolito e definiram um ambiente vulcano-sedimentar nas porções basais do Grupo São Roque. Corpos restritos de rochas cálcio-silicáticas, situam-se geralmente próximos aos contatos dos granitos.

O Grupo São Roque é cortado por rochas intrusivas graníticas sendo representadas por termos porfiróides ou equigranulares. Ao Grupo São Roque são atribuídas por diversos autores da Idade Proterozóica Superior, com as rochas graníticas alcançando até o Eo-Paleozóico.

CAMPOS NETO et al. (1983) propuseram nas quadrículas de Piraí e Igaratã uma litoestratigrafia para o Grupo São Roque na região. A unidade seria composta por um pacote de anfibolitos basais, sucedidos por metarritmitos com intercalações de hematita quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos. O contato basal sugere a evolução de um mar raso epicontinental transgressivo em direção a SE, com zonas paleogeográficas restritas, possivelmente de águas mais profundas. Acima dessas rochas ocorreriam metarcôseos rítmicos, metarenitos rítmicos, micaxistos e, no topo filitos com intercalações de quartzitos.

As litologias do Grupo São Roque estão também associadas aos principais sistemas de falhamentos como falhas de São Bento do Sapucaí, Jundiunvira, Buquira e Monteiro Lobato.

4.7 Suítes Granitóides

Os granitóides da área estudada são bastante diversificados, incluindo termos equigranulares, porfiróides a inequigranulares de composição, cor e granulação variável. CAMPOS NETO et al. (1985) reconheceram diversas suítes, levando-se em consideração relações de contato e estruturais com as rochas encaixantes, composição e textura. Pode-se destacar: Atibaia, Imbiruçu, Catapora, Morro do Pão e Serra dos Índios.

Na parte NE da área, segundo OLIVEIRA et al. (1983) foram individualizados quatro tipos de rochas graníticas, embora as relações entre elas não sejam sempre claras, destacam-se: granito equigranular cinza, granito porfirítico médio, granito porfirítico grosseiro e hiperstênio granito-charnockito. Na porção leste da área conforme mencionado anteriormente os charnockitos de granula

ção grosseira ocorrem associados a granito porfirítico em corpos isolados alternados com o granito. Existem diversos trabalhos so bre a gênese e as relações destes corpos (SADOWSKI & CARNEIRO , 1974; CAVALCANTE et al., 1979) embora não muito conclusivos.

4.8 Rochas Cataclásticas

Nessa categoria estão incluídas todas as rochas afetadas por cataclase ao longo das zonas de falhamento, sendo encontrados: mi lonitos, filonitos e protomilonitos. Na realidade, a maioria das unidades da área encontra-se afetada pela milonitização, destacan do-se: migmatitos, gnaisses, granitos intrusivos e xistos.

4.9 Rochas Básicas e Ultrabásicas Alcalinas

Essas rochas são marcadamente intrusivas com caráter alcali- no e mais recentes que as unidades metamórficas e magmáticas. CA VALCANTE et al (1979) define um corpo com estas características na porção norte da folha de Monteiro Lobato como Maciço Alcalino Bā sico-Ultrabásico de Ponte Nova. No mapa geológico do Estado de São Paulo elaborado pelo IGG aparece sob a denominação de rochas básicas.

Segundo ALMEIDA (1976) essas rochas estariam provavelmente ligadas ao magmatismo que ocorreu no mesozóico por ocasião da rea tivação Wealdeniana. Datações na bibliografia indicam uma idade pa ra este evento de 86 m.a. pelo método K/Ar (CAVALCANTE et al. , 1979).

4.10 Terciário/Quaternário

Testemunhos de sedimentos aluvionares do Terciário-Quaternā rio com pequenas espessuras possuem ocorrência restrita. A sudes te da região aflora a Formação Caçapava da Bacia do Taubaté so bre rochas gnáissicas e xistosas do embasamento.

5 OCORRÊNCIAS MINERAIS

De uma maneira geral a área apresenta-se relativamente po bre em recursos minerais de grande porte. Os bens minerais não mē tállicos possuem uma maior expressão na área, tendo em vista a pro ximidade e a grande demanda imposta pelo mercado consumidor da ci

dade de São Paulo. A FIGURA 4 apresenta a localização dos principais bens minerais encontrados na região.

O cadastramento das ocorrências foi obtido a partir dos trabalhos de CAMPOS NETO et al.(1983), OLIVEIRA et al.(1983), IPT (1984) e dos trabalhos de reconhecimento de campo realizados pelo autor.

Dentre os bens minerais metálicos poderíamos destacar nas quadrículas de Monteiro Lobato e Camanducaia as ocorrências de sulfetos com pirita e subordinadamente calcopirita. Ocorrem associados principalmente aos corpos migmatíticos da área, e nestes, ao paleossoma de composição mais básica. Nos corpos graníticos podem ocorrer como agregados nos feldspatos e em pequenas fraturas.

A presença desses sulfetos segundo OLIVEIRA et al. (1983) estaria associada ao sistema de fraturas, falhas e zonas de cisalhamento na área com predominância da direção N-NE.

Duas possibilidades quanto à gênese desses sulfetos foram discutidas. A primeira é que estes minerais estariam dispersos nas rochas originais, cuja concentração teria se desenvolvido durante os processos de migmatização, com posterior remobilização nas zonas de falhamento associadas a atividade granítica. A segunda hipótese é que esses minerais tem a sua origem vinculada as intrusões graníticas, concomitantemente ao fraturamento das rochas encaixantes, ação hidrotermal e deposição dos sulfetos nas zonas de fraturamento.

No extremo NE da folha Monteiro Lobato ocorre magnetita disseminada em rochas básicas sem grande importância econômica.

Em rochas de natureza gnáissica foram registradas ocorrências de manganês, na forma de óxidos e hidróxidos associados a porções mais quartzosas (OLIVEIRA et al., 1983). Segundo os autores, essas ocorrências apresentam baixa potencialidade e se originaram pela alteração de granadas manganíferas.

A NW de Piracaia foram observadas ocorrências de gonditos na sequência do Complexo Piracaia (Complexo Amparo). Os gonditos estão associados aos gnaisses bandados e aos xistos granadíferos, na maioria das vezes, em corpos pequenos, geralmente como blocos, na forma de lentes ou lentes-camadas. Segundo CAMPOS NETO et al.(1983) os gonditos constituem pequenos corpos da ordem de decímetros a metros, dispostos como blocos, na forma de lentes, concordantes, foliados, de aspectos maciço, que geram como produto de alteração

os óxidos e hidróxidos mencionados anteriormente. A composição mineralógica é bastante simples, constituindo-se de granada (espesartita), quartzo e opacos e as análises químicas mostram teores de 16,3% MnO, 15,2% Fe₂O₃, 37% SiO₂ e 13,3% Al₂O₃.

Na região SE de Piracaia foi mencionada a presença de hematita quartzitos (CAMPOS NETO et al. 1983; IPT, 1984) constituindo uma formação ferrífera bandada à hematita quartzito, que ocorre junto com xistos com estauroлита e granada, orto-anfifolitos e cálcio-silicáticas, xistos turmaliníferos e níveis de quartzito. Esta sequência é semelhante aos litotipos pertencentes à sequência vulcano-sedimentar da Serra do Itaberaba, podendo ser considerada uma extensão da mesma. A espessura do nível principal de itabirito não ultrapassa uma dezena de metros, enquanto que os níveis secundários exibem uma espessura geralmente inferior, dispondo-se acima do nível principal.

BELJAVSKIS et al. (1984) e IPT (1982b) estudaram ocorrências de bauxita nas Serras de Itaberaba e Pedra Branca associadas às rochas metabásicas. Os corpos de bauxita na sua maior parte, principalmente na área de Nazaré Paulista, encontram-se no domínio da sequência vulcano-sedimentar da Serra de Itaberaba, associando-se a rochas anfíbolíticas. Tratam-se de depósitos residuais que evoluíram a partir da interação de fatores fisiográficos, climáticos e geoquímicos, propiciando condições para a lixiviação da sílica, dos hidróxidos de ferro e concentração do hidróxido de alumínio.

Os teores médios encontrados para o minério "in natura" são de 34,8% Al₂O₃ (total), 7,7% SiO₂ (reativa) e 28,8% Fe₂O₃ para uma reserva estimada de 5,6 milhões de toneladas. Estudos de pré- viabilidade de aproveitamento das reservas dessa região revelaram que o minério tem aplicação básica para a fabricação de alumina, e daí para a produção de refratários e abrasivos de alta qualidade.

Ocorrências de pegmatitos foram registradas a NW de Igaratã sem grande expressão econômica. É provável que do ponto de vista genético esses corpos pegmatíticos estejam associados ao metamorfismo regional (CAMPOS NETO et al., 1983).

Na região de Pedra Branca e Itaberaba foram também estudadas as mineralizações de ouro associadas a unidades de rochas vulcano-clásticas e tufáceas com níveis silicosos (JULIANI et al., 1983),

com teores recuperáveis de $0,4\text{g/m}^3$ em solo e rocha alterada.

Os bens minerais não metálicos na região são representados por ocorrências ligadas essencialmente a construção civil, ou seja, areia, argila e granitos.

Na região NE da área próxima a Monteiro Lobato temos os corpos graníticos da Serra do Roncador (Fácies Cantareira) e da Serra da Boquira (Fácies Migmatítica). Os charnockitos possuem coloração verde escura, textura granular grosseira e às vezes bastante fraturados, apresentando grande semelhança com o granito verde de Ubatuba. Os granitos e os charnockitos desta região possuem certa importância econômica como material de cantaria (CAMPOS NETO et.al., 1983). Em termos de emprego de rochas para a brita, pode-se também atribuir um destaque para os gnaisses e migmatitos que ocorrem na região.

Na folha de Piracaia e Igaratã aparecem pedreiras na sua imensa maioria exploradas como brita. Na parte norte da folha de Piracaia, foram constatadas dezenas de olarias cujo material é retirado de depósitos aluvionares que é destinado ao fabrico de tijolos e telhas.

6 CONTEXTO METALOGENÉTICO

No contexto metalogenético da área em foco podemos destacar a faixa de dobramento São Roque que representa o preenchimento vulcânico-sedimentar de uma depressão intracratônica de natureza aulacogênica ladeada por blocos elevados. Segundo numerosas investigações essa faixa teria evoluído para um geossinclíneo intracratônico do Proterozóico Superior, que foi intensamente deformado, metamorfozado em grau baixo até alto e abundantemente penetrado por granitos. Em recente estudo realizado pelo IPT (1982b) com base nos trabalhos de PORADA (1979) foram verificadas algumas similaridades entre a faixa São Roque (e Apiaí) e os sistemas tectônico Damara, na África do Sudoeste, no que tange a natureza e a evolução metalogenética (FIGURA 5). As analogias indicam algumas potencialidades em depósitos estratiformes de Pb-Zn-Ag (Cu), Fe, W e também ouro, fluorita e barita no Vale do Ribeira, além de mineralização granítica e pegmatítica.

A importância metalogênica dos granitos paulistas tem passado despercebida, embora seja elevado o número de trabalhos publi-

DISTRIBUIÇÃO DAS FAIXAS PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR - PALEOZÓICO INFERIOR DOS CICLOS PAN-AFRICANO-BRASILIANO EM AMBOS OS LADOS DO ATLÂNTICO SUL. 1-EM BASAMENTO NÃO AFETADO PELOS PROCESSOS TECTONO-TERMAIS DO PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR-PALEOZÓICO INFERIOR; 2- EMBASAMENTO TECTONICAMENTE AFETADO DURANTE O CICLO PAN-AFRICANO-BRASILIANO; 3- DEPÓSITOS GEOSINCLINAIS DA OROGÊNESE DAMARA-RIBEIRA; 4- FAIXAS DE DEPÓSITOS GEOSINCLINAIS DO CICLO PAN-AFRICANO-BRASILIANO NÃO CONSIDERADAS NESTE ARTIGO; 5- DEPÓSITOS DE PLATAFORMA CORRELACIONÁVEL AO CICLO PAN-AFRICANO-BRASILIANO; 6- CÔBERTURAS RECENTES.

FONTE: M. PORADA (1978)

Figura 5

DISTRIBUIÇÃO DE FAIXAS DE PAN-AFRICANAS E BRASILIANAS

cados abordando os aspectos petrográficos, químicos, tectônicos e geocronológicos. O estudo metalogênico requer investigações detalhadas, que geralmente desestimulam os pesquisadores, pois a maior parte dessas rochas tem se mostrado estéréis. Este fato não descarta a sua importância, na medida que numerosas jazidas metálicas encontram-se associadas a essas rochas principalmente os granitos circunscritos (RAGUIN, 1976).

Um trabalho pioneiro elaborado pelo IPT (1981a) demonstrou as possibilidades minerais oferecidas por diversos granitos paulistas. Nesse trabalho, recomenda-se a priorização dos granitos brasileiros da região sul do Estado, por se apresentarem em níveis de erosão menos profundos. Os granitos do Vale do Paraíba e regiões norte e central da faixa pré-cambriana paulista que cobrem parte da área em estudo apresentam-se mais promissores para a mineralização pegmatítica. Dentre os tipos de granitoides que se configuram como os mais interessantes para mineralizações destacam-se os tipos granulares (Fácies Itu e Graciosa).

As zonas antigas e profundas devem merecer um destaque especial no âmbito da prospecção mineral em busca sobretudo de ouro, sulfetos polimetálicos e fluorita. Esses falhamentos tem atuado como vias de acesso de magmas dos mais variados tipos, eventualmente alimentadores de vulcanismo. No Estado de São Paulo, e em particular na região em estudo, existem inúmeros granitoides associados aos grandes falhamentos (SADOWSKI, 1974). A atividade desses falhamentos pode não só ter servido de acesso ao magma granítico como, dentro e fora dos corpos originados, terem dado acesso e produto pneumatolíticos e hidrotermais mineralizantes.

Na área de Itaberaba descrita por COUTINHO et al. (1982) o ambiente é promissor para jazimentos exalativo vulcanogênicos. Segundo JULIANI et al. (1983) e trabalhos desenvolvidos pelo IPT (1982) a presença de ouro em aluviões é bastante significativa, na medida que se trata de um elemento tipicamente associado com jazidas vulcanogênicas de cobre.

CAPÍTULO IV

LEVANTAMENTO GEOQUÍMICO

1 INTRODUÇÃO

Em 1982 o Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais - PRÓ-MINÉRIO, vinculado à Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia - SICCT deu início à geração de um vasto conjunto de informações regionais, envolvendo o mapeamento geológico e levantamento geoquímico regionais de sedimento de corrente em folhas na escala 1:50 000 (15' x 15') circunscritas às áreas cristalinas do território paulista.

Dentro desse contexto, foi criado o Programa Geoquímica Regional visando subsidiar e incrementar o conhecimento do subsolo paulista, e gerando informações que possibilitem a descoberta de novos indícios de jazidas subaflorantes e criação de um inventário geoquímico regional (PRÓ-MINÉRIO, 1985). Essa sistematização das informações constitui uma grande contribuição do Programa, na medida que possibilita o emprego dos dados em trabalhos como o que ora apresentamos, bem como abre uma perspectiva de aplicação em áreas distintas do setor mineral, tais como: saúde pública, controle ambiental, agricultura e outras.

Em programas geoquímicos multi-elementos desta natureza, os recursos da informática (computadores, terminais gráficos, etc) e as técnicas estatísticas constituem os instrumentos imprescindíveis para atingir os objetivos mencionados anteriormente. Paralelamente, a materialização de um programa deste porte implica na harmonização de um grande número de etapas, bem como a participação de diferentes protagonistas, na qual o trabalho em equipe constitui sempre um objetivo permanente, visando uma otimização dos resultados e dos custos envolvidos.

As estatísticas do Programa Geoquímica Regional fornecem uma idéia do atual estágio do programa onde foram concluídas o tratamento de 22 folhas topográficas, abrangendo cerca de 10 200 amostras ou ainda 306 000 determinações, perfazendo 10 000 km² e envolvendo no programa as seguintes entidades: o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, o Instituto de Geociências da USP, o Instituto de

Geociências e Ciências Exatas - UNESP e diversas empresas privadas.

O Programa Geoquímica Regional do PRÓ-MINÉRIO constitui em termos de escala e sistemática, uma iniciativa pioneira no Brasil, na medida que possibilitou imprimir uma nova dinâmica aos trabalhos de exploração mineral, através da utilização sistemática da geoquímica como uma de suas ferramentas básicas.

Esse programa também representou um aumento da capacitação tecnológica nacional, através da criação de uma metodologia adaptada às necessidades do tratamento e interpretação de um amplo volume de dados geoquímicos. A incorporação de informações multi-elementos abre a perspectiva de uma nova abordagem no campo da prospecção geoquímica, principalmente no tocante à definição da anomalia geoquímica, não mais restrita a único teor, mas decorrente do ambiente geoquímico.

2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES GEOQUÍMICAS

As informações do Programa Geoquímica Regional utilizados neste trabalho compreendem o mapeamento geológico e os resultados geoquímicos das folhas topográficas de: Monteiro Lobato, Camanducaia, Igaratã, Piracaia e Itaquaquecetuba. As duas primeiras folhas ficaram sob a responsabilidade do IGCE da UNESP (OLIVEIRA et al., 1983), as folhas de Piracaia e Monteiro Lobato ficaram a cargo do IGUSP (CAMPOS NETO et al., 1983) enquanto que na folha de Itaquaquecetuba somente foram recolhidas as amostras geoquímicas na porção pré-cambriana pelas equipes do Agrupamento de Recursos Minerais da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do IPT. Este conjunto totaliza 1900 (sendo 86 replicatas e 164 duplicatas) amostras abrangendo 57000 determinações geoquímicas por espectrografia óptica de emissão. A FIGURA 6 apresenta o mapa de localização das estações de amostragem.

O planejamento da amostragem foi executado pelos técnicos do PRÓ-MINÉRIO/IPT, com base nas folhas topográficas 1:50 000, de 15' x 15', e obedecendo uma densidade média de uma amostra (estação) por quilômetro quadrado, com uma coleta em replicata a cada 20 amostras de rotina. A maioria das amostras foi composta de material proveniente de duas ou mais coletas no local da drenagem em pontos próximos. O material foi coletado com predomínio da fração siltica do sedimento ativo de corrente e colocado em sacos plásticos.

As amostras foram analisadas por espectrografia óptica de e

FIGURA 6 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM

missão nos Laboratórios da GEOSOL - Geologia e Sondagens Ltda. para 30 elementos químicos (Fe, Ca, Mg, Ti, Mn, Ag, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, La, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, V, W, Y, Zn e Zr). Os elementos Fe, Ca, Mg e Ti tiveram seus resultados em porcentagem; os demais em partes por milhão (ppm). Os limites máximos e mínimos de detecção para os elementos químicos são apresentados na TABELA 4. Os elementos Ag, Be, Bi, Cd, Li, Sb, Sr, W e Zn foram eliminados dos cálculos de avaliação por não acusarem concentrações acima do limite de detecção. DUTRA (1984) faz uma abordagem detalhada sobre essa técnica analítica instrumental.

Na preparação das amostras foi obedecido um padrão que consistia em secagem das mesmas em estufas a 100°C e peneiramento cortes a 10 e 80 mesh. A fração maior que 10 mesh foi descartada e a 10-80 mesh arquivado. A fração menor que 80 mesh foi utilizada para ensaios analíticos após a sua pulverização a 200 mesh e quarteramento para controle de amostras em duplicatas. As contra-partes de todas as frações foram arquivadas no PRÓ-MINÉRIO para eventuais utilizações e controle de amostras.

Em algumas áreas específicas, visando a confirmação de alvos, foi selecionado um pequeno número de amostras (20) com anomalias múltiplas para reanálises (ver item 2.7, cap.VII). Essa nova amostragem além de sedimentos de corrente, abrangeu rocha, solo e concentrados de bateia, os quais não foram incorporados ao tratamento estatístico inicial.

A metodologia analítica nessa amostragem foi direcionada a uma extração seletiva dos elementos químicos envolvidos, em função do tipo de amostra analisada. Assim foram agrupados os elementos com características geoquímicas semelhantes, segundo o roteiro metodológico de análise proposto pelo IPT (1984), conforme mostra a TABELA 5.

3 CODIFICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Com vistas à sistematização da coleta das informações, para facilitar o processo de digitação e consistência das mesmas, o IPT elaborou formulários para os dados de campo e resultados analíticos. Nesse primeiro grupo foram descritos os dados observados durante a

TABELA 4 - LIMITES DE DETECÇÃO INFERIOR E SUPERIOR DOS ELEMENTOS DEFINIDOS PELO MÉTODO DE ESPECTROGRAFIA ÓPTICA DE EMISSÃO.

ELEMENTO	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
Fe*	10	0,05
Ca*	10	0,05
Mg*	10	0,02
Ti*	5	0,002
Mn	5000	10
Ag	5000	0,5
B	5000	10
Ba	5000	15
Be	5000	1
Bi	5000	100
Cd	5000	20
Co	5000	2
Cr	5000	5
Cu	5000	3
Ga	5000	5
La	5000	20
Li	5000	50
Mo	5000	3
Nb	5000	10
Ni	5000	5
Pb	5000	10
Sb	5000	100
Sc	5000	5
Sn	5000	5
Sr	5000	5
V	5000	5
W	5000	100
Y	5000	5
Zn	5000	200
Zr	5000	10

OBS. (*): valores em porcentagem (%), os demais em ppm.

TABELA 5 - METODOLOGIA ANALÍTICA UTILIZADA PELO IPT (1984)
 REAMOSTRAGEM PARA SELEÇÃO DOS ALVOS GEOQUÍMICOS.

NA

ANÁLISE TIPO	MÉTODO	AMOSTRA TIPO	ELEMENTOS
1	EDTA - AA	Sedimento Corrente <80 #	Cu,Pb,Zn,Mi,Co
2	HCL - AA	Sedimento Corrente	Fe,Mn
3	Água Régia-AA	Sedimento Corrente	Ca,Mg,Ag,Bi,Cd,Mo
4	Especial	Sedimento Corrente	V
5	Colorimetria	Sedimento Corrente	W,Sn,P
6	Especial AA	Sedimento Corrente	As
7	Colorimetria	Sedimento Corrente	As
8	Ion Seletivo	Sedimento Corrente	F
9	Espec.Ótica	Sedimento Corrente	B,Be,Ba,Sr,Ga,Sc,Zr,La
10	HBr/Br ₂ .(10g)	Sedimento Corrente	Au (35-80#)(80#)
11	Especiais	Sedimento Corrente	
12	Fluorescência de Raio X	Concentrado de Bateia	Nb,Ta,W,Sn,Ti,Zr,La,Cr, P
13	Especiais	Concentrado de Bateia	La,Y. Terras Raras.F
14	Água Régia-AA	Concentrado de Bateia	Au (Não magnético- "in totum")
15	Água Régia-AA	Solo B (<80#)	Cu,Pb,Zn,Ni,Co,Fe,Mn, Ag,Mo.

amostragem de campo; tais como: regime de águas, pH, presença de fontes poluidoras, drenagem, ocupação do solo, pluviosidade, granulometria, coordenadas cartesianas e outras informações eventualmente necessárias. Os Índices de pluviosidade média foram obtidos a partir dos dados coletados pelo DAEE (1972) entre os anos de 1941 a 1971, expressos em milímetros. As coordenadas cartesianas foram obtidas através da estação gráfica Intergraph para cada amostra geoquímica.

No presente trabalho, as bases geológicas foram integradas a partir das informações dos mapeamentos executados e enriquecidos, através de mapas de maior escala advindos de projetos do IPT ou PRÓ-MINÉRIO. As unidades foram padronizadas em escala regional e as litologias codificadas em cada ponto amostrado. As codificações das unidades litológicas foi composta através de quatro dígitos, dispostos da seguinte maneira:

- os dois primeiros dígitos reservados à litologia propriamente dita em escala regional;
- o terceiro dígito reservado às idades, subdivididas em seis classes, a saber: Arqueano, Proterozóico Inferior Médio e Superior, Eo-Paleozóico e Mesozóico;
- o último dígito foi reservado para o grupo ou formação geológica predominante à qual pertence a respectiva litologia.

A relação dos códigos litológicos dos pontos de amostragem geoquímica e as respectivas unidades geológicas e litológicas presentes na área estudada encontra-se na TABELA 6, bem como os principais bens minerais e o número de amostras geoquímicas em cada grupo. A título de exemplo, podemos dizer que o código GNIA tem a seguinte correspondência: gnaisses (GN) do Proterozóico Inferior (I) do Complexo Amparo (A). Deste modo, simplificada, com apenas quatro dígitos podemos armazenar os dados sobre litologia, idade e formação, que serão necessários doravante para a manipulação e tratamento das informações geoquímicas e geológicas.

Em determinadas etapas do trabalho, os dados foram agrupadas por litologia, utilizando-se somente os dois primeiros dígitos, exemplificando: GN (Gnaisses), MG (Migmatitos), XS (Xistos), etc.

TABELA 6 - RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO LITOLÓGICO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA E AS RESPECTIVAS UNIDADES GEOLÓGICAS E LITOLÓGICAS.

CÓDIGOS LITOLÓGICOS	Nº DE PONTOS	IDADE	UNIDADES GEOLÓGICAS E LITOLÓGICAS CORRESP.		ASPECTOS LITOLÓGICOS	BENS MINERAIS	
QQ	10	Terciário - Quaternário	Sedimentos		Areia, siltes, cascalhos, argilas, sedimentos de granulometria variada em depósitos colúviais.	areias, cascalhos argilas	
GR	1	Cretáceo	Rochas básicas e ultrabásicas - Maciço Alcalino de Ponte Nova.		Corpo de contorno arredondado, composto por biotita-olivina gabro, espinélio, olivina gabro, olivina piroxênio e peridotito.		
	378	Proterozóico Superior	Suítes Graníticas	Granitos Porfiríticos	Caráter porfirítico grosseiro. Engloba xenólitos e enclaves de migmatito, biotita, gnaíse, charnockito, granulito básico, diorito e granito equigranular cinza. Em alguns pontos injeções de material pegmatítico, cortam o corpo do granito.	Charnockitos (2) Sulfetos (3) Pegmatitos (5) Granitos (7) Brita (11)	
	Granitos e quil a fine-granulares cinza			Composição variável entre granito e granodiorito. Características: composto por duas micas-biotita e muscovita.			
	58						
FISR	93	Proterozóico Superior	Grupo São Roque	Metassilitos e filitos	Intercalações de vulcânicas ultramáficas, máficas e tufos básicos.	Ferro (1) Manganês (1)	
MBSR	298			Xistos	Metapelitos e metapsamitos pelíticos. São representados por muscovita-xisto, biotita-muscovita-xisto, clorita-xisto. Em ocorrências restritas encontram-se xistos básicos e ultrabásicos.	Ferro (6) Manganês (7) Ouro (6) Bauxita (14) Pirita (1) Piroclita (2) Calcopirita (1) Quartzito (3) Pegmatito (1)	
		Proterozóico Inferior	Complexo Amparo e/ou Complexo Piracema Paraíba do Sul, Santa Isabel	Quartzitos e Anfibolitos	Ocorrem em quantidades subordinadas aos xistos e filitos e são principalmente muscovita-quartzito, quartzito arcoseano e muscovita-turmalina-quartzito. Anfibolitos quartzosos, hornblenda e andesina/labradorita.		
GNIP	297			Complexo Embu e/ou Igaratã	Gnaíse	Hornblenda e/ou biotita gnaíse bandados homogêneos, às vezes porfiróides, composição granítica a tonalítica, granulação média a grossa, cor cinza. Presença de feições blastomiloníticas.	
MDIP	13			Quartzo-Monzonítica de Piracema	Monzonitos e Granodioritos	Rochas intermediárias a ácidas variando de monzonitos a granodioritos.	
					Biotita gnaíse, hornblenda gnaíse e sillimanita hornblenda gnaíse	Biotita-gnaíses protomiloníticos, protomilonito-gnaíse. Granada-labradorita-hornblenda, gnaíses bandados, hornblenda gnaíses gonditos e quartzitos migmatizados. Biotita gnaíses graníticos, protomilonito gnaíse granítico migmatizado.	Manganês (1)
XSIP	86	Proterozóico Inferior	Complexo Amparo e/ou Complexo Piracema Paraíba do Sul, Santa Isabel	Xistos	Biotita-quartzo-muscovita-xisto, com intercalações de quartzitos arcoseanos, calcossilicática, granada-clinozoita-hornblenda gnaíse. Granada-mica-quartzito xisto, subordinadamente quartzitos milonitizados. Intercalam-se localmente quartzito anfibolitos, meta-hornblenda gabro e piroxênio-anfibolito-gnaíses migmatizados.	Manganês (2)	
GNIA	137			Complexo Amparo	Granada-biotita-gnaíse	Alto teor em biotita, alguns alumínio silicatos. Composição variável entre granodiorítica e tonalítica.	Sulfetos (2) Ouro (1) Manganês (2) Pegmatitos (3) Granito (1)
					Sillimanita-granada-gnaíse	Rochas máficas com bandeamento incipiente. Representam gnaíses tipicamente aluminosos.	
					Rochas calcossilicáticas e quartzitos	Ocorrem subordinadamente na sequência dos gnaíses. Os quartzitos têm espessura métrica, podendo ou não conter granadas. As rochas calcossilicáticas são de coloração cinza-escuro e granulação muito fina.	
		Proterozóico Inferior	Complexo Amparo	Anfibolitos e granulitos básicos	São intercalações em forma de lente, bandas ou "boundins" nas demais litologias. Os anfibolitos apresentam estrutura macia e granulação fina a média.		
MGIA	240			Rochas migmatíticas	Migmatitos de estruturas diversas	O paleossoma é constituído de gnaíses de alto grau. As estruturas presentes são, predominantemente, schoellen, nebulítica e estromatítica.	Sulfetos (9) Manganês (1) Granitos (2) Areia (1)
		Migmatitos de injeção	Migmatitos estromatíticos com feições blastomiloníticas. O paleossoma é representado por biotita gnaíse de composição granodiorítica com ocorrências locais de anfibolito.				
HGAJ	59	Arqueano	Complexo Juiz de Fora	Charnockito	Frequentemente com hornblenda e biotita, grão grosso	Sulfetos (1) Charnockito (1) Granito (1)	

CAPÍTULO V

CONTROLE DE AMOSTRAGEM E PRECISÃO ANALÍTICA

1 INTRODUÇÃO

Uma das etapas mais importante no processo de interpretação dos resultados numa campanha de prospecção geoquímica consiste na comparação da composição química das amostras obtidas em diferentes locais, bem como a avaliação sobre o significado destas variações em relação aos teores observados. Em prospecção geoquímica, os teores apresentam sempre uma componente de incerteza, associando-se quase sempre a uma característica aleatória, fruto das operações de amostragem, preparação e análise laboratorial.

Em função das características operacionais em prospecção geoquímica, existe na maioria dos casos um erro associado aos resultados analíticos. Esse erro algumas vezes é maior do que o tolerável para uma aplicação descuidada uma vez que qualquer outra fonte de variação não detectada e isolada, pode tornar o produto final inútil para a continuidade da pesquisa mineral, seja na produção de falsas anomalias, como mascarando importantes feições anômalas. Neste sentido, a medida e o controle de qualidade dos resultados é extremamente importante numa prospecção geoquímica.

Nas campanhas geoquímicas, utiliza-se geralmente de alguns mecanismos de controle para avaliar a amostragem e a precisão analítica através da coleta de amostras em replicatas e introdução de duplicatas de controle nos lotes analisados. Este dispositivo foi adotado no Programa Geoquímica Regional (SUSLICK, 1983) cuja metodologia será abordada mais adiante.

A comparação dos teores a partir de amostras em replicata possibilita uma avaliação aproximada do erro introduzido pelas operações de amostragem, preparação e análise. O método permite, em alguns casos, avaliar também a heterogeneidade ou a variabilidade geoquímica do local amostrado. As duplicatas possibilitam avaliar o erro cometido na preparação final e na análise do material.

Um dos maiores desafios na exploração geoquímica é a definição de um plano de amostragem que atende os parâmetros acima men

cionados e os seguintes requisitos:

a) compatibilidade com a escala das feições que estão sendo estudadas (área-alvo);

b) compatibilidade com a dimensão das áreas de bacias de captação;

c) adaptabilidade do plano de amostragem à escala e a complexidade da geologia regional;

d) disponibilidade de uma boa cartografia e fotos aéreas em escala adequadas;

e) existência de uma malha viária de acesso adequada aos pontos de amostragem;

f) viabilidade econômica do plano de amostragem em relação ao custo de transporte do pessoal técnico aos locais de amostragem.

Esses fatores já foram exaustivamente discutidos em diversos trabalhos por GARRETT & NICHOL (1967), ARMOUR-BROWN & NICHOL (1970), PLANT et al. (1971), BOLVIKEN & SINDING-LARSEN (1973), GARRETT (1973) e HOWARTH & LOWENSTEIN (1971). Segundo os autores mencionados, os programas de amostragem podem ser sintetizados em dois objetivos: um primeiro objetivo seria uma amostragem geoquímica dirigida para a busca de alvos com um vínculo direto com os depósitos minerais. Um segundo objetivo envolveria o reconhecimento espacial e estatístico da variabilidade geoquímica de uma determinada área. Embora esses objetivos numa primeira abordagem possam ser discrepantes, as suas soluções envolvem elementos comuns que podem ser tratados de modo unitário.

A atividade de amostragem pode ser também visualizada como um exercício de coleta de dados, na qual as hipóteses ou inferências possam ser testadas pelo geoquímico (GARRETT, 1973). Nesse tipo de definição, o primeiro objetivo acima mencionado, no caso específico da busca de alvos, a amostragem teria uma hipótese que seria a presença de anomalias na área amostrada. No segundo objetivo, concernente ao estudo da variabilidade, a hipótese poderia ser definida como se a presença de variação regional seria significativa e sistemática.

MIESCH (1967) abordou detalhadamente as principais fontes de erro ou variações que intervêm no processo da amostragem geoquímica.

ca, que nas condições de uma campanha de sedimentos de corrente podem ser sintetizadas em:

a) variação global (Overall Bias) — esse tipo de variação pode ser provocado pela ausência de exposição de afloramentos, características da superfície de drenagem sob litologias específicas (p.ex. calcários), manto espesso de cobertura e erros oriundos nos critérios adotados na amostragem.

b) Viés variável: (Variable Bias) — nesse tipo de erro as principais fontes são os critérios de amostragem utilizados na seleção dos sedimentos por diferentes indivíduos (p.ex. dimensão do material, composição, contaminação, etc.); diferenças nas características da drenagem de uma localidade para outra; variação nas dimensões da bacia de captação e nas drenagens provocando uma variação nas proporções dos tipos litológicos.

c) Precisão variável: (Variable Precision) — essa fonte de erro é oriunda da falta de homogeneidade da composição do sedimento numa drenagem e a variabilidade dos teores dos elementos traços.

É importante ressaltar que MIESCH (1967) neste trabalho operava numa escala bastante ampla, pois estava mais preocupado em caracterizar o "clark" dos materiais. Em termos operacionais, numa campanha de prospecção a maioria dessas fontes de variação no processo de amostragem são inevitáveis e a determinação das magnitudes de cada fonte individualmente, torna-se bastante difícil. Podemos considerar essas fontes de "erros" que foram individualizadas pelo autor, como características inerentes de uma província geoquímica. Em suma, um plano de amostragem adequado e fundamentado numa avaliação da geologia e das condições do meio físico da região pode contribuir enormemente para uma redução substancial dessas fontes de variações.

A estimativa da reprodutibilidade analítica constitui conjuntamente com a amostragem uma das etapas mais importante do processo de interpretação dos dados geoquímicos. Existe atualmente na literatura especializada um conjunto muito grande de testes voltados para a análise da precisão de resultados analíticos, onde o conceito de precisão e limites de detecção varia de laboratório para laboratório.

Os métodos usualmente empregados para a estimativa da precisão analítica como, por exemplo, a análise de variância se defrontam com a dificuldade de planos de amostragem inadequados que impossibilitam separar as variações laboratoriais daquelas oriundas da amostragem, que podem mascarar as variações geoquímicas que constituem o real interesse da prospecção mineral. A título ilustrativo, podemos apontar alguns aspectos que dificultam o controle da precisão:

a) os materiais utilizados nos procedimentos de estimação não são representativos das amostras geoquímicas.

b) Os métodos não levam em consideração mudanças na reprodutibilidade relativa ou absoluta em função da faixa de concentração dos teores, mas utilizam os valores médios nessa faixa.

c) Algumas práticas de registro de dados comum entre alguns laboratórios produzem variações na estimativa da variância.

d) E conforme salientamos anteriormente as diversidades de conceito da precisão e o limite de detecção, bem como o uso acrítico de estatísticas, dificultam, em alguns casos, a compreensão dos parâmetros.

Diversos pesquisadores apresentaram métodos nos quais as análises duplicadas são utilizadas na avaliação da reprodutividade dos resultados analíticos (GARRETT, 1969; GARRETT, 1973; MICHIE, 1973; THOMPSON & HOWARTH, 1973; HOWARTH & LOWENSTEIN, 1971). Nos últimos tempos THOMPSON & HOWARTH (1978) desenvolveram o conceito de sistema analítico no qual a precisão é definida através do desvio-padrão em função da concentração que supera algumas das restrições assinaladas anteriormente.

2 OBJETIVO E MÉTODO UTILIZADO

No Programa Geoquímica Regional foi concebido um dispositivo de controle para avaliar os erros totais ou heterogeneidade geoquímica da área estudada através de amostras em replicata, e a introdução de amostras em duplicatas para monitorar as variações oriundas da preparação final e análise do material.

As amostras em replicata correspondem a duas coletas sobre um certo número de estações de amostragem. Nesse tipo de controle estabeleceu-se nas folhas topográficas a coleta de uma amostra em re

plicata em cada 20 pontos. As amostras em duplicatas foram obtidas a partir das contra-partes das frações menores que oitenta (80) mesh, segundo uma densidade aproximada de dez por cento (%) em cada folha topográfica do lote amostrado.

A TABELA 7 apresenta os números de amostras em replicata e duplicata, que totalizam respectivamente 86 e 164 amostras para as cinco folhas topográficas que compõem o acervo de dados neste capítulo do trabalho. É importante notar que as duplicatas e replicatas compõem jogos totalmente independentes entre si. As amostras em replicatas e duplicatas foram analisadas segundo as folhas topográficas e globalmente, para permitir uma avaliação detalhada das fontes de erro e sua delimitação nas quadrículas. Esses procedimentos foram adotados para os 21 elementos químicos, a saber: Fe, Ca, Mg, Ti, Mn, B, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Y e Zr.

TABELA 7 - NÚMERO DE AMOSTRAS EM REPLICATAS E DUPLICATAS.

FOLHA	Nº DE REPLICATAS	Nº DE DUPLICATAS
Itaquaquecetuba	15	30
Piracaia	22	38
Igaratã	17	22
Camanducaia	14	46
Monteiro Lobato	18	28
TOTAL	86	164

2.1 Tratamento Estatístico das Amostras em Replicata

As amostras em replicatas foram submetidas aos seguintes procedimentos:

a) Cálculo dos parâmetros descritivos das amostras de rotina (X_o) e replicatas (X_r), valor das médias dos pares $(X_o + X_r)/2$ e a diferença em termos absolutos dos pares $|X_o - X_r|$.

b) Análise de Regressão Linear de X_o vs X_r — Nesses procedimentos foram utilizados os seguintes cálculos e critérios para a comparação das amostras de rotina (X_o) e replicata (X_r).

b.1) Coeficiente de correlação linear (R) entre as amostras de rotina e replicata:

$$R = \frac{\sum X_o X_r - n \bar{X}_o \bar{X}_r}{\sqrt{(\sum X_o^2 - n \bar{X}_o^2)(\sum X_r^2 - n \bar{X}_r^2)}} \quad (5.1)$$

b.2) Coeficiente de variação (CV), ou seja, a relação entre o desvio residual e a média das rotinas multiplicado por 100:

$$CV(\%) = S_R / \bar{X}_o \times 100 \quad (5.2)$$

onde: $S_R = \sqrt{Q.M.Res.}$

é uma estimativa não tendenciosa da raiz quadrada da variância do erro ou variância residual (σ^2), se a distribuição é normal e n° de amostras é grande.

$$Q.M.Res. = (\sum X_o^2 - b \sum X_r X_o) / (n-2)$$

n = número de pares

$\bar{X}_o$ = média das rotinas

b.3) Coeficiente de determinação corrigido — relação entre a variância residual e a variância total multiplicada por 100:

$$CD = 1 - \bar{R}^2 = \frac{S_R^2}{S_t^2} \quad (5.3)$$

onde: $\bar{R}^2$ = coeficiente de determinação corrigido

S_R^2 = variância residual

S_t^2 = variância total

$$S_t^2 = \sum X_o^2 - \frac{(\sum X_o)^2}{n}$$

CD = complementar do coeficiente de determinação corrigido

c) Gráficos de Dispersão das amostras de Rotina (X_o) e Replicata (X_r).

d) Medida da dispersão relativa (DR) cuja expressão para cada par de amostras de rotina e replicata é a seguinte:

$$DR(\%) = |X_o - X_r| / (X_o + X_r) / 2 \times 100 \quad (5.4)$$

$$\overline{DR}(\%) = \frac{\sum DR}{n}$$

onde:

n = número de pares na folha em pauta

X_0 = rotinas

X_r = replicatas

2.2 Tratamento Estatístico das Amostras em Duplicata

Para a investigação dos dados das amostras duplicadas foram utilizados os seguintes procedimentos:

A) Análise de Variância (ANOVA) a um fator fixo — Uma das maneiras de estimar a precisão é através da análise de variância. O objetivo dessa análise é verificar se as variações dentro de cada par são suficientes para mascarar as variações geoquímicas das amostras (QUINTANILHA & SUSLICK, 1982).

A tabela de análise de variância é construída da forma descrita a seguir:

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	EQM	F
Entre amostras	$N-1$	$\sum_{i=1}^N (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$SQE/(N-1)$	$\sigma^2 + 2\sigma_E^2$	$\frac{QME}{QMD}$
Dentro dos pares	N	$\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$	SQD/N	$\sigma_D^2 = \sigma^2$	
TOTAL	$2N-1$	$\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X})^2$			

onde:

N = número total de amostras

X_{i1} = valor da amostra de rotina

X_{i2} = valor da amostra duplicata

$\bar{X}$ = média geral

X_{ij} = teor observado no elemento j do par da amostra i

$\bar{X}_i$ = média do par na amostra i

σ^2 = variância total

σ_E^2 = variância entre amostras

σ_D^2 = variância dentro dos pares

B) Precisão dos Logs — PL (%)

Uma vez que a suposição de distribuição lognormal dos teores possa ser considerada, a precisão das análises pode ser expressa segundo o método proposto por GARRETT (1969) da seguinte forma:

$$\text{Precisão dos Logs PL(\%)} = \frac{1,98 \sqrt{s_D^2}}{\bar{X}} \times 100 \quad (5.6)$$

onde:

s_D^2 = variância dentro dos pares (ou residual)

$\bar{X}$ = média das duplicatas

1,98 = valor crítico da tabela t-Student para N-1 graus de liberdade ao nível 95%

É importante enfatizar que os cálculos entre as diferenças dos pares de rotina e duplicata são feitos com base nos logaritmos das medidas.

C) Análise do Viés

Este tipo de análise consiste na aplicação de um teste, observando-se o número de vezes em que o valor da amostra de rotina, num determinado elemento químico, superou a duplicata, sendo os empates equitativamente distribuídos, o que torna o teste bilateral. Este teste supõe que, dentro de cada par, os fatores externos atuam de maneira igual em cada elemento.

A hipótese testada é:

$$p(\text{rotina} > \text{duplicata}) = p(\text{rotina} < \text{duplicata}) = 1/2 \quad \text{ou}$$

H_0 = a diferença mediana entre os pares de cada amostra num dado elemento químico é zero.

Nesse teste, a probabilidade associada à ocorrência de um determinado número de amostras de rotina com valores maiores que a duplicata e vice-versa, pode ser obtida através da distribuição binomial, $B(n; p, q)$, onde: n = número de amostras e $p = q = 1/2$. No caso específico dos lotes das cinco folhas utilizadas como o menor número de pares encontrado em uma folha foi de $n = 22$, optou-se pela aproximação normal da distribuição binomial: $N(\mu, \sigma)$; onde: $\mu = np$ e $\sigma = npq$, sendo para isso, calculados os valores padronizados para cada elemento químico em cada folha, através da estatística:

$$Z = \frac{x - \frac{n}{2}}{\sqrt{\frac{n}{2}}}, \text{ onde:}$$

x = número de diferenças positivas entre a rotina e a duplicata;

n = número de pares de amostras.

O nível de significância adotado foi de 5% e o valor da estatística Z foi de 1,96 para o teste bicaudal, obtida através de tabela extraída de SIEGEL (1977, p: 278).

A TABELA 14 resume os resultados observados, sendo que a notação utilizada é: "<" (menor) indica que a porcentagem de medidas de rotina maiores que a duplicata é menor do que 50% e o valor de Z é significativo; ">" (maior) indica que a porcentagem de medidas de rotina maiores que a duplicata é maior do que 50% e o valor de Z é significativo; "-" o valor de Z não é significativo.

D) Cálculo da Precisão em função da Concentração

A idéia básica contida nessa análise é que a precisão de um sistema analítico varia com a amplitude dos resultados, o que pode ser avaliado pelo comportamento do desvio-padrão (σ_c) como função da concentração (C), através da forma linear:

$$\sigma_c = \sigma_0 + K_1 * C \quad (5.7)$$

onde:

σ_0 = desvio-padrão à concentração zero

C = concentração

K_1 = constante do sistema

Neste método, introduzido por THOMPSON & HOWARTH (1978), o cálculo da precisão resume-se na estimação dos coeficientes σ_0 e K_1 através da regressão da variável dependente $|X - Y|$ (diferença absoluta entre as amostras duplicadas) em função da variável independente, a média dos pares de amostras ($\frac{X + Y}{2}$).

O roteiro básico para os cálculos podem ser resumidos nas seguintes etapas, segundo THOMPSON & HOWARTH (1978) e QUINTANILHA & SUSLICK (1982):

ETAPA 1 - A partir dos pares de resultados X_i , Y_i ($i = 1, 2, \dots, N$) das rotinas e duplicatas, compor uma lista de pares de medidas $(X_i + Y_i)/2$ e as respectivas diferenças absolutas $|X_i - Y_i|$.

ETAPA 2 - Colocar em ordem crescente as médias e as respectivas diferenças absolutas.

ETAPA 3 - Selecionar entre os grupos de três a onze resultados, calculando a média dos valores $(X_i + Y_i)/2$ e a mediana das diferenças de cada grupo. A mediana é utilizada ao invés da média, porque não é muito influenciada pelos valores extremos. No caso do lote das cinco folhas, adotou-se o cálculo acima para cada 3 valores.

ETAPA 4 - Repetir a etapa 3 para os sucessivos grupos de 3 a 11 valores.

ETAPA 5 - Colocar num gráfico as medianas em função das médias e obtendo o intercepto e a inclinação da linha através da regressão linear. Esses parâmetros correspondem a σ_0 e K_1 . Para se ter estimativas não viesadas, os parâmetros obtidos são multiplicados por um fator de correção(*) cujo valor é 1,048, que se resume num fator derivado das propriedades da distribuição da metade da normal, segundo THOMPSON & HOWARTH (op.cit.).

Em relação aos parâmetros obtidos pela regressão é importante uma avaliação se σ_0 e K_1 são significativamente maiores que zero, feito através de testes estatísticos usuais da regressão. Tais testes, se convenientemente interpretados, podem fornecer importantes informações acerca das circunstâncias que envolveram o experimento, tais como: desvios da normalidade; relação não-linear entre a concentração e o desvio-padrão, erros sistemáticos entre os pares de duplicatas; mistura de sistemas analíticos, calibração do aparelho, etc.

Os resultados desse método para cada elemento químico em cada uma das folhas com duplicatas, podem ser sintetizados da seguinte forma:

A - Sem variação com a concentração, ou seja, os testes dos

* Fator de correção: $\frac{1}{\text{distrib.normal}_{50} \times \sqrt{n}} = \frac{1}{0,6745 \times \sqrt{2}} = 1,048$

parâmetros de regressão obtidos indicam que o coeficiente e o intercepto são nulos.

B – Existe uma variação com a concentração, ou seja, intercepto nulo e coeficiente significativamente diferente de zero (o que pode indicar problemas de calibração no aparelho).

C – Existe uma variação com a concentração mais uma variação sistemática, ou seja, intercepto e coeficiente significativamente diferentes de zero (o que pode significar que existem problemas de calibração no aparelho e correções devido às variações de filme ou chapa).

D – Existe apenas variação sistemática, ou seja, coeficiente é nulo e o intercepto é significativamente diferente de zero, pressupondo a ausência de correções devido às variações de filme, por exemplo.

E – CONTROLE GRÁFICO

Para facilitar a visualização dos resultados, HOWARTH & THOMPSON (1978) propuseram um controle gráfico onde são especificados, a priori, as precisões. Para tanto, adota-se o seguinte procedimento:

ETAPA 1 – Especificar a precisão segundo a expressão (5.7).
No caso do modelo no Programa Geoquímica Regional, estabeleceu-se uma precisão de 10% e 20%, e fixou-se $\sigma_0 = 0$, supondo-se que o desvio (erro) na concentração zero é nulo, ou seja, o viés analítico é nulo.

ETAPA 2 – Supor a distribuição normal dos erros e utilizar os percentis 90 e 99, através das seguintes equações:

$$d_{90} = 2,326(\sigma_0 + K_1C)$$

$$d_{99} = 3,643 (\sigma_0 + K_1C)$$

Para a precisão de 10% e 20% as equações acima assumem os seguintes valores:

$$d_{90} = 2,326 (0,05c)$$

$$d_{99} = 3,643 (0,05c)$$

$$Pc = 10\%$$

$$d_{90} = 2,326 (0,10c)$$

$$d_{99} = 3,643 (0,10c)$$

$$Pc = 20\%$$

ETAPA 3 - Traçar num gráfico os valores de d_{90} e d_{99} , em função da concentração de cada elemento químico.

ETAPA 4 - De maneira análoga, ao item anterior, dispor de um par de médias $(\bar{X}_i + \bar{Y}_i)/2$ e suas respectivas diferenças absolutas $(\bar{X}_i - \bar{Y}_i)$ dos resultados e colocar no gráfico.

ETAPA 5 - Executar a contagem dos pontos que se situam acima do limite permissível das retas d_{90} e d_{99} .

F) - Medida da Dispersão Relativa (DR) - Este parâmetro é análogo ao utilizado para as replicatas (eq. 5.4).

2.3 Programas Computacionais

A execução dos procedimentos para avaliação das replicatas foi feita através de algoritmos específicos, que compõem a biblioteca de programas computacionais para tratamento de dados geoquímicos desenvolvido por SUSLICK & QUINTANILHA (1982):

Para os dados em duplicata utilizou-se o programa computacional LAB01, desenvolvido em linguagem FORTRAN IV pelo Agrupamento de Recursos Minerais (QUINTANILHA & SUSLICK, 1982) da DMGA-IPT. Este programa foi originalmente implantado no sistema Cyber-175 e posteriormente adaptado ao sistema IBM 4341, através de terminais interativos instalados no Agrupamento de Geotécnica da DEC do referido Instituto.

A base do programa foram as rotinas desenvolvidas por THOMPSON & HOWARTH (1978) sob o nome de DUPAN3, as quais foram adaptadas aos sistemas citados bem como foi implementada a rotina ANOVA, a qual constrói os testes de análise de variância a um fator fixo (item A) e outros testes para ajuste do modelo de regressão (item D). Um fluxograma simplificado é mostrado a seguir:

Os gráficos de dispersão entre as amostras de rotina e replicata, e o controle gráfico das amostras duplicadas foram feitos por rotinas gráficas específicas através do traçador gráfico de mesa BAUSCH & LOMB, disponível na Divisão de Engenharia Civil - IPT -co_nnectado com o Sistema IBM 4341 da Intertec Serviços Ltda. A conta_gem dos pontos que se situam além dos limites permissíveis foi exe_cutada com base nas equações do item E em programas computacionais acopladas as rotinas gráficas.

3 ANÁLISES DOS RESULTADOS DAS REPLICATAS

Uma inspeção sumária das médias dos valores (rotinas e repli_catas) não revelou diferenças marcantes para as Folhas de Itaqua₋quecetuba, Piracaia, Igaratã e Camanducaia (TABELA 8, 9, 10 e 11).

TABELA 8 - RESULTADOS DA REGRESSÃO DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS REPLICATA DA FOLHA ITAQUAQUECE TUBA.

ELEMENTO	CORRELAÇÃO R	MÉDIAS		INCLINAÇÃO A	INTERCEPTO B/X ₀	CV	CD
		ROTINA (X ₀)	REPLICATAS (X _r)				
Fe	0,92	2,75	2,93	0,92	0,14	22,9	15,82
Ca	0,95	0,169	0,167	0,97	0,02	30,4	10,21
Mg	0,94	0,229	0,222	0,95	0,02	24,6	12,05
Ti	0,90	0,656	0,702	1,14	0,07	31,8	18,17
Mn	0,89	731	724	0,85	0,14	22,8	19,98
B	0,98	366	421	1,39	0,24	31,4	3,37
Ba	0,96	541	510	0,79	0,15	15,1	7,34
Co	0,97	10	10	0,99	0,02	19,6	6,74
Cr	0,96	42	40	0,94	0,01	16,1	7,06
Cu	0,96	19	20	0,90	0,12	21,5	8,66
Ga	0,83	13	14	0,72	0,33	23,1	30,32
La	0,78	87	72	0,63	0,20	56,3	39,92
Mo	0,42	3	4	0,46	0,68	26,6	82,62
Nb	0,88	26	27	0,95	0,11	32,8	21,82
Ni	0,89	19	18	0,97	0,02	31,7	20,92
Pb	0,10	15	14	0,084	0,88	43,2	99,09
Sc	0,66	11	12	0,71	0,34	42,4	56,00
Sr	0,98	65	66	1,089	0,07	14,8	3,92
V	0,65	91	82	0,54	0,35	29,1	57,49
Y	0,88	57	50	0,73	0,16	60,1	23,14
Zr	0,89	519	558	0,94	0,14	46,0	20,41

TABELA 9 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS REPLICATA DA FOLHA PIRACAIA.

ELEMENTO	CORRELAÇÃO R	MÉDIAS		INCLINAÇÃO A	INTERCEPTO B/X ₀	CV	CD
		ROTINA (X ₀)	REPLICATAS (X _r)				
Fe	0,96	3,20	3,30	0,988	0,05	17,0	77,70
Ca	0,81	0,140	0,144	0,741	0,28	31,9	33,62
Mg	0,90	0,162	0,179	1,210	0,10	27,6	19,32
Ti	0,93	1,047	1,067	1,025	0,01	36,5	13,97
Mn	0,98	776	802	1,140	0,0	13,9	3,55
B	0,96	48	53	1,124	0,01	25,0	7,76
Ba	0,92	650	641	0,958	0,03	21,3	14,51
Co	0,92	9	10	0,827	0,22	27,8	15,22
Cr	0,95	32	33	0,963	0,07	19,9	10,36
Cu	0,83	21	21	1,046	0,0	47,1	31,69
Ga	0,94	17	18	0,993	0,01	13,5	11,69
La	0,71	341	414	1,065	0,15	65,5	49,96
Mo	0,56	4	4	0,600	0,49	30,5	68,47
Nb	0,86	36	35	0,886	0,09	37,1	26,36
Ni	0,83	16	18	0,808	0,31	32,9	31,53
Pb	0,56	17	22	0,820	0,46	56,3	68,26
Sc	0,82	11	11	0,883	0,19	37,4	33,40
Sr	0,91	95	93	0,822	0,16	20,5	17,13
V	0,89	84	95	1,002	0,13	36,1	21,61
Y	0,83	58	65	0,877	0,24	61,0	31,12
Zr	0,93	1000	996	0,993	0,0	38,7	14,30

TABELA 10 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS REPLICATA DA FOLHA IGARATÁ.

ELEMENTO	CORRELAÇÃO R	MÉDIAS		INCLINAÇÃO A	INTERCEPTO B/X ₀	CV	CD
		ROTINA (X ₀)	REPLICATAS (X _r)				
Fe	0,94	2,10	2,10	1,012	0,01	16,8	12,18
Ca	0,96	0,108	0,110	0,812	0,18	17,3	8,43
Mg	0,89	0,164	0,172	0,952	0,0	22,5	19,99
Ti	0,95	0,547	0,540	1,040	0,02	22,3	9,33
Mn	0,97	383	392	0,993	0,02	16,5	5,08
B	1,00	239	266	0,913	0,02	10,3	0,61
Ba	0,95	367	403	0,945	0,04	26,7	9,79
Co	0,66	5	5	0,759	0,31	37,1	56,10
Cr	0,75	30	31	0,761	0,21	30,3	43,05
Cu	0,79	9	9	0,993	0,0	30,0	38,35
Ga	0,84	12	11	0,809	0,21	26,2	30,20
La	1,00	709	704	0,996	0,01	12,0	0,46
Mo	-0,10	3	3	-0,437	1,58	30,1	99,00
Nb	0,87	28	29	0,707	0,26	39,9	23,88
Ni	0,75	15	14	0,576	0,46	24,3	43,34
Pb	0,96	28	27	1,253	0,20	37,6	8,06
Sc	0,98	16	13	1,913	0,53	43,3	4,20
Sr	0,94	65	61	1,143	0,07	24,1	11,75
V	0,22	57	55	0,204	0,81	40,2	95,16
Y	1,00	24	22	1,219	1,02	23,0	0,86
Zr	0,99	1152	1188	0,993	0,02	19,7	2,19

TABELA 11 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS REPLICATA DA FOLHA CÂ MANDUCAIA.

ELEMENTO	CORRELAÇÃO R	MÉDIAS		INCLINAÇÃO A	INTERCEPTO B/X ₀	CV	CD
		ROTINA (X ₀)	REPLICATAS (X _r)				
Fe	0,92	5,27	5,47	0,884	0,08	22,0	14,65
Ca	0,87	0,216	0,217	0,986	0,0	41,1	23,96
Mg	0,86	0,226	0,261	0,548	0,36	19,7	26,26
Ti	0,74	1,763	1,587	0,805	0,27	52,8	45,30
Mn	0,77	1176	1251	0,540	0,43	40,6	40,52
B	0,85	36	29	0,781	0,37	57,5	28,11
Ba	0,76	764	691	0,669	0,39	27,3	42,16
Co	0,73	13	10	1,040	0,19	46,6	47,30
Cr	0,73	52	54	0,904	0,06	57,3	46,05
Cu	0,77	29	31	0,502	0,46	26,4	39,98
Ga	0,89	21	19	0,876	0,20	20,0	21,36
La	0,99	676	587	1,249	0,08	17,4	1,57
Mo	0,66	7	9	0,488	0,40	45,6	57,00
Nb	0,74	111	108	0,807	0,22	59,1	45,44
Ni	0,74	31	29	0,908	0,16	39,3	45,41
Pb	0,88	34	29	1,347	0,0	45,2	22,98
Sc	0,87	19	20	0,850	0,09	25,8	23,92
Sr	0,67	98	92	0,704	0,35	24,8	54,58
V	0,56	91	90	0,516	0,49	42,3	68,69
Y	0,97	16	12	1,543	1,78	36,2	6,68
Zr	0,72	28	30	0,717	23,59	44,0	48,41

TABELA 12 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS REPLICATA DA FOLHA MONTEIRO LOBATO.

ELEMENTO	CORRELAÇÃO R	ROTINAS (X_o)	MÉDIAS REPLICATAS (X_r)	INCLINAÇÃO A	INTERCEPTO B/X_o	CV	CD
Fe	0,54	3,65	4,43	0,358	0,56	39,3	71,05
Ca	0,43	0,238	0,228	0,646	0,41	94,0	81,21
Mg	0,05	0,362	0,356	0,075	0,93	65,4	99,77
Ti	0,61	0,819	1,096	0,310	0,58	51,4	62,23
Mn	0,72	597	1000	0,215	0,64	35,4	48,71
B	-0,18	53	19	-0,996	1,36	132,7	96,76
Ba	0,60	824	868	0,624	0,34	50,3	63,45
Co	0,71	10	9	1,129	0,11	50,4	49,29
Cr	-0,43	48	40	-0,551	1,45	62,7	81,16
Cu	0,29	22	22	0,197	0,78	51,5	91,42
Ga	-0,25	20	20	-0,190	1,17	24,4	93,55
La	-0,15	429	313	0,340	1,25	103,1	97,89
Mo	0,55	5	8	0,296	0,63	40,5	70,5
Nb	0,64	47	70	0,379	0,42	49,0	58,76
Ni	-0,20	25	24	-0,236	1,22	39,1	96,11
Pb	0,63	26	21	0,616	0,50	31,4	60,34
Sc	0,16	14	16	0,193	0,75	68,0	97,38
Sr	0,34	121	106	0,527	0,54	60,8	88,54
V	-0,42	76	80	-0,379	1,39	38,8	82,06
Y	0,28	69	63	0,670	0,38	97,3	92,10
Zr	0,51	1091	1931	0,329	0,42	86,3	73,79

As diferenças entre as médias das amostras são menores que dez por cento (10%), exceto para os elementos B e La (para essas folhas), onde as diferenças se aproximam de 15%. No tocante à Folha de Monteiro Lobato (TABELA 12) as diferenças superiores a 10% aparecem nos elementos Fe, Ti, B, La e Zr.

O teste t-Student confirmou que as replicatas representam a mesma população que as amostras de rotina para todos os elementos ($\bar{X}_o = \bar{X}_r$), conseqüentemente não existe uma diferença significativa entre elas.

O coeficiente de correlação foi calculado entre as amostras de rotina e replicata para avaliar o grau de correspondência relativa entre essas amostras. Os valores dos coeficientes encontrados foram muito altos nas quatro folhas citadas anteriormente para a maioria dos elementos (e.g. valores altos acompanham valores altos, valores baixos acompanham valores baixos, etc.) exceto para o Mo, Pb e V. Porém a folha de Monteiro Lobato mostrou coeficientes de correlação inferiores a 0,50 para 12 elementos: Ca, Mg, B, Cr, Cu, Ga, La, Ni, Sc, Sr, V e Y. Estes valores baixos para a folha de Monteiro Lobato podem ser devidos a manipulação incorreta das amostras (p.ex. troca de etiquetas das amostras) ou a alta variabilidade dos teores em função das condições de drenagem, devido a acentuada topografia da região.

Os elementos químicos que apresentaram os maiores coeficientes de determinação corrigidos foram: Mo e V com valores superiores a 60% para quase a totalidade das folhas estudadas, enquanto os elementos Ca, Mg, B, Cr, Cu, Ga, La, Ni, Sc, Sr, V e Y se restringiram a folha de Monteiro Lobato, repetindo as observações constatadas anteriormente pelos critérios do coeficiente de correlação.

O coeficiente de variação da regressão, definido conforme a expressão (5.2), mede a dispersão relativa das observações, porque representa o quociente entre a medida da dispersão dos pontos em torno da reta (S_R) e o valor médio da variável dependente ($\bar{X}_o$ - média das rotinas). Nesse sentido, os resultados serão mais expressivos, ou seja, um bom ajuste entre amostras de rotina e replicatas, quanto menor for o coeficiente de variação.

Os elementos La, Y e Pb são os responsáveis pelos coeficientes de variação superiores a 50%, ou seja, ajustes mais baixos entre rotinas e replicatas para a maioria das folhas, enquanto na

Folha de Monteiro Lobato os elementos Ca, Mg, Ti, B, Ba, Co, Cr, Cu, La, Sc, Sr, Y e Zr se mostram também com valores nessa faixa.

As medidas de dispersão relativas e normalizadas através da expressão (5.4) mostraram que as flutuações superiores a 50% são os elementos La na Folha Itaquaquecetuba, Co e Pb na Folha Camanducaia e Ca, Mn, B, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Sc, Sr, V, Y e Zr na Folha Monteiro Lobato, esses últimos em virtude dos erros operacionais assinalados anteriormente.

TABELA 13 - RESULTADOS RELEVANTES ORIGINADOS PELA ANÁLISE DE VARIÂNCIA A UM FATOR FIXO (OS NÚMEROS ENTRE PARÊNTESES REPRESENTAM OS GRAUS DE LIBERDADE UTILIZADOS NO TESTE F):

ELEMENTO	NÍVEL DESCRITIVO (%)	F OBSERVADO	NOME DA FOLHA
Nb	5	1,630	Itaquaquecetuba (29,30)
Pb	1	2,390	
Mo	1	3,258	Igaratã (21,22)
Ni	10	2,037	
Sc	2,5	2,807	
V	25	1,675	
Mo	50	0,924	Piracaia (37,38)
Nb	2,5	1,191	
Pb	50	1,022	
Co	1	2,538	Monteiro Lobato (27,28)
Cr	5	1,921	
Cu	2,5	2,372	
Ga	2,5	1,355	
Ni	75	0,840	
Y	2,5	2,087	

OBS.: Nível descritivo é aqui entendido como o nível a partir do qual se rejeita a hipótese que as diferenças entre as médias das amostras de rotina e duplicatas é igual a zero. Nesta tabela encontram-se os valores com nível descritivo diferente de zero.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS DUPLICATAS

A TABELA 13 exibe os resultados obtidos do teste F da Análise de Variância, onde as diferenças detectadas indicam que a variação geoquímica pode estar substancialmente mascarada pela variação analítico-amostral. Nesta situação encontram-se Nb a 5% na Folha de Itaquaquecetuba; Ga a 25% e Ni a 75% na Folha de Monteiro Lobato; Ni a 10% e V a 25% em Igaratã e Mo e Pb a 50% em Piracaia.

Na TABELA 14 estão indicados os sinais relativos ao viés, ou seja, quando a rotina é maior que a duplicata (" $>$ "), quando a duplicata é maior que a rotina (" $<$ ") e quando as medidas são estatisticamente iguais (" $=$ "). Dessa tabela, observa-se que nas folhas de Itaquaquecetuba, Igaratã e Monteiro Lobato os teores das rotinas são sistematicamente maiores que os das duplicatas. Foram considerados como "igualmente viesados", ou seja, com viés positivo e equivalente ao negativo, as folhas Piracaia (7 e 9) e Camanducaia (5 e 2), sendo que a folha Piracaia é a que apresentou o maior número de elementos com viés (16) positivos ou negativos.

Quanto aos elementos, onde as duplicatas, em geral, foram maiores que as rotinas, destaca-se o Co. Os elementos cujos teores na rotina foram sistematicamente maiores que as duplicatas foram: Mn, Ba, Ga, Nb, Ni e Pb.

A TABELA 15 apresenta um resumo de como variam as diferenças entre as rotinas e duplicatas em função da média entre ambos, para cada elemento químico das cinco folhas. Devido a grande quantidade de análises viesadas são devem ser considerados para análise os elementos nas folhas nos quais não tenha sido detectado o viés e que estão representados por um "*" à direita da casela correspondente. A TABELA 15 relaciona também os elementos químicos com os possíveis problemas analíticos e viés nas medidas, segundo a classificação da variação da precisão em função da concentração apresentada no item 2.2.

As estimativas de precisão com base nos valores logarítmicos (TABELA 16), segundo o método proposto por GARRETT (1969), mostraram que o Ti para as cinco folhas: Fe, Co e Sc na Folha de Igaratã; Mo em Camanducaia e Co na Folha de Monteiro Lobato apresentaram resultados de precisão superior a 40%. Estas estimativas podem ser consideradas de valor duvidoso, tendo em vista possíveis distor

TABELA 14 - RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO TESTE DE VIÉS, DETALHES SOBRE ESSA TABELA ENCONTRAM-SE NO TEXTO.

ELEMENTO FOLHA	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	B	Ba	Co	Cr	Cu	Ga	La	Mo	Nb	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zr	TOTAL >	TOTAL <
Itaquaquecetuba	-	>	-	-	>	>	-	<	-	-	>	-	-	>	>	-	>	-	-	>	>	9	1
Igaratã	-	-	>	-	>	-	>	>	-	-	>	>	-	-	>	>	-	>	-	-	-	9	0
Piracaia	<	<	<	<	>	-	>	<	<	<	>	<	-	>	-	>	>	<	-	-	>	7	9
Camanducaia	-	-	-	-	>	<	>	<	-	-	-	-	>	-	>	>	-	-	-	-	-	5	2
Monteiro Lobato	>	>	>	-	-	<	-	<	-	>	-	-	>	>	>	>	-	-	-	-	-	8	2
TOTAL DE >	1	2	2	0	4	1	3	1	0	1	3	1	2	3	4	4	2	1	0	1	2	38	-
TOTAL DE <	1	1	1	1	0	2	0	4	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-	13

TABELA 15 - CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DAS DIFERENTES FOLHAS SEGUNDO O COMPORTAMENTO DAS DIFERENÇAS EM FUNÇÃO DAS MÉDIAS.

NOME DA FOLHA	ELEMENTOS NÃO VIEZADOS, COM VARIAÇÕES CASUAIS EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO	ELEMENTOS NÃO VIEZADOS, COM VAR. CRESC. (OU DECR.) EM FUNÇÃO DA CONCENTR.	ELEMENTOS NÃO VIEZADOS. COM VAR. EM FUNÇÃO DE CONCENTR. + UMA VAR. SIST. EM RELAÇÃO À MÉDIA	ELEMENTOS NÃO VIEZADOS, COM VAR. SISTEMÁTICA EM FUNÇÃO DA MÉDIA
Itaquaquecetuba	La	Fe, Mg, Ba, Cr, Cu, Mo, Sr e V	Ti	-
Igaratã	Fe, Ti, B, Cr, Cu, Sc, V* e Y	Ca, Nb e Zr	Mo	-
Piracaia	B, Mo* e V	Y	-	Ni
Camanducaia	Fe, Ca, Mg, Cr e Zr	Cu, Nb, Sc, Sr e Y	Ti	Ga, La e V
Monteiro Lobato	Ba, Ga*, La, Sc, V e Zr	Ti, Cr e Y	Mn, Sr	-

* Elementos cuja variação geoquímica está encoberta pela variação residual.

TABELA 16 - RESULTADOS DE PRECISÃO PELO MÉTODO DOS LOGARÍTMOS (PL) E DOS VALORES MÉDIOS DAS MEDIDAS DE DISPERSÃO PARA AS AMOSTRAS DE ROTINA VS DUPLICATA.

FOLHAS ELEMENTO	PRECISÃO DOS LOGS (PL)					MÉDIA DAS MEDIDAS DE DISPERSÃO RELATIVA				
	ITAQUAQUE CETUBA	PIRACAIA	IGARATÁ	CAMANDUCAIA	MONTEIRO LOBATO	ITAQUAQUE CETUBA	PIRACAIA	IGARATÁ	CAMANDUCAIA	MONTEIRO LOBATO
Fe	22,4	32,7	75,2	23,9	26,7	12	17	17	15	11
Ca	18,7	15,4	15,6	17,0	31,2	20	17	17	19	21
Mg	18,3	25,9	31,5	19,9	19,1	16	26	45	18	13
Ti	78,6	59,6	48,1	231,5	212,9	21	22	23	26	14
Mn	8,2	8,3	9,0	6,8	3,6	24	26	30	21	13
B	14,4	9,1	11,2	17,5	11,1	29	19	24	28	20
Ba	3,8	8,6	8,0	7,0	8,2	13	24	29	24	19
Co	24,4	33,9	51,2	35,4	51,8	32	34	24	33	48
Cr	12,6	15,9	16,0	12,4	29,7	25	28	26	24	36
Cu	28,4	29,9	24,5	23,2	36,9	34	40	24	34	39
Ga	18,7	18,7	22,9	13,5	26,1	28	26	28	20	29
La	31,6	20,0	20,2	11,2	21,2	63	47	57	28	38
Mo	24,5	15,9	28,8	44,5	32,1	34	43	43	49	36
Nb	30,3	29,0	23,6	14,9	23,2	49	46	28	30	35
Ni	23,5	22,6	33,9	20,5	35,4	32	33	40	30	42
Pb	23,1	28,8	14,2	26,6	24,1	44	57	28	42	36
Sc	24,2	15,5	40,6	23,5	31,9	38	24	63	36	41
Sr	10,1	7,4	11,8	7,6	15,2	19	20	23	18	26
Y	15,9	14,6	16,5	9,0	18,9	37	30	36	23	37
V	33,1	26,8	15,6	11,9	27,9	61	43	34	26	39
Zr	13,0	5,2	7,9	4,9	11,9	37	19	29	18	30

ções, não por sua dispersão, mas sim provocadas pela distribuição dos valores (principalmente Ti e Mo).

Os cálculos efetuados a partir da expressão 5.4 (TABELA 16) mostraram que os elementos: La, Nb, Pb, e Y na Folha de Itaquaqueceetuba; La, Mo, Nb, Pb e Y em Piracaia; Mg, La, Mo e Sc em Igaratã e Co, Ni e Sc em Monteiro Lobato apresentaram valores de dispersão superior a 40%.

O controle gráfico pelo método de HOWARTH & THOMPSON (1978) se mostrou como a melhor estimativa da precisão. Uma inspeção inicial dos gráficos e a contagem de pontos que ficaram além dos limites esperados para a precisão de dez por cento, mostra que este patamar de precisão não é viável para análises por espectrografia óptica de emissão. Utilizando-se um nível de precisão de 20% os elementos La, Nb e Y apresentaram um número excessivo de pontos acima do limite permissível definido pelas retas dos percentis 90% e 99%.

5 Avaliação das Amostras Rotina vs Replicatas

Uma avaliação dos 21 elementos foi realizada para cada um dos quatro critérios utilizados; a saber: coeficiente de determinação (5.3), coeficiente de correlação (5.1), coeficiente de variação (5.2) e média da dispersão relativa (5.4). A classificação dos resultados numéricos para cada um dos critérios foi dividida empiricamente em cinco categorias: Excelente, Boa, Razoável, Fraca e Problemática (TABELAS 17 e 18).

Os resultados dos quatro critérios se mostram bastante semelhantes, embora alguns elementos figurem em categorias distintas, fruto da subjetividade envolvida na classificação. Uma avaliação global e integrada para as cinco folhas encontra-se na TABELA 19.

Apenas no caso da Folha Monteiro Lobato para a maioria dos elementos os resultados não foram satisfatórios, fruto, talvez, de erros operacionais (p.ex.: manipulação das amostras, troca de etiquetas, etc.), pois uma simples inspeção na listagem aparecem diferenças gritantes que não se reproduzem nos lotes de dados das demais folhas. Nesta avaliação os elementos La, Mo, Pb, Sc e V seguidos por Cu, Nb, Ni e Y mostraram-se como os elementos de pior comportamento no tocante a amostragem. Caso a Folha Monteiro Lobato seja suprimida dessa avaliação, teríamos a classificação problemática

TABELA 17 - AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS PELOS DIFERENTES CRITÉRIOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DE ROTINAS VS REPLICATAS.

CRITÉRIO AVALIAÇÃO	FOLHAS	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (%)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Excelente	IT PI IG CA ML	B, Ba, Co, Cr, Cu, Sr Mn, B Ca, Ti, Mn, B, Ba, La, Pb, Sc, Y, Zr La, Y	Fe, Ca, Mg, Ti, B, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Sr, Zr Fe, Mg, Ti, Mn, B, Ba, Co, Cr, Ga, Sr, Zr Fe, Ca, Ti, Mn, B, Ba, La, Pb, Sc, Sr, Y, Zr Fe, La, Y	Ba, Co, Cr, Sr Fe, Mn, Cr, Ga Fe, Ca, Mn, B, La, Zr Mg, Ga, La
Boa	IT PI IG CA ML	Fe, Ca, Mg, Ti, Mn, Nb, Ni, Y, Zr Mg, Ti, Ba, Co, Cr, Ga, Sr, V, Zr Fe, Mg, Nb, Sr Fe, Ca, Ga, Pb, Sc	Mn Ca, Cu, Nb, Ni, Sc, V, Y Mg, Ga, Nb Ca, Mg, B, Ga, Pb, Sc	Fe, Mg, Mn, Cu, Ga, Mo, V Mg, B, Ba, Co, Sr Mg, Ti, Ba, Cu, Ga, Mo, Ni, Sr, Y Fe, Ba, Cu, Sc, Sr Ga
Razoável	IT PI IG CA ML	Ga, La Ca, Cu, La, Nb, Ni, Sc, Y Cr, Cu, Ga, Ni Mg, Ti, Mn, B, Ba, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Zr Mn, Co	Ba, Ga, Sc, Y La Cr, Cu, Ni Ti, Mn, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Zr, Ba Mn, Co	Ca, Ti, B, Nb, Ni Ca, Ti, Mo, Nb, Ni, Sc, V, Zr Co, Cr, Nb, Pb Ni, Y Fe, Mn, Ni, Pb, V
Fraco	IT PI IG CA ML	Sc, V Mo, Pb Co Mo, Sr, V Fe, Ti, Ba, Mo, Nb, Pb, Zr	La, V Mo, Pb Co Mo, Sr, V Fe, Ti, Ba, Mo, Nb, Pb, Zr	Pb, Sc, Zr Cu Sc, V Ca, Mn, Co, Mo, Pb, V, Zr Mo, Nb
Problemático	IT PI IG CA ML	Mo, Pb Fe Mo, V Ca, Mg, B, Cr, Cu, Ga, La, Ni, Sc, Sr, V, Y	Mo, Pb Mo, V Ca, Mg, V, Cr, Cu, Ga, La, Ni, Sc, Sr, V, Y	La, Y La, Pb, Y Ti, B, Cr, Nb Ca, Mg, Ti, B, Ba, Co, Cr, Cu, La, Sc, Sr, Y, Zr

OBSERVAÇÃO: Código das Folhas

IT = Itaquaquecetuba
PI = Pitacaia
IG = Igaratã

CA = Camanducaia
ML = Monteiro Lobato

TABELA 18 -- AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DAS AMOSTRAS ROTINAS VS REPLICATAS ATRAVÉS DAS MÉDIAS DAS MEDIDAS DE DISPERSÃO RELATIVA,

CRITÉRIO AVALIAÇÃO	FOLHAS	MÉDIAS DAS MEDIDAS DE DISPERSÃO RELATIVA (%) $ X_o - X_r / (X_o + X_r)/2 * 100$
Excelente	IT PI IG CA ML	Fe, Mg, Ti, Ba, Co, Cr, Sr Fe, Mg, Mn, Ba, Cr, Ga, Sr Fe, Ca, Ti, Mn, B, Ba Sc
Boa	IT PI IG CA ML	Ca, Mn, B, Cu, Ga, Nb, Ni, Zr Ca, Ti, B, Co, La, Nb, Ni, Y, Zr Mg, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Sr, Zr Fe, Mg, Mn, Ba, Cu, Ga, La, Sr
Razoável	IT PI IG CA ML	Sc, V, Y Mo, Pb, Sc, V La Ca, Ti, Cr, Mo, Nb, Ni, V, Y, Zr Ga, Pb
Fraca	IT PI IG CA ML	Mo, Pb Cu Mo, Sc, V, Y B Fe, Mg, Ti, Ba
Problemática	IT PI IG CA ML	La Co, Pb Ca, Mn, B, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Sc, Sr, V, Y, Zr

OBSERVAÇÃO: Código das folhas

IT = Itaquaquacetuba

PI = Piracaia

IG = Igaratã

CA = Camanducaia

ML = Monteiro Lobato

TABELA 19 - AVALIAÇÃO GLOBAL E POR FOLHA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ATRAVÉS DOS DIFERENTES CRITÉRIOS DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS REPLICATA.

MÉTODO ELEMENTO	ITAQUAQUECETUBA				PIRACAIA				IGARATÁ				CAMANDUCAIA				MONTEIRO LOBATO				AVALIAÇÃO GLOBAL
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
Fe	4	5	4	5	1	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	2	2	3	2	5
Ca	4	5	3	4	3	4	3	4	5	5	5	5	4	4	2	3	1	1	1	1	3
Mg	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	3	4	5	4	1	1	1	2	4
Ti	4	5	3	5	4	5	3	4	5	5	4	5	3	3	1	3	2	2	1	2	3
Mn	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	2	4	3	3	3	1	5
B	5	5	3	4	5	5	4	4	5	5	5	5	3	4	1	2	1	1	1	1	3
Ba	5	3	5	5	4	5	4	5	5	5	4	5	3	3	4	4	2	2	1	2	5
Co	5	5	5	5	4	5	4	4	2	2	3	4	3	3	2	1	3	3	1	1	3
Cr	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	3	4	3	3	1	3	1	1	1	1	3
Cu	5	5	4	4	3	4	2	2	3	3	4	4	3	3	4	4	1	1	1	1	2
Ga	3	3	4	4	4	5	5	5	3	4	4	4	4	4	5	4	1	1	4	3	5
La	3	2	1	1	3	3	1	4	5	5	5	3	5	5	5	4	1	1	1	1	1
Mo	1	1	4	2	2	2	3	3	1	1	4	2	2	2	2	3	2	2	2	1	1
Nb	4	5	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3	1	3	2	2	2	1	2
Ni	4	5	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	1	1	3	1	2
Pb	1	1	2	2	2	2	1	3	5	5	3	4	4	4	2	1	2	2	3	3	1
Sc	2	3	2	3	3	4	3	3	5	5	2	2	4	4	4	5	1	1	1	1	1
Sr	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	4	2	2	4	4	1	1	1	1	4
V	2	2	4	3	4	4	3	3	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	3	1	1
Y	4	3	1	3	3	4	1	4	5	5	4	2	5	5	3	3	1	1	1	1	2
Zr	4	5	2	4	4	5	3	4	5	5	5	4	3	3	2	3	2	2	1	1	3

CLASSIFICAÇÃO

Problemático	1
Fraco	2
Razoável	3
Bom	4
Excelente	5

CRITÉRIO

- A - Coeficiente de determinação
- B - Coeficiente de correlação
- C - Coeficiente de variação
- D - Média das medidas de dispersão relativa

ca restrita ao Mo e V, seguidos Cu, Pb e Ni.

De uma maneira geral, os resultados desses elementos classificados como "problemáticos" são aqueles que comumente apresentam pouca precisão em análises espectrográficas de materiais geológicos devido a suas características de distribuição e as limitações instrumentais impostas pelo próprio método analítico empregado (MOTOOKA & GRIMES, 1976; DUTRA, 1969 e 1980).

Em termos comparativos os resultados da classificação para três folhas mostram-se idênticos: Itaquaquetuba, Piracaia e Igaratã seguidos em ordem decrescente pelas folhas de Camanducaia e Monteiro Lobato.

6 AVALIAÇÃO DAS AMOSTRAS ROTINA VS DUPLICATAS

Os resultados das amostras de rotina e replicata para os 21 elementos químicos nas cinco folhas foram submetidos a uma avaliação através dos três critérios descritos anteriormente (item 2.2), a saber: precisão segundo o método de GARRETT (1969), média das medidas de dispersão e o controle gráfico proposto por THOMPSON & HOWARTH (1978). A classificação adotada para cada um dos critérios foi dividida empiricamente em cinco categorias: Excelente, Boa, Razoável, Fraca e Problemática (TABELA 20).

A avaliação global dos dados (TABELA 21) aponta que os três métodos apresentam resultados bastante similares, ocorrendo algumas diferenças, nos postos devido a subjetividade da classificação. Apenas nos casos do Ti para as cinco folhas, La para as folhas de Itaquaquetuba, Piracaia e Igaratã e Pb na Folha de Piracaia o método da precisão dos Logs (PL) apresenta discrepâncias notáveis na classificação, talvez devido a alta dispersão dos dados.

O método da Análise de Variância a um fator fixo (ANOVA) assim como a precisão dos Logs (PL) proposto por GARRETT (1969) que é decorrente, supõe que a precisão é invariante com relação as diferentes faixas de concentração do elemento analisado. Apesar da facilidade de sua utilização, o seu inconveniente é definir a precisão como única para toda a amplitude de variação da concentração, não considerando possíveis mudanças na reprodutividade nas diferentes faixas de concentração. Nos casos onde se dispõe de um número elevado de amostras, as quais possam ser divididas em segmentos homogêneos, verifica-se esses procedimentos para o cálculo da preci-

TABELA 20 - AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS DUPLICATAS PELOS DIFERENTES MÉTODOS.

MÉTODO AVALIAÇÃO	FOLHAS	MÉDIA DAS MEDIDAS DE DISPERSÃO	FOLHAS	PRECISÃO DOS LOGS (PL)	FOLHAS	CONTROLE GRÁFICO
Excelente	IT PI IG CA ML	Fe, Ca, Mg, Ba, Sr Fe, Ca, B, Sr, Zr Fe, Ca, Cr Fe, Ca, Mg, Ga, Sr, Zr Fe, Mg, Ti, Mn, B, Ba	IT PI IG CA ML	Ca, Mg, Mn, B, Ba, Cr, Ga, Sr, V, Zr Ca, Mn, B, Ba, Cr, Ga, La, Mo, Sc, Sr, V, Zr Ca, Mn, B, Ba, Cr, Pb, Sr, V, Y, Zr Ca, Mg, Mn, B, Ba, Cr, Ga, La, Nb, Sr, V, Y, Zr Mg, Mn, B, Ba, Sr, V, Zr	IT PI IG CA ML	Fe, Mg, Ti, Mn, Ba, Mo, Sr Fe, Ti, Mn, Mo, Sc, Sr, Zr Fe, Ca, Sr Fe, Ca, Ti, Sr Fe, Ca, Mg, Ti, Mn, B, Ba
Boa	IT PI IG CA ML	Ti, Mn, B, Cr, Ga Mg, Ti, Mn, Ba, Cr, Ga, Sc, V Ti, Mn, B, Ba, Co, Cu, Ga, Nb, Pb, Sr, Zr Ti, Mn, B, Ba, Cr, La, Nb, Ni, V, Y Ca, Ga, Sr, Zr	IT PI IG CA ML	Fe, Co, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc Mg, Cu, Nb, Ni, Pb, Y Cu, Ga, La, Mo, Nb Fe, Cu, Ni, Pb, Sc Fe, Cr, Ga, La, Nb, Pb, Y	IT PI IG CA ML	Ca, B, Cu Ca, Mg, B, Ba, Ga, V Ti, Mn, B, Cr, Cu, Mo, Nb, Pb Mg, Mn, B, Ba, Cr, Ga, La, Ni, V, Y, Zr Cr, Ga, La, Mo, Nb, Pb, Sr, Zr
Razoável	IT PI IG CA ML	Co, Cu, Mo, Ni, Sc, V, Zr Co, Cu, Ni Ni, V, Y Co, Cu, Sc Cr, Cu, La, Mo, Nb, Pb, V, Y	IT PI IG CA ML	La, Y Fe, Co Mg, Ni Co Ca, Cu, Mo, Ni, Sc	IT PI IG CA ML	Cr, Ga, Ni, Pb, Sr, Zr Cr, Ni, Pb Ba, Co, Ga, Sc, Y Co, Cu, Mo, Nb, Sc Cu, Ni, Sc, V, Y
Fraca	IT PI IG CA ML	Nb, Pb La, Mo, Nb, Y Mg, Mo Mo, Pb Co, Ni, Sc	IT PI IG CA ML	— — Ti, Sc Mo —	IT PI IG CA ML	Co, V Co, Cu, La, Y Mg, Ni, V, Zr Pb Co
Problemática	IT PI IG CA ML	La, Y Pb La, Sc — —	IT PI IG CA ML	Ti Ti Fe, Co Ti Ti, Co	IT PI IG CA ML	La, Nb, Y Nb La — —

OBSERVAÇÃO: CÓDIGO DAS FOLHAS

IT = Itaquaquecetuba
PI = Piracaia

IG = Igaratã

CA = Camanducaia
ML = Monteiro Lobato

TABELA 21 - AVALIAÇÃO GLOBAL DAS AMOSTRAS DE ROTINA VS DUPLICATA ATRAVÉS DOS DIFERENTES MÉTODOS.

ELEMENTO	ITAQUAQUECE TUBA			PIRACAIA			IGARATÁ			CAMANDUCAIA			MONTEIRO LOBATO			AVALIAÇÃO GLOBAL
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Fe	5	4	5	5	3	5	5	1	5	5	4	5	5	4	5	4
Ca	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5
Mg	5	5	5	4	4	4	2	3	2	5	5	4	5	5	5	4
Ti	4	1	5	4	1	5	4	2	4	4	1	5	5	1	5	3
Mn	4	5	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5
B	4	5	4	5	5	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5
Ba	5	5	5	4	5	4	4	5	3	4	5	4	5	5	5	5
Co	3	4	2	3	3	2	4	1	3	3	3	3	2	1	2	3
Cr	4	5	3	4	5	3	5	5	4	4	5	4	3	4	4	4
Cu	3	4	4	3	4	2	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4
Ga	4	5	3	4	5	4	4	4	3	5	5	4	4	4	4	4
La	1	3	1	2	5	2	1	4	1	4	5	4	3	4	4	3
Mo	3	4	5	2	5	5	2	4	4	2	2	3	3	3	4	3
Nb	2	4	1	2	4	1	4	4	4	4	5	3	3	4	4	4
Ni	3	4	3	3	4	3	3	3	2	4	4	4	2	3	3	3
Pb	2	4	3	1	4	3	4	5	4	2	4	2	3	4	4	3
Sc	3	4	3	4	5	5	1	2	3	3	4	3	2	3	3	3
Sr	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5
V	3	5	2	4	5	4	3	5	2	4	5	4	3	5	3	4
Y	1	3	1	2	4	2	3	5	3	4	5	4	3	4	3	3
Zr	3	5	3	5	5	5	4	5	2	5	5	4	4	5	4	4

CLASSIFICAÇÃO

Problemático	1
Fraco	2
Razoável	3
Bom	4
Excelente	5

MÉTODO

A	- Média das medidas de dispersão
B	- Precisão dos Logs (PL)
C	- Controle Gráfico

são tendem a apresentar resultados mais expressivos e compatíveis com o método da precisão em função da concentração.

Este segundo método apresenta algumas vantagens sobre os anteriores, no sentido em que não é tão influenciado pelo não cumprimento das restrições e suposições associados aos modelos de ANOVA e permite estimar a precisão para intervalos específicos de concentração.

O pré-requisito de se ter uma precisão de dez por cento é aplicável nas análises de espectrografia óptica apenas para as amostras padrões, cuidadosamente homogeneizadas antes de enviá-las ao laboratório. Os procedimentos usuais utilizados na preparação e separação de duplicatas não são suficientes para atingir esse patamar de precisão. Nessas situações, aconselha-se uma precisão de 20% como um limiar mais apropriado.

Deve-se ressaltar também que o método de espectrografia óptica de emissão, situa-se naquele conjunto de métodos analíticos onde diversos elementos são determinados simultaneamente, que apresentam dificuldades específicas no controle de qualidade dos resultados. Um primeiro aspecto é a dificuldade de obtenção de materiais para a fabricação de padrões, no qual todos os elementos de interesse (analite) estão presentes em concentrações compatíveis com o nível de detecção do método. Em alguns casos, pode-se recorrer a padrões sintéticos, mas, geralmente eles não apresentam uma forma química e física compatível com as amostras. Esses fatos induzem a um grande dispêndio de tempo, recorrendo-se ao controle laboratorial através de cartas de qualidade para interpretação adequada dos resultados.

CAPÍTULO VI

QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM EM PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA

1 INTRODUÇÃO

Após análise detalhada da precisão dos teores através do controle das amostras em replicata e duplicata, o objetivo neste capítulo do trabalho é avaliar as diferentes componentes vinculadas ao meio físico em relação ao "sinal" geoquímico. Trata-se aqui de reunir informações que permitam auxiliar a distinção entre as variações ditas normais que compõem o "background" geoquímico daquelas variações que indicam a presença de uma anomalia real de uma provável mineralização.

Na coleta de amostras geoquímicas, o geólogo observa uma série de características da área ao redor do ponto de cada amostra coletada, que podem ter grande influência nos valores geoquímicos. São exemplos disso anotações sobre a litologia, a granulometria do sedimento que está sendo coletado, as condições da água (coloração, pH, regime), e outros parâmetros qualitativos do ambiente em que a amostra foi coletada. Esse tipo de informação, em geral não numérica, de caráter puramente descritivo é frequentemente utilizada em geoquímica, de modo superficial e de maneira estritamente pessoal. Em outras palavras, no decorrer da interpretação, o especialista geralmente utiliza esses dados acoplados a outras informações de campo, mapas e literatura, de maneira empírica e sem correlação formal com a paisagem geoquímica.

Os dados descritos acima, denominam-se dados categóricos, são de grande utilidade em levantamentos geoquímicos regionais, onde as variações entre as condições ambientais entre cada estação de amostragem implica, necessariamente, na avaliação da influência desses fatores. O reconhecimento dessas variações constitui parte importante da estrutura da informação geoquímica, bem como a sua caracterização que condiciona os principais fatores de diferenciação ao nível do "background" geoquímico.

Diversos estudos já foram realizados entre os dados categóricos e a sua influência sobre a paisagem geoquímica. DAHLBERG (1969) propôs um modelo regional para o cinturão cuprífero de South Mountain na região da Pensilvânia, onde o conteúdo metálico da amostra foi calculado em função dos seguintes parâmetros: litologia, características hidrológicas da drenagem, influência das feições estruturais, influências das áreas cultivadas (antro

pomorfismo), cobertura vegetal, corpos mineralizados, e um efeito aleatório não incluído no modelo. Através das técnicas de regressão múltipla e fatorial foi possível estabelecer uma correlação entre o comportamento desses parâmetros e os elementos químicos Cu, Zn, Co, Ni, Cr, V, Mn e Fe, bem como áreas favoráveis para mineralização de cobre.

MATYSEK et al. (1983) trabalhando na região da Columbia Britânica no Canadá com 1313 dados de sedimentos de corrente para Zn, Cu, Pb, Ni, Co, Mn, Fe, Mo, W, Hg e V e envolvendo os parâmetros: granulometria, fluxo, classe de drenagem, fisiografia, padrão de drenagem e contaminação, procedeu a uma avaliação estatística desses parâmetros no contexto da interpretação geoquímica. Nesse trabalho os autores concluíram que os fatores ambientais atuando globalmente possuem um grau de significância maior que um único fator na determinação do conteúdo metálico dos sedimentos.

No inventário geoquímico da França, foram estudados por ROQUIN (1984) os fatores de diferenciação natural, ou seja, zonas cultivadas, tipos de amostragem (solo, sedimento de corrente, etc.) e unidades litológicas em relação as variáveis químicas: Fe_2O_3 , Mn, Ba, P, V, B, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Y e Nb. O autor concluiu que os solos de zonas cultivadas na Bretanha apresentam teores elevados em fósforo e pobres em elementos-traços. Em relação aos tipos de amostragem nesse trabalho, o autor correlacionou também com a influência da composição mineralógica e os parâmetros de amostragem (dados categóricos).

QUINTANILHA; SUSLICK e LEWIS (1984) desenvolveram também uma sequência de procedimentos para tratamento de dados categóricos onde foi possível visualizar um vínculo entre alguns elementos químicos, os parâmetros de amostragem e os tipos litológicos.

Neste trabalho apresentaremos o procedimento proposto pelos autores que visa a manipulação de dados categóricos (qualitativos), através da combinação de técnicas estatísticas de uso comum, tais como: estatísticas descritivas, testes de médias e correlações - paramétricas e não-paramétricas - cujos objetivos podem ser resumidos em: verificar a influência do meio físico sobre a dispersão de alguns elementos medidos nos sedimentos ativos de corrente e facilitar o uso desses dados na interpretação, da paisagem geoquímica.

2 MÉTODO UTILIZADO

Os dados utilizados para essa investigação são compostos de observações de campo (TABELA 22) e resultados analíticos de Fe, Mg, Ti, Mn, B, Co, Cr, Cu, La e Zn de sedimento de corrente de 1650 a mostras da área estudada. A geologia foi simplificada em função dos códigos litológicos utilizados no capítulo IV (TABELA 6), combinando nove tipos litológicos — sedimentos, filitos, gnaisses, granitos, granulitos, metabásicos, metadioritos, migmatitos e xistos — sem levar em consideração as idades e as unidades geológicas. O número de amostras em cada uma das unidades encontra-se também na TABELA 22.

As principais etapas que compõem o tratamento das informações estão indicadas na FIGURA 7. De um modo geral foram destacadas três etapas nesta estrutura: seleção, correlação e cruzamento que serão apresentados no item seguinte.

O cálculo das estatísticas básicas foi obtido através de programa em linguagem FORTRAN desenvolvido por SUSLICK & QUIN-TANILHA (1982) e os demais cálculos são feitos através do conjunto de rotinas do utilitário - "Statistical Analysis System" — SAS (SAS, ..., 1982).

As informações de campo são aquelas utilizadas no Programa Geoquímica Regional e que usualmente compõem uma ficha de a mostragem geoquímica. Para efeito de tratamento de dados, essas informações foram divididas em dois grupos: as informações as quais denominou-se fatores de campo e aquelas que denominou-se variáveis de campo. Esse segundo grupo é representado pelas informações de natureza estritamente numérica, tais como: pH, área de bacia e pluviometria. Constituem o primeiro grupo, as informações de caráter essencialmente qualitativo (p.ex. litologia) e/ou descritivo (granulometria e tipo de solo, no nosso exemplo).

Um resumo das técnicas estatísticas utilizadas nas principais etapas da estrutura metodológica é apresentada na TABELA 23. A seguir apresentaremos um roteiro que descreve cada uma das etapas.

2.1 Seleção dos fatores e variáveis de campo

Os fatores de campo são escolhidos apenas em função das frequências observadas em cada classe. Elimina-se aqueles fatores com concentrações de frequências em menos de

TABELA 22 - FATORES E VARIÁVEIS DE CAMPO UTILIZADOS.

FATORES DE CAMPO	CATEGORIAS	
Granulometria	Areia grossa, areia fina, sedimento argiloso e sedimento orgânico.	
Tipo de ocupação do solo	Área cultivada, área não cultivada, mata e outros	
Área irrigada	Área irrigada, brejo e outros	
Fontes de contaminação	Esgoto urbano, esgoto industrial, depósito de lixo, mineração, fumaça industrial, postos de gasolina, obras civis, outros	
Cor da água	Clara e turva	
Drenagem	Encosta muito abrupta, encosta abrupta normal e meandrente	
Regime de água	Caudaloso, normal, baixo e seco	

LITOLOGIA	CÓDIGO	Nº DE AMOSTRAS
Sedimentos	DD	10
Filitos (S.Roque)	FI	93
Gnaisses	GN	434
Granitos	GR	417
Granulitos	HG	59
Rochas Metabásicas(S.Roque)	MB	298
Metadioritos	MD	13
Migmatitos	MG	240
Xisto	XS	86
Total de amostras		1 650

VARIÁVEIS DE CAMPO

UNIDADE

pH

pluviosidade

área da bacia de captação

mm

Km²

TABELA 23 - RESUMO DAS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NAS PRINCIPAIS ETAPAS.

ETAPA	TÉCNICA
Seleção dos fatores e variáveis de campo	<ul style="list-style-type: none"> - Contagem de frequências - Análise exploratória de dados (diagrama de juntas, ramos-e-folhas e histogramas) - Estatísticas descritivas (média, desvio-padrão, coeficiente de variação, etc.)
Correlações entre fatores e variáveis de campo	<ul style="list-style-type: none"> - Tabelas de contingência de dupla entrada - Coeficientes de correlação parcial dos modelos de análise de variância - Coeficientes de correlação linear
Cruzamento e avaliação de influência dos fatores de campo nos elementos químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo de covariância (Estatística F) - Teste de Comparações Múltiplas de Duncan - Análise de Componentes Principais (ACP)

50% das classes possíveis assumidas como invariantes.

Uma sequência composta de dois procedimentos permitiu a escolha adequada dos fatores de campo relevantes: o primeiro procedimento foi a fixação do fator litologia e respectivos níveis em razão da sua importância na interpretação; o segundo constituiu na contagem do número de observações por nível de cada fator. Definise nível de um fator como cada uma das possíveis formas de ocorrer um fator específico. Por exemplo, são níveis do fator granulometria: areia fina, areia média e areia grossa.

As variáveis de campo, devido a seu caráter basicamente numérico, foram selecionadas com base nas estatísticas descritivas obtidas (média, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação), auxiliadas no julgamento, por diagramas do tipo: diagrama de juntas, ramos-e-folhas e histogramas (SUSLICK; QUINTANILHA; LEWIS, 1984). Foram descartadas aquelas variáveis com pouca ou nenhuma variação, constatadas através dos valores das estatísticas e dos comportamentos observados nos gráficos. Deste modo, essas variáveis foram escolhidas em função da sua própria variabilidade e de suas relações de dependência com as demais variáveis e fatores (por exemplo, a variabilidade do pH em toda a área e a sua correlação com a litologia).

2.2 Seleção das Variáveis de Laboratório

Como variáveis de laboratório foram escolhidos os elementos Fe, Mn, Mg, Ti, Zr, Cr, La, B, Co, Cu. A escolha do Fe e Mn justifica-se uma vez que a interferência desses óxidos pode ser responsável pela concentração de determinados elementos-traços, sem vínculo obrigatório com mineralização em sub-superfície. Além disso, os óxidos de Fe e Mn também são sensíveis às variações ambientais e são naturalmente relacionados aos elementos mobilizados em solução como B, Co e Cu. O grupo dos elementos, Ti, Zr, Cr e La apresentam também um interesse geoquímico, pois mostram-se comumente vinculados aos minerais clásticos, onde os parâmetros do meio físico podem em algumas situações desempenhar um importante papel na dispersão desses elementos.

As estatísticas descritivas e contagem simples são utilizadas para eliminar os elementos químicos sem expressão analítica.

2.3 Interação entre Fatores (cruzamentos) e Variáveis de Campo (correlações)

Em seguida, com as informações de campo e laboratório selecionadas, são calculadas as correlações entre os fatores e variáveis de campo e entre elementos químicos. Para as variáveis de campo e os elementos químicos a medida utilizada é a correlação linear; enquanto que para os fatores de campo e os elementos químicos se utiliza as estatísticas do Qui-Quadrado e outras a ela associadas (por exemplo: coeficiente de contingência e phi). Para estimar a interação entre os fatores e variáveis de campo foi usado a correlação parcial, obtida a partir dos modelos de análise de variância das variáveis em função dos fatores. O ANEXO A traz um resumo dos testes modelos e equações utilizadas.

2.4 Caracterização das influências sobre os elementos químicos

A caracterização do grau de influência de um fator ou variável de campo sobre cada elemento químico é feita através da significância do fator ou variável no modelo de covariância, determinada através das estatísticas F obtidas na análise. Nesses modelos, adotou-se os elementos químicos como a variável dependente, as informações de campo são fatores de influência e as variáveis de campo são as covariáveis.

Para testar a igualdade de médias dos elementos químicos em cada fator considerado, utilizou-se o teste de Comparações Múltiplas de Duncan ("Duncan's Multiple Range Test"). Este teste determina se as diferenças entre os diversos grupos são significantes de acordo com um determinado nível de confiança (DUNCAN, 1955, 1957; GOMES, 1978). A FIGURA 8 apresenta um roteiro detalhado dos passos para o teste de Duncan no caso de três médias categóricas do fator de campo granulometria. O ANEXO B traz os principais aspectos do formalismo estatístico do referido teste.

PASSO 1 - ORDENAÇÃO DAS MÉDIAS E DO NÚMERO DE OBSERVAÇÕES

GRANULOMETRIA	ARGILA	Areia FINA	Areia GROSSA
Média (ppm)	45,5	24,5	22,0
Número de amostras	68	322	641

PASSO 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADOS MÉDIOS	F
Entre médias	2	4032.139	6.43
Erro	1028	627.07	

Erro padrão ponderado (S_p) = $\sqrt{627.07} = 25.04$

PASSO 3 - VALORES CRÍTICOS $S_r = S_p \cdot Z_p$

p	(2)	(3)	Z_p = valor da tabela de Duncan
Z_p	2,77	2,92	
S_r	69,36	73,12	

PASSO 4 - CÁLCULO DAS DIFERENÇAS AJUSTADAS (AD) ENTRE AS p MÉDIAS

$$\begin{aligned} \text{Argila / fina} &= (45,5 - 24,5) \sqrt{2(68)(322)/(68 + 322)} = 222,53 \\ \text{Argila / grossa} &= (45,5 - 22,0) \sqrt{2(68)(641)/(68 + 641)} = 260,58 \\ \text{Fina / Grossa} &= (24,5 - 22,0) \sqrt{2(322)(641)/(322 + 641)} = 51,76 \end{aligned}$$

PASSO 5 - COMPARAÇÃO DO VALOR DE S_r COM AS DIFERENÇAS AJUSTADAS (AD)

Argila/fina = 222,53 > S_r = (69,36) a diferença é significativa
 Argila grossa = 260,50 > S_r = (73,12) a diferença é significativa
 Fina/grossa = 51,76 < S_r = (69,36) a diferença não é significativa

PASSO 6 - INTERPRETAÇÃO

GRANULOMETRIA	<u>GROSSA</u>	<u>FINA</u>	<u>ARGILA</u>
---------------	---------------	-------------	---------------

As diferenças entre as médias para os teores de Cu para o fator granulometria (areia fina e grossa) não são significantes. Sempre que houver um traço horizontal unindo duas médias, elas não diferem significativamente. Assim, a média da granulometria (argila) é significativamente diferente entre as anteriores e será colocada num agrupamento distinto.

FIGURA 8 - ROTEIRO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA TESTE DE COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS DE DUNCAN AO NÍVEL DE 5% DE SIGNIFICÂNCIA.

Com o objetivo de avaliar a influência da litologia sobre os diversos níveis de teores dos elementos químicos, foi construído uma tabela das medianas das unidades litológicas em função dos elementos químicos Fe, Mg, Ti, B, Mn, Cu, Co, Cr, La e Zr. A utilização da mediana justifica-se, na medida que é um parâmetro mais robusto que a média (menos influenciada pelos teores extremos e limites de detecção das variáveis).

As amostras dos granitos foram individualizados segundo as folhas topográficas em cinco grupos: granitos da folha de Itaquaquecetuba (GRIT), granitos da folha de Piracaia (GRPI), granitos da folha de Igaratã (GRIG), granitos da Folha de Camanducaia (GRCA) e granitos da folha de Monteiro Lobato (GRML). Por seu turno, os gnaisses e migmatitos foram separados em dois grupos, segundo os tipos de complexos:

- GNIP - Gnaisses, Proterozóico Inferior, Complexo Piracaia
- MGIP - Migmatitos, Proterozóico Inferior, Complexo Piracaia
- GNIA - Gnaisses, Proterozóico Inferior, Complexo Amparo
- MGIA - Migmatitos, Proterozóico Inferior, Complexo Amparo

Os dados das medianas das litologias foram submetidos a Análise de Componentes Principais (ACP), após transformação logarítmica das mesmas. A análise de componentes principais consiste numa técnica multivariada que se utiliza de ferramentas matemáticas a partir da matriz de correlações entre variáveis (no nosso caso elementos químicos) com o objetivo de se agrupar esses elementos em componentes, independentes, e que contêm o total de variação geral dos dados. Por sua vez, essas componentes permitem uma interpretação que vincula os elementos químicos e as respectivas unidades litológicas.

3 RESULTADOS OBTIDOS

As estatísticas básicas das variáveis de campo (área da bacia e pluviosidade) as frequências simples e percentuais dos fatores de campo (granulometria, tipo de ocupação de solo, etc.) são apresentadas respectivamente nas TABELAS A variável de campo pH foi descartada do tratamento em função da ausência de dados e medidas consistentes no lote total de amostras.

A seleção baseou-se nos resultados dessas tabelas, onde a variável área de bacia foi a escolhida pois a pluviosidade tem coeficientes de variação baixos e valores médios entre litologias bastante próximos, ou seja, não tem um poder discriminatório (TABELA 25). Exceção feita aos sedimentos (DD) e filitos do Grupo São Roque (FI) que ocupam a posição mais a sul da área estudada, onde os índices médios de pluviosidade são mais baixos.

Paralelamente, realizou-se um estudo do comportamento dos elementos químicos em função de intervalos de índice de pluviosidade. Constatou-se que para os elementos clásticos (Ti, Cr, La e Zr) e o Fe os teores se mostram crescentes até 2 050 mm, enquanto o B diminui com o aumento da pluviosidade e os demais se mostram praticamente constantes. Este fato talvez tenha origem na natureza das medidas efetuadas que será abordado mais adiante. A variável área de bacia foi submetida a tratamento análogo, constatando-se que essa variável apresenta contrastes mais nítidos para os elementos químicos em questão. Os elementos Ti, Cr, La, Zr apresentam teores crescentes com o aumento da área de bacia, seguido pelo Fe e Mn e demais elementos.

Os fatores de campo selecionados foram granulometria e tipo de ocupação do solo, tendo em vista que os demais fatores não apresentaram uma incidência significativa nas categorias consideradas (TABELA 25). Nessa tabela devemos destacar a alta porcentagem da categoria areia grossa nos gnaisses (GN), metadioritos (MD) e xistos (XS), enquanto obviamente ocorre uma alta porcentagem de areia fina nos sedimentos (DD), apesar do pequeno número de observações nessa litologia. A categoria mata apresenta alta porcentagem nos Filitos (FI) e nas rochas Metabásicas do São Roque (MB), pois a região dessas litologias localiza-se em área de proteção de mananciais.

O cruzamento dos fatores granulometria e tipo de ocupação do solo exibe uma expressiva porcentagem de areia grossa em áreas não cultivadas. Considerando-se as categorias para o tipo de o

TABELA 24 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS DE CAMPO POR LITOLOGIA.

LITOLOGIA	DD		FI		GN		GR		HG	
N	10		93		434		417		59	
VARIÁVEIS	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm) *	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm) *	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm) *	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm) *	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm) *
$\bar{X}$	1,01	1440	1,66	1478	2,22	1651	2,14	1819	9,75	1954
S	0,89	39,44	3,40	29,91	464	106,12	4,93	134,52	19,14	165,4
C.V.(%)	88,1	2,74	204,1	2,02	209,1	6,4	230,3	7,40	196,2	8,5
MÁXIMO	3,2	1500	21,2	1500	99,9	2200	88,0	2800	99,9	2800
MÍNIMO	0,2	1400	0,2	1400	0,1	1300	0,1	1400	0,1	1700

LITOLOGIA	MB		MD		MG		XS		TOTAL	
N	298		13		240		86		1650	
VARIÁVEIS	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm)	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm)	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm)	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm)	ÁREA DA BACIA (Km ²)	PLUVIOSIDADE (mm)
$\bar{X}$	4,23	1632	2,28	1500	8,36	1892	1,96	1617	3,60	1721
S	7,00	90,53	3,24	-	20,62	174,4	2,91	87,14	11,79	238,8
C.V.(%)	165,4	5,6	142,1	-	246,7	9,2	148,5	5,4	327,5	13,8
MÁXIMO	99,9	2000	11,6	1500	99,9	2800	20,0	1700	0,1	2800
MÍNIMO	0,1	1400	0,1	1500	1,0	1600	0,1	1500	99,9	1300

TABELA 25 - FREQUÊNCIA SIMPLES E RELATIVA DOS FATORES DE CAMPO POR LITOLOGIA.

	LITOLOGIA	DD		FI		GN		GR		HB		HG		MG		MD		XS	
		ESTATÍST.		f		f		f		f		f		f		f		f	
		f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
GRANULOMETRIA	FATORES																		
	Areia Grossa	1	10	11	12	227	52	170	41	101	34	13	22	51	22	9	69	57	67
	Areia Média	3	30	38	41	141	32	155	37	115	38	25	42	113	47	3	23	24	28
	Areia Fina	6	60	29	31	50	11	80	19	67	23	21	36	67	28	-	-	2	2
	Sedim. Argiloso	-	-	15	16	16	5	11	3	14	5	-	-	8	3	1	8	3	3
	Sedim. Orgânico	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-
TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO	Área Cultivada	-	-	4	4	75	17	72	17	40	13	14	24	50	21	2	15	20	23
	Área Não Cultiv.	3	30	15	16	256	60	212	51	108	36	33	56	118	49	9	70	46	54
	Mata	5	50	60	65	93	21	121	29	127	43	9	15	55	23	2	15	20	23
	Outros	2	20	14	15	10	2	12	3	23	8	3	5	17	7	-	-	-	-
ÁREA IRRIGADA	Área Irrigada	-	-	-	-	310	77	193	46	141	47	14	24	94	40	13	100	80	93
	Brejo	-	-	17	18	26	7	26	7	13	5	6	10	13	5	-	-	2	2
	Outros	10	100	76	82	64	16	198	47	144	48	39	66	133	55	-	-	4	5
FONTES DE CONTAMINAÇÃO	Esgoto urbano	-	-	9	10	27	6	-	-	7	2	-	-	1	-	-	-	5	6
	Esgoto indúst.	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
	Depósito lixo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	1	8	-	-
	Mineração	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fumaça indúst.	1	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
	Postos gasolina	-	-	-	-	-	-	9	2	5	2	1	2	1	-	-	-	-	-
	Obras civis	1	10	10	10	3	1	155	38	119	40	28	47	110	47	11	84	52	60
	Outros	1	10	11	12	179	41	245	60	166	56	29	49	126	53	1	8	29	34
	Não tem	7	70	63	68	222	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COR DA ÁGUA	Clara	8	80	77	83	419	97	398	95	271	91	57	97	216	90	11	85	85	99
	Turva	2	20	16	17	15	3	19	5	27	9	2	3	24	10	2	15	1	1
DRENAGEM	Enc.mto.abrupta	-	-	-	-	8	-	38	8	1	-	5	9	14	6	-	-	-	-
	Encosta abrupta	-	-	2	2	87	20	108	25	35	12	22	38	76	32	2	15	17	20
	Normal	6	60	86	93	272	63	246	57	230	77	25	43	109	45	10	77	58	67
	Meandrante	4	40	5	5	65	15	42	10	32	11	6	10	41	17	1	8	11	13
REGIME DE ÁGUA	Caudaloso	-	-	1	1	20	5	29	7	6	2	7	12	29	12	-	-	1	1
	Normal	8	80	91	98	344	81	356	85	270	91	51	85	191	80	12	92	66	77
	Baixo	2	22	1	1	58	14	32	8	22	7	1	2	20	8	1	8	19	22
	Seco	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

cupação do solo, 75% das observações situam-se entre as granulometrias grossa e média.

As correlações e relações de dependência expressa através da TABELA 26 são não significantes à exceção da correlação parcial entre litologia e pluviosidade (0,28). Em outras palavras, podemos afirmar que as litologia, granulometria e tipo de ocupação de solo são independentes entre si, enquanto que: pluviosidade e área de bacia são linearmente independentes. Existe uma relação linear entre litologia e pluviosidade a qual não foi considerada devido a pouca discriminação e contraste geoquímico produzido pela pluviosidade nos elementos químicos acima referidos. Deve-se, também mencionar que os índices de pluviosidade foram obtidos de dados não atualizados, escalas inadequadas e médias de medidas não contínuas que geram grandes distorções(*).

Assim, mesmo pressupondo a independência entre litologia, granulometria e tipo de ocupação do solo, foram construídas as TABELAS 27 e 28 onde são apresentadas as estatísticas descritivas básicas dos dez elementos químicos considerados. Em ambos os casos, as medidas utilizadas levam em consideração as interações litologia-granulometria e litologia-tipo de ocupação de solo, as quais, como já foi apontado na TABELA 26 são não significantes. Entretanto, para os elementos La e B as variações provocadas por estes fatores de campo nas litologias mencionadas foram expressivas, enquanto que nos demais elementos as variações foram meramente casuais. A litologia Metabásica do São Roque (MB) apresenta uma alta dispersão dos teores em ambos os fatores.

As correlações lineares entre os elementos químicos utilizados (TABELA 29) evidenciam a pouca relação do Mg, La e B com os demais elementos, enquanto que o Fe apresenta valores elevados de correlação entre Ti, Mn, Co, Cu e Zr.

A TABELA 30 apresenta os resultados das análises de covariância de cada elemento químico em função dos fatores de campo (litologia, tipo de ocupação de solo e granulometria) e das variáveis (Fe, Mn e área de bacia). Os modelos adotados foram significantes a 1% para todos os

* A relação teor-pluviosidade possui um valor essencialmente metodológico, pois os mapas pluviométricos foram feitos em épocas não obrigatoriamente coincidentes com a amostragem geoquímica, nem tampouco considerou-se os períodos do ano (chuvoso, seco e úmido). Em relação à área de bacia essa variável foi medida em mapas topográficos e não a partir de fotos-aéreas.

TABELA 26 - CORRELAÇÃO ENTRE OS FATORES E VARIÁVEIS DE CAMPO SELECIONADOS; OS VALORES ENVOLVIDOS PELA LINHA TRACEJADA SÃO DE CORRELAÇÕES LINEARES, OS ENVOLVIDOS PELA LINHA CONTÍNUA SÃO VALORES DA ESTATÍSTICA PHI E OS DEMAIS SÃO CORRELAÇÕES PARCIAIS.

	PLUVIOSIDADE	ÁREA DA BACIA	LITOLOGIA	TIPO DE OCUPAÇÃO	GRANULOMETRIA
Pluviosidade	1				
Área da Bacia	0,10	1			
Litologia	0,28	0,04	1		
Ocupação do solo	0,01	0,004	0,33	1	
Granulometria	0,01	0,007	0,35	0,17	1

TABELA 27- ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E GRANULOMETRIA,

		AREIA GROSSA									
LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	1	1	1	1	1	11	1	1	1	1
	$\bar{X}$	1,3	0,1	0,4	210	200	4	19	8	7	390
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FI	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	$\bar{X}$	3,5	0,2	0,7	1403	232	16	36	30	145	746
	S	3	0,2	0,5	2217	175	18	27	44	186	727
GN	N	227	227	227	227	227	227	227	227	227	227
	$\bar{X}$	4,1	0,2	1,3	782	84	10	41	20	446	1757
	S	3,2	0,2	1,4	651	125	7	28	13	592	1902
GR	N	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
	$\bar{X}$	4,9	0,3	1,4	972	61	10	35	19	311	2463
	S	4,0	0,2	1,7	995	85	15	54	19	452	2507
HG	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	$\bar{X}$	8,3	0,3	2,7	1356	16	16	41	28	300	3870
	S	5,0	0,2	2,4	741	8,2	10	17	17	182	2731
MB	N	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
	$\bar{X}$	2,7	0,2	0,6	553	232	7	42	16	350	900
	S	2,5	0,2	0,8	1064	203	8	26	20	443	1333
MD	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	$\bar{X}$	8,5	0,2	2,2	1268	36	15	21	20	584	4622
	S	4,9	0,7	2,0	651	24	4	6	6	274	2229
MG	N	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
	$\bar{X}$	5,2	0,4	1,3	949	25	11	45	27	514	2557
	S	4,0	0,3	1,4	797	25	6	28	19	648	2553
XS	N	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	$\bar{X}$	3,3	0,2	0,8	760	68	9	34	20	487	861
	S	1,8	0,2	0,5	382	64	6	22	14	431	727

Código das unidades litológicas:

DD = Sedimentos

MG = Migmatitos

FI = Filitos (São Roque)

MD = Metadioritos

GN = Gnaisses

XS = Xistos

GR = Granitos

N = Número de observações

MB = Rochas Metabásicas(São Roque)

 $\bar{X}$ = Média aritmética

HG = Charnockitos

S = Desvio padrão

continua

TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E GRANULOMETRIA.

Continuação

AREIA MÉDIA

LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	$\bar{X}$	1,9	0,2	0,4	400	67	7	45	8	138	1207
	S	0,3	0,2	0,1	104	80	5	44	2	42	613
FI	N	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
	$\bar{X}$	2,7	0,2	0,7	664	244	11	37	22	100	744
	S	1,9	0,1	0,4	460	160	10	26	25	207	1251
GN	N	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
	$\bar{X}$	3,8	0,3	0,9	707	91	10	44	22	466	1450
	S	2,4	0,6	0,9	697	141	7	29	14	518	1733
GR	N	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
	$\bar{X}$	5,6	0,3	1,6	1135	62	12	50	23	329	3253
	S	3,9	0,3	1,4	1098	112	14	104	21	642	2770
HG	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	$\bar{X}$	7,3	0,2	2,3	1476	24	16	51	36	316	4282
	S	4,3	0,1	2,1	1549	21	16	27	23	170	2895
MB	N	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
	$\bar{X}$	3,2	0,2	0,5	597	286	9	40	29	111	561
	S	3,3	0,1	0,4	495	244	12	33	56	195	583
MD	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	$\bar{X}$	4,1	0,1	1,1	913	70	8	24	16	573	3567
	S	1,4	0,0	0,2	301	53	2	1	3	280	3419
MG	N	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
	$\bar{X}$	4,3	0,3	1,0	818	22	10	50	21	587	2288
	S	3,0	0,2	1,1	874	26	7	30	11	661	2249
XS	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	$\bar{X}$	3,0	0,1	0,7	788	74	8	30	19	330	624
	S	1,5	0,1	0,3	546	82	5	20	11	274	341

Continua

TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E GRANULOMETRIA,

Continuação

		AREIA FINA									
LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	X	1,3	0,1	0,4	262	137	5	19	8	110	835
	S	0,4	0,1	0,1	149	88	4	7	4	127	650
FI	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	X	2,5	0,2	0,6	839	274	11	41	22	91	504
	S	1,5	0,1	0,3	1019	170	13	33	27	117	380
GN	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	X	3,6	0,3	0,6	704	40	11	49	20	485	1072
	S	2,5	0,2	0,3	662	43	8	29	18	973	1008
GR	N	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	X	4,2	0,2	1,0	665	64	10	47	20	283	2493
	S	3,2	0,1	0,9	449	113	11	107	23	279	2457
HG	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	X	6,0	0,2	1,4	1023	22	13	51	42	294	2585
	S	4,9	0,1	1,6	761	22	11	36	54	129	2018
MB	N	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	X	4,2	0,2	0,8	1022	231	14	49	34	206	878
	S	3,8	0,2	0,8	1152	194	13	36	32	588	1538
MD	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MG	N	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	X	3,4	0,3	0,8	552	16	9	45	19	398	1602
	S	2,0	0,2	0,5	301	13	5	25	9	448	1554
XS	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	X	6,3	0,3	0,5	1650	23	29	53	50	180	570
	S	2,4	0,1	0,1	778	10	7	2	31	49	71

Continua

TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E GRANULOMETRIA.

Continuação

SEDIMENTO ARGILOSO											
LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FI	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	X	3,3	0,3	0,5	542	282	11	64	29	22	450
	S	2,0	0,2	0,2	399	214	8	36	24	24	398
GN	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	X	3,6	0,2	0,7	381	25	7	56	21	254	867
	S	1,6	0,2	0,2	198	18	5	29	15	136	528
GR	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	X	4,5	0,2	0,6	582	222	7	43	24	128	1333
	S	4,0	0,1	0,3	496	350	8	24	17	91	1152
HG	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	X	8,5	0,2	1,3	1132	183	38	86	127	57	315
	S	5,3	0,1	1,0	556	162	26	38	95	81	212
MD	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	X	15,0	0,1	2,2	1500	48	22	25	26	500	7500
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MG	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	X	4,7	0,2	0,6	692	16	10	38	23	201	1001
	S	4,5	0,2	0,4	703	11	12	14	14	97	1035
XS	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	X	3,0	0,2	0,5	383	64	7	30	21	200	573
	S	1,1	0,1	0,1	136	25	3	20	15	26	358

TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E TIPO DE OCUPAÇÃO DE SOLO,

		ÁREA CULTIVADA									
LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FI	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	X	2	0,2	0,3	1032	150	10	28	19	15	617
	S	1,9	0,1	0,1	1581	89	12	13	15	15	789
GN	N	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	X	4,3	0,3	1,3	741	56	11	46	23	445	1774
	S	3,1	0,8	1,4	427	55	7	31	14	438	1739
GR	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	X	4,2	0,2	1,1	847	70	9	36	19	283	1977
	S	3,3	0,2	1,3	1102	118	8	27	20	415	2396
HG	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	X	6,1	0,3	1,9	1121	23	13	43	30	286	2337
	S	5,0	0,2	2,5	1007	23	11	22	21	138	2338
MB	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	X	2,4	0,2	0,5	568	325	6	35	13	247	887
	S	2,3	0,2	0,6	640	279	6	20	10	438	1325
MD	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	X	9,8	0,3	1,9	1275	42	18	18	23	670	5000
	S	7,3	0,	1,4	742	30	8	2	10	269	3536
MG	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	X	4,2	0,3	1	759	19	11	46,5	26	532	2110
	S	3,1	0,2	1	510	16,7	7,6	26,6	17	625	1942
XS	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	X	3,5	0,2	0,8	792	61	8	32	21	475	714
	S	2,3	0,3	0,5	365	57	6	25	16	313	252

Código das unidades litológicas:

DD = Sedimentos

FI = Filitos (São Roque)

GN = Gnaisses

GR = Granitos

MB = Rochas Metabásicas (São Roque)

HG = Charnockitos

MG = Migmatitos

MD = Metadioritos

XS = Xistos

N = Número de observações

X = Média aritmética

S = Desvio padrão

continua

TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO.

Continuação

		ÁREA NÃO CULTIVADA									
LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	$\bar{X}$	1,1	0,1	0,4	200	203	4	20	6	71	463
	S	0,3	0,0	0,0	95	75	1	6	2	111	172
FI	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	$\bar{X}$	2,9	0,2	0,7	565	242	12	43	27	59	504
	S	2,1	0,1	0,5	405	167	12	29	31	95	340
GN	N	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
	$\bar{X}$	4,0	0,2	1,0	747	88	10	42	21	459	1567
	S	2,9	0,2	1,2	765	138	8	27	15	715	1852
GR	N	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212
	$\bar{X}$	5,0	0,3	1,4	974	55	12	53	21	359	2663
	S	4,0	0,3	1,5	1051	97	18	115	20	629	2539
HG	N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
	$\bar{X}$	7,5	0,3	2,0	1410	19	17	54	43	285	3934
	S	4,8	0,1	1,9	1371	16	16	35	45	142	2635
MB	N	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	$\bar{X}$	2,2	0,2	0,5	459	211	6	36	13	261	882
	S	1,8	0,2	0,8	777	189	6	24	17	407	1434
MD	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	$\bar{X}$	8,0	0,2	2,1	1212	51	13	24	19	548	4333
	S	5,4	0,0	2	649	36	5,6	5,2	5,5	264	2529
MG	N	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119
	$\bar{X}$	4,1	0,3	0,9	738	21	10	47	22	572	2227
	S	2,8	0,2	0,9	769	25	6	27	11	676	2237
XS	N	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	$\bar{X}$	3,5	0,2	0,7	844	72	11	35	22	407	774
	S	1,6	0,1	0,4	550	72	7	20	15	370	595

Continua

TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR LITOLOGIA E TIPO DE OCUPACAO DE SOLO.

Continuação

		M A T A									
LITOLOGIA		Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
DD	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	$\bar{X}$	1,6	0,2	0,4	386	59	7	33	8	110	1084
	S	0,5	0,2	0,1	128	60	5	36	2	65	629
FI	N	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	$\bar{X}$	2,9	0,2	0,6	867	273	12	41	25	94	644
	S	2,0	0,2	0,4	1151	191	12	28	29	176	1019
GN	N	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
	$\bar{X}$	3,5	0,3	0,8	696	74	9	46	19	451	1361
	S	2,3	0,2	0,9	518	121	6	30	12	455	1494
GR	N	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
	$\bar{X}$	5,5	0,3	1,5	1018	79	10	30	20	247	3319
	S	3,8	0,3	1,4	704	144	7	25	16	244	2708
HG	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	$\bar{X}$	7,4	0,3	2,9	1268	33	12	44	26	329	4756
	S	4,8	0,1	2,3	618	23	6	14	17	164	2826
MB	N	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
	$\bar{X}$	4,9	0,2	0,8	921	258	16	55	49	175	566
	S	4,5	0,2	0,7	1027	220	16	38	68	436	748
MD	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	$\bar{X}$	6,4	0,0	1,7	1100	19	12	17,5	19	605	5400
	S	1,3	0,0	0,0	0,0	5,6	1,4	3,5	1	332	2970
MG	N	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	$\bar{X}$	4,5	0,4	1,1	857	22	10	42	20	331	1730
	S	3,7	0,2	1,6	929	25	7	24	12	320	1987
XS	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	$\bar{X}$	2,5	0,1	0,7	604	68	7	29	16	427	859
	S	0,9	0,1	0,4	197	71	4	19	10	502	934

Continua

TABELA 29 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS ELEMENTOS QUÍMICOS (N = 1650 AMOSTRAS).

	Fe	Mg	Ti	Mn	B	Co	Cr	Cu	La	Zr
Fe	1,0									
Mg	0,27	1,0								
Ti	0,77	0,14	1,0							
Mn	0,67	0,20	0,70	1,0						
B	-0,16	-0,06	-0,17	-0,06	1,0					
Co	0,67	0,34	0,48	0,55	-0,04	1,0				
Cr	0,37	0,29	0,25	0,22	-0,02	0,63	1,0			
Cu	0,56	0,14	0,34	0,43	0,02	0,63	0,43	1,0		
La	0,11	0,04	0,17	0,11	-0,13	0,06	0,08	0,01	1,0	
Zr	0,57	0,11	0,65	0,47	-0,24	0,22	0,06	0,11	0,28	1,0

TABELA 30 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COVARIÂNCIA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM FUNÇÃO DOS FATORES DE CAMPO: LITOLOGIA, TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO E GRANULOMETRIA DA COVARIÁVEL Fe, Mn E ÁREA DE BACIA.

FATORES ELEMENTO	i	SIGNIFICÂNCIA DO MODELO	Fe g.l. = 1	Mn g.l. = 1	BACIA g.l. = 1	LITOLOGIA g.l. = 9	TIPO DE OCUPA- ÇÃO DO SOLO g.l. = 3	GRANULOMETRIA g.l. = 4
Co	19	84,67 (***)	1460,92 (***)	56,36 (***)	1,58 n.s.	7,15 (***)	2,43 (**)	4,52 (***)
Cu	19	55,66 (***)	849,85 (***)	12,47 (***)	0,08 n.s.	13,97 (***)	2,31 (*)	15,62 (***)
B	19	35,81 (***)	60,61 (***)	8,06 (**)	7,55 (*)	66,16 (***)	1,01 n.s.	1,43 n.s.
Ti	14	12,32 (***)	-	-	11,40 (***)	15,32 (***)	-	5,80 (***)
Cr	14	1,56 (*)	-	-	0,51 n.s.	1,03 n.s.	-	3,01 (**)
Zr	14	29,15 (***)	-	-	47,27 (***)	37,52 (***)	-	5,80 (***)
La	17	8,11 (***)	-	-	25,49 (***)	10,41 (***)	2,31 (*)	2,95 (**)
Fe	17	9,38 (***)	-	-	1,80 n.s.	14,60 (***)	4,57 (***)	3,15 (***)
Mn	17	3,98 (***)	-	-	5,38 (**)	5,45 (***)	2,37 (*)	1,55 n.s.
Mg	17	3,04 (***)	-	-	0,24 n.s.	4,02 (***)	3,55 (**)	1,14 n.s.

() = valor de F observado
g.l. = graus de liberdade
n.s. = não significante

* = significante a 10%
** = significante a 5%
*** = significante a 1%

elementos químicos, embora para o Cr o modelo seja significativo a 10%. Todos os elementos são influenciados pela litologia, à exceção do Cr, onde apenas o fator granulometria é significativo.

Para os elementos Fe e Mn destacam-se a influência dos fatores área da bacia e litologia para o Mn, enquanto que no Fe atuam de maneira significativa a litologia, tipo de ocupação do solo e granulometria. Em relação aos elementos com vinculação clástica Ti, Zr e La (exceto Cr), os fatores ambientais área de bacia e granulometria são bastante expressivos no modelo.

Os resultados do teste Duncan são apresentados na FIGURA 9 para o fator granulometria e na FIGURA 10 para o fator tipo de ocupação de solo. Podemos observar que para os elementos Fe, Mg, Ti e Mn para ambos os fatores inexistem as diferenças entre as médias das categorias nos fatores granulometria e tipo de ocupação do solo. O fator granulometria, apesar de ser significativa na maioria dos modelos, não atua como um fator que possa servir de critério de seleção, enquanto que o fator tipo de ocupação do solo é mais eficiente em termos discriminatórios para os elementos B, Co, Cr, Cu e La.

As comparações entre médias através do Teste de Duncan podem levar a resultados que escapam ao senso comum, quando o número de observações em cada categoria (célula) são desiguais. Consideremos, por exemplo, quatro categorias de granulometrias A, B, C e D, com médias na seguinte ordem: $A > B > C > D$. Caso A e D tenham duas observações, e B e C possuam 10 000 observações, a diferença entre B e C pode ser significativa, enquanto a diferença entre A e D não é significativa. Nos casos onde o número de observações torna-se bastante desigual, pode-se recorrer aos intervalos de confiança que mostram o grau de incerteza nas comparações entre as médias, podendo assim inferir sobre o significado prático e estatístico dos grupos.

Em relação a Análise de Componentes Principais (ACP) das litologias, a FIGURA 11 mostra-nos a projeção das unidades litológicas e dos elementos químicos sobre o eixo da primeira componente (65,2% de variância explicada) e da segunda componente (12,8% de variância explicada).

O primeiro eixo da componente representa uma forte associação dos elementos: Fe, Cu, Ti, Zr, Mn, Co e Mg, enquanto no segundo eixo (12,8% de variância explicada) o La tem um papel preponderante.

Fe X	5,02 4	4,30 2	4,28 1	3,91 3	3,63 5
Mg X	0,27 2	0,25 1	0,24 3	0,22 4	0,19 5
Ti X	1,20 1	1,06 2	0,85 3	0,81 5	0,80 4
Mn X	845 2	836 1	759 3	657 4	460 5
B X N	147 68 4	113 616 2	102 322 3	96 641 1	33 3 5
Co X N	15 68 4	11 322 3	11 616 2	10 641 1	9 3 5
Cr X	74 5	58 4	47 3	45 2	39 1
Cu X N	45 68 4	24 322 3	24 616 2	20 641 1	12 3 5
La X	397 1	353 2	302 3	223 5	137 4
Zr X	1938 2	1858 1	1535 3	897 5	837 4

FIGURA 9 - TESTE DE COMPARACOES MÚLTIPLAS DE DUNCAN, SEGUNDO A INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA, SEMPRE QUE HOVER UMA BARRA UNINDO AS MÉDIAS, ELAS NÃO DIFEREM SIGNIFICANTEMENTE AO NÍVEL DE SIGNIFICANCIA DE 0,05.

Categorias

- 1 = Areia grossa
- 2 = Areia média
- 3 = Areia fina
- 4 = Sedimento argiloso
- 5 = Sedimento orgânico
- X = Média dos teores nas categorias

Número de Amostras

(641)
(616)
(322)
(68)
(3)

Todos os elementos estão em ppm, exceto Fe, Mg e Ti em porcentagem.

Fe X	4,44 3	4,24 4	4,20 2	4,04 1
Mg X	0,29 4	0,27 3	0,26 1	0,24 2
Ti X	1,09 2	1,07 1	1,04 3	0,90 4
Mn X	878 3	799 2	778 1	748 4
B X N	144 81 4	140 491 3	92 277 1	85 801 2
Co X N	13 81 4	12 491 3	10 801 2	9 277 1
Cr X	54 4	45 2	42 3	40 1
Cu X N	28 491 3	26 81 4	21 277 1	21 801 2
La X	405 2	379 1	267 3	234 4
Zr X	1922 2	1718 1	1646 3	1429 4

FIGURA 10 - TESTE DE COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS DE DUNCAN, SEGUNDO A INFLUÊNCIA DO TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO, SEMPRE QUE HOUVER UMA BARRA UNIFORME AO LONGO DAS MÉDIAS, ELAS NÃO DIFEREM SIGNIFICATIVAMENTE AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 0,05.

Categorias	Número de amostras
1 = área cultivada	(277)
2 = área não cultivada	(801)
3 = mata	(491)
4 = outros tipos	(81)
X = média dos teores nas respectivas categorias	

Todos os elementos estão em ppm, exceto Fe, Mg e Ti em porcentagem

FIGURA 11 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS SOBRE AS MEDIANAS DOS TEORES DAS LITOLOGIAS - PROJEÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E LITOLOGIAS SOBRE O EIXO DAS COMPONENTES 1 E 2 .

Por sua vez, o Cr aparece também com destaque no terceiro eixo (12,1% de variância explicada).

Em relação as unidades litológicas constatamos que o primeiro eixo ordena essas unidades segundo uma ordem cronológica de eventos, no topo temos as unidades mais jovens, seguindo-se as litologias provavelmente mais antigas. Pode ser observado a proximidade das litologias do Grupo São Roque (MB e FI) com os granitos de Itaquaquecetuba (GRIT) e Igaratã (GRIG), enquanto os charnockitos (HG) se colocam em oposição nesse plano, associando-se aos granitos da Folha de Monteiro Lobato (GRML), provavelmente vinculado a idades mais antigas.

O grupo intermediário nos mostra que os migmatitos e gnaisses se aproximam bastante em composição química, não havendo necessidade de individualizá-los segundo os complexos.

O primeiro eixo, segundo a associação dos elementos, deve representar uma característica ferrogmagnésiana e uma deficiência em Boro das unidades. Neste sentido, a sequência das litologias pode também ser entendida como um ordenamento segundo essa característica.

Por exemplo, os granitos da folha de Igaratã, seguido das litologias MB, FI e pelos granitos da folha de Itaquaquecetuba, representam um grupo com teores elevados em elementos ferromagnesianos e baixos em Boro (B). O grupo dos xistos, gnaisses, migmatitos e os granitos da folha de Piracaia e Camanducaia representam um grupo onde os teores situam-se numa faixa intermediária. Os granitos da Folha de Monteiro Lobato e os granulitos já apresentam uma correlação positiva com o B e uma deficiência em elementos ferromagnesianos.

4 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM

Os resultados indicam claramente que as variações significativas dos elementos-traços podem estar relacionadas aos parâmetros de amostragem. É importante salientar que esses resultados, embora tenham um caráter subjetivo, são consistentes com os controles conhecidos que atuam no comportamento dos elementos utiliza

dos. Das análises efetuadas neste capítulo do trabalho, podemos depreender que:

- A) Dentre as informações disponíveis, somente litologia, granulometria e o tipo de ocupação tem variação real e podem vir a influenciar os teores.
- B) Não existe interação evidente entre esses fatores (litologia, granulometria e ocupação do solo). A independência dos fatores apresenta uma certa vantagem no tratamento dos dados geoquímicos, pois não é necessário interagir todos esses parâmetros para compensar a sua interferência na concentração dos elementos traços.
- C) A variação do Cr é justificada somente pela granulometria, fato este que pode ser atribuído as condições de dispersão clástica que este elemento encontra-se normalmente associado.
- D) Nos elementos com vinculação clástica (Ti, Zr e La) os fatores área de bacia e granulometria são bastante expressivos nos modelos, o que demonstra a hipótese do controle de fatores ambientais no comportamento dos teores desses elementos.
- E) A variação do Mn pode ser creditada essencialmente aos fatores litologia e tipo de ocupação do solo, que podem desempenhar importante papel na precipitação dos óxidos de Mn.
- F) Os teores de Co, Cu, Fe estão vinculados aos fatores: litologia, granulometria e tipo de ocupação do solo. O modelo de covariância mostra também a participação dos óxidos Fe e Mn nos elementos Co, Cu e B, que indica uma ação importante na remobilização e concentração desses últimos.
- G) Os resultados fornecem um critério objetivo para monitorar a susceptibilidade dos elementos traços em relação aos fatores ambientes utilizados e avaliar qual o fator que deve ser futuramente empregado com maior ênfase em campanhas futuras.
- H) A incorporação dos parâmetros de campo (fatores e variáveis) podem auxiliar também como instrumento para caracterizar os ambientes favoráveis para concentração de determinados elementos-traços.

I) A litologia possui um papel de destaque na definição e estruturação dos teores, conforme ficou evidenciado através da Análise de Componentes Principais, onde os teores das medianas das litologias apresentaram uma disposição espacial e temporal nos diagramas das duas primeiras componentes.

É importante enfatizar que os resultados obtidos constituem apenas uma parte das possibilidades que as análises dos dados qualitativos (categóricos) podem gerar. Outras aplicações já foram apresentadas no início deste capítulo. Alguns usos podem ser estendidos no sentido de permitir avaliar a qualidade de uma campanha de amostragem geoquímica ou até mesmo se testar a validade da ficha de campo e das informações nela contida, eliminando-se ou acrescentando-se variáveis ou fatores de campo redundantes.

CAPÍTULO VII

ESTIMATIVA DE ANOMALIAS COM BASE NOS TIPOS LITOLÓGICOS

1 INTRODUÇÃO

No capítulo anterior ficou demonstrado o importante papel desempenhado pela variável litologia na estruturação dos dados geoquímicos regionais. Nesta etapa dos trabalhos, esses dados serão agrupados segundo os códigos litológicos estabelecidos no Capítulo III visando definir as anomalias mais significativas.

Em função das características da área em estudo, onde inexistem indícios de jazidas minerais metálicas aflorantes e os teores geoquímicos se apresentam com expressão complexa, e às vezes, com caráter errático na superfície, que dificulta a identificação dos padrões de dispersão é de fundamental importância a incorporação da litologia para auxiliar na análise e discriminação das feições mais destacáveis dos dados geoquímicos.

Apesar da existência na literatura concernente à geoquímica clássica, informações sobre o vínculo da dispersão dos elementos químicos com as características litológicas da área amostrada, são poucos os trabalhos em exploração geoquímica que buscam definir os alvos geoquímicos em função dessa variável.

2 MÉTODO UTILIZADO

A seleção de alvos através da individualização dos dados geoquímicos por litologia envolveu os seguintes passos (FIGURA 12): individualização dos dados por litologia, a análise estatística dos dados, estabelecimento de critérios para a definição das anomalias, a definição dos domínios geoquímicos, a análise da representação e distribuição espacial dos teores e a seleção de alvos.

Os passos aqui apresentados não possuem uma sequência rígida, pois são executados de maneira interativa que possibilita alterar o roteiro estabelecido segundo as necessidades do usuário.

No tratamento dos dados, foram incluídos os 21 elementos químicos analisados por espectrografia óptica que apresentaram os teores acima do limite inferior de detecção, a saber: Fe, Ca, Mg,

FIGURA 12 - METODOLOGIA UTILIZADA NA IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE ALVOS POR INTERMÉDIO DAS LITOLOGIAS.

Ti, Mn, B, Ba, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Y e Zr, que constituem o inventário geoquímico. Os elementos Fe, Ca, Mg e Ti tiveram seus resultados definidos em porcentagem, enquanto os demais em partes por milhão. Em alguns alvos foram realizadas coletas de um pequeno número de amostras abrangendo solo, sedimento de corrente e concentrados de bateia.

Em relação a metodologia, é importante salientar que antes da separação dos dados nos grupos litológicos foi realizado um tratamento estatístico global dos dados de sedimento de corrente para possibilitar uma avaliação e comparação dos teores nos diferentes grupos.

Os procedimentos utilizados para processamento e análise estatística dos dados foram realizados através da Biblioteca de Programação do Sistema de Tratamento de Dados Geoquímicos Regionais (QUINTANILHA & SUSLICK, 1982). Este sistema possibilita o cálculo automático e interativo das etapas e a manipulação de todas as informações. A FIGURA 13 apresenta os passos executados para o processamento dos dados.

2.1 Individualização dos Dados por Litologia

Para a separação dos dados por litologia utilizou-se o mesmo procedimento do capítulo anterior. Após a individualização dos dados, segundo essa nova classificação, foram gerados subarquivos acessíveis através de programas em linguagem Fortran IV e gerenciados através do sistema interativo CMS do computador IBM 4341. Esse sistema permite um controle dos arquivos manipulados por intermédio da impressão de tabelas e listagens contendo todas as informações constantes das fichas de campo e dos teores dos elementos.

Nesta tabulação, as informações de laboratório contêm os teores observados para cada elemento químico num total de 30 para cada unidade amostral. As informações de campo apresentam em cada subarquivo os mesmos dados que já foram mencionados no capítulo anterior, cujas conclusões foram aqui incorporadas.

Dentro deste processo de quantificar as informações dos grupos litológicos, o sistema fornece uma tabela, que se denomina sumário analítico, contendo para cada elemento químico nesses grupos as seguintes informações (TABELA 31).

- os limites inferior e superior de detecção;
- os números de amostras com teores acima e abaixo dos limites de detecção;

FIGURA 13 - PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.

TABELA 31 - EXEMPLO DO SUMÁRIO ANALÍTICO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS.

IVARS	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR	TOTAL DE AMOSTRAS	NO. DE AMOSTRAS ACIMA	NO. DE AMOSTRAS ABAIXO	NO. DE AMOSTRAS DETECTADAS	GRAU DE DETECCAO (%)
	G	*L*	*N*	*G*	*L*		
FE	10.	0.05	227	14	0	227	100.00
CA	10.	0.05	227	0	25	202	88.99
MG	10.	0.02	227	0	2	225	99.12
TI	5.	0.002	227	4	0	227	100.00
MN	5000.	10.	227	1	0	227	100.00
AG	5000.	0.50	227	0	227	0	0.00
B	5000.	10.	227	0	49	178	78.41
BA	5000.	15.	227	0	0	227	100.00
BE	5000.	1.	227	0	227	0	0.00
BI	5000.	100.	227	0	227	0	0.00
CD	5000.	20.	227	0	227	0	0.00
CO	5000.	2.	227	0	12	215	94.71
CR	5000.	5.	227	0	0	227	100.00
CUI	5000.	3.	227	0	1	226	99.56
GA	5000.	5.	227	0	2	225	99.12
LA	5000.	20.	227	0	3	224	98.68
LI	5000.	50.	227	0	227	0	0.00
MO	5000.	3.	227	0	82	145	63.88
NB	5000.	10.	227	0	0	227	100.00
NI	5000.	5.	227	0	1	226	99.56
PB	5000.	10.	227	0	32	195	85.90
SB	5000.	100.	227	0	227	0	0.00
SC	5000.	5.	227	0	31	196	86.34
SN	5000.	5.	227	0	227	0	0.00
SR	5000.	5.	227	0	0	227	100.00
V	5000.	5.	227	0	0	227	100.00
W	5000.	100.	227	0	227	0	0.00
Y	5000.	5.	227	0	0	227	100.00
ZN	5000.	200.	227	0	227	0	0.00
ZR	5000.	10.	227	27	0	227	100.00

- o total de amostras do subarquivo;
- o número de amostras detectadas, ou seja, o total de amostras menos o número de amostras abaixo do limite inferior de detecção;
- o grau de detecção em porcentagem, ou seja, a razão entre o número de amostras detectadas e o total de amostras analisadas multiplicado por 100.

Este tipo de contagem permite avaliar a dimensão dos subarquivos litológicos, principalmente em função do número de amostras que se situam acima do limite inferior de sensibilidade do método analítico, evitando assim o dispêndio com um tratamento computacional, no qual os dados geoquímicos não apresentam uma quantidade de valores significativos para uma análise estatística.

2.2 Análise Estatística dos Dados

Uma campanha de prospecção geoquímica multi-elementar é responsável pela geração de um grande volume de dados, onde se torna difícil a observação e interpretação dos mesmos sem a utilização de técnicas que resumam essas informações de forma prática e precisa. Neste contexto, inserem-se as técnicas de análise estatística univariada que são fundamentais no âmbito da geoquímica, independentemente do grau de sofisticação e dos objetivos finais das campanhas.

Dentro da sequência de etapas apresentadas na FIGURA 12 foram utilizados os programas que fornecem as estatísticas descritivas comumente encontradas na literatura geoquímica, tais como: medidas de tendência e dispersão, histogramas, curvas de probabilidade e testes de aderência. Para cada elemento químico foi constituída uma tabela contendo as estatísticas que possibilitam caracterizar a distribuição dos valores da variável (elemento químico) e resumir os resultados. A seguir, é apresentada a relação dos parâmetros estatísticos descritivos calculados:

- número de observações;
- valores extremos (teores e logaritmos decimais dos teores máximo e mínimo);
- amplitude dos teores e de seus logaritmos decimais;
- média aritmética dos teores e de seus logaritmos decimais;
- coeficiente de assimetria das distribuições dos teores de seus logaritmos decimais;
- coeficiente de curtose da distribuição dos teores e de seus logaritmos decimais;

- coeficiente de variação da distribuição dos teores e seus logaritmos decimais;
- estimativa da média geométrica populacional;
- estimativa do desvio geométrico populacional;
- estimativa da média aritmética populacional;
- estimativa do desvio-padrão populacional;
- estimativa do coeficiente de variação populacional;
- valores para seleção de possíveis anomalias;
 - . estimativa da média geométrica populacional x desvio geométrico
 - . estimativa da média geométrica populacional x desvio geométrico ao quadrado
 - . estimativa da média geométrica populacional x desvio geométrico ao cubo
 - . estimativa da média aritmética populacional + desvio-padrão
 - . estimativa da média aritmética populacional + dois desvios-padrão
 - . estimativa da média aritmética populacional + três desvios-padrão.

Conforme a sequência de procedimentos mencionados anteriormente para cada elemento químico analisado nas respectivas litologias foram construídos histogramas de frequência e de seus logaritmos decimais, a fim de se visualizar o comportamento da distribuição dos dados em intervalos de classe regulares. O número de intervalos de classe e o comprimento destes foram empiricamente determinados através da Fórmula de Sturges^(*) e a transformação logarítmica pode ser justificada pelo fato de que em geoquímica muitas das distribuições das variáveis comumente utilizadas têm um comportamento experimental bastante próximo da distribuição log-normal.

Nas estimativas populacionais é importante introduzir um fator de correção nos cálculos para evitar as distorções provocadas pelos valores extremos (KOCH et al., 1971). Neste sentido, foi in

* FÓRMULA DE STURGES: $\text{Intervalos} = 1 + 3,22 \log_{10}^n$, onde n = número de observações

corporado no programa a correção de Finney (AITCHISON & BROWN, 1963). Os estimadores populacionais, supondo lognormalidade fornecidos pelo programa, são os seguintes:

$$\text{Média geométrica (XG)} = e^{X_{\log} \cdot 2,30259}$$

$$\text{Desvio geométrico (DG)} = e^{S_{\log}^2 \cdot (2,30259)^2}$$

$$\text{Média aritmética (XMP)} = XG \cdot \psi(S_{\log}^2/2)$$

$$\text{Desvio-padrão (DMP)} = \sqrt{XG^2 \cdot \psi[2 - S_{\log}^2 \cdot (2,30259)^2] \psi[(N-2) \cdot S_{\log}^2 \cdot (2,30259)^2 / (N-1)]}$$

$$\text{Coeficiente de variação (CVP)} = \sqrt{e^{[S_{\log}^2 \cdot (2,30259)^2 - 1]}} \times 100$$

onde ψ é o parâmetro de função de Finney calculado iterativamente (até 90 iterações). Detalhes sobre o cálculo desse algoritmo podem ser encontrados em QUINTANILHA & SUSLICK (1982).

A partir da constatação de que os elementos-traços se distribuem de preferência seguindo a lei lognormal foram elaborados esses testes gráficos, utilizando papel de probabilidade, onde são lançados no eixo das abscissas as frequências acumuladas e no das ordenadas os teores no caso do teste da normalidade ou seus logaritmos (teste de lognormalidade). A rede de coordenadas é elaborada de tal maneira que se os dados seguirem a distribuição esperada, os pontos se distribuirão segundo uma reta.

Em muitos casos de amostragem geoquímica os pontos não se distribuem em linha reta, mas em curvas, interpretadas como resultado da intervenção de diferentes populações (TENNANT & WHITE, 1959). Existem diferentes métodos na literatura que possibilitam separar amostras derivadas das diversas populações (WILLIAMS, 1967; LEPELTIER, 1969; SINCLAIR, 1974, 1976; BRIDGES & McCAMMON, 1980).

O gráfico utilizado nesta etapa do trabalho é o diagrama de log-probabilidade, construído segundo o critério sugerido por LEPELTIER (1969) que desenha no gráfico pontos representativos de intervalos extraídos do histograma e interpreta sua distribuição como retas truncadas. Apesar do processo ser inexato no formalismo matemático em relação aos critérios dos demais autores, o de Lepeltier tem o mérito de trazer o teste para um determinado

nível de confiança e número de amostras, aproximando-o também das características dos dados geoquímicos.

Dentro da mesma seqüência de procedimentos para cada elemento analisado e os grupos litológicos foram efetuados os testes de aderência à normalidade e à log-normalidade através métodos não-paramétricos. O principal objetivo desses testes é saber se as hipóteses de que os teores observados seguem as leis de distribuição normal ou lognormal (ao menos nos níveis de confiança fixados), podem ser supostas como verdadeiras, a fim de que se possa garantir um menor enviezamento nas estimativas e uma maior confiabilidade nas previsões.

Dentre os inúmeros testes existentes na literatura, foram escolhidos os testes de aderência à normalidade e lognormalidade através das estatísticas de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado, utilizando-se para ambos os testes as mesmas classes de freqüência.

Os valores críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% e 1% são dados respectivamente por: $CVNT1 = 1,36/\sqrt{N}$ e $CVNT2 = 1,63/\sqrt{N}$ (se $N > 40$) e a estatística utilizada para o teste é:

$$D_N = \sup_{-\infty < X < \infty} |F_N(X) - F_0(X)| = \text{máxima diferença absoluta entre as freqüências relativas acumuladas observadas e esperadas, onde } F_N(X) = 1/N \text{ (N = número de observações } < X \text{)}.$$

A hipótese nula é rejeitada se $D_n > \text{valor crítico}$.

O teste de Qui-quadrado é feito nos níveis de significância de 1% e 5% e para os mínimos esperados de 1,5 e 5,0. A estatística para esse teste é dada por:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{j=1}^{INT} (Obs_j - Exp_j)^2}{Exp_j}$$

onde:

INT = número de classes de freqüência

Obs_j = freqüência observada na classe j

Exp_j = freqüência esperada na classe j = $(P(x_j) - P(x_{j-1})) * N$
com INT - 3 graus de liberdade

Os valores críticos do Qui-quadrado são dados no programa pelos vetores QUIUM e QUI05, até um máximo de 18 graus de liberdade. A hipótese testada é rejeitada se $X^2 >$ valor crítico.

Na análise estatística dos dados foi também incluído o cálculo do coeficiente de correlação linear. Para cada variável é construído um perfil das correlações desta com as demais, a fim de que se possa visualizar melhor a distribuição das correlações. A correlação pode ser calculada tanto entre as variáveis como pelos logaritmos das variáveis. Em função das características de dispersão dos dados geoquímicos das litologias foi utilizado no programa a segunda alternativa, ou seja, os dados foram submetidos a uma transformação logarítmica prévia antes do cálculo da correlação. O coeficiente utilizado foi o produto-momento de Pearson.

2.3 Análise Exploratória dos Dados

Em algumas situações na análise de dados geoquímicos, não é necessário um reconhecimento de toda a estrutura numérica, basta apenas identificar os pontos extremos que não pertencem à população e que poderiam representar prováveis anomalias. Uma forma simples de visualizar esses pontos extremos é através do Diagrama de Juntas(*)

Para a construção do Diagrama de Juntas são necessários os seguintes valores: o mediana, que é o valor que ocupa a posição central na série de observações, e os quartis ou juntas que são os valores que dividem a série dos dados em quatro partes iguais e os extremos que representam o menor e maior valores observados.

A FIGURA 14 ilustra o Diagrama de Juntas, utilizando-se dos dados de teores de Zn de uma campanha geoquímica regional. O retângulo central inclui a mediana e os valores entre as duas juntas (inferior e superior). A diferença entre duas juntas é definida como disjunta, com a abreviação "dj". O limite interno é definido pela soma da junta superior (JS) e uma vez e meia a disjunta (dj). Os valores que se encontram a mais de dj (disjunta) e até uma dj e meia são chamados pontos soltos, enquanto os pontos extremos são os valores que se situam acima desses limites.

* Designação para o termo em inglês "Box-Plot", sem relação com os diagramas da geologia estrutural.

FIGURA 14 - RELACAO ESTABELECIDA ENTRE O DIAGRAMA DE JUNTAS E OS PARAMETROS GEOQUÍMICOS.

A partir do retângulo para esquerda ou para direita é feita uma linha tracejada que continua até encontrar o valor adjacente. Este ponto é o valor observado que se situa imediatamente antes do limite interno. No caso dos dados geoquímicos a linha tracejada à esquerda se estende até o valor mínimo. Segundo TUKEY (1977), responsável pelo desenvolvimento dos métodos exploratórios, numa distribuição normal, a probabilidade de um ponto externo seria aproximadamente de 4/100 em cada lado e a ocorrência de um ponto solto 8/100 também em cada lado do diagrama.

O diagrama de juntas fornece uma boa quantidade de informações sobre o comportamento dos valores de Zn, tais como:

- a amplitude que é a diferença entre os extremos (135) é muito maior que a diferença das juntas (28) em cerca de cinco vezes;
- a mediana (42) está mais próxima da junta inferior (32) do que a junta superior (60).

Essas observações já indicam uma forte concentração nos teores baixos e um certo grupo de teores altos que poderiam ser indicadores de uma anomalia.

Em prospecção geoquímica os intervalos que interessam mais diretamente são aqueles situados à direita do diagrama para a definição de anomalias. Desse modo, poder-se-ia estabelecer uma analogia entre os pontos e limites do diagrama com os parâmetros geoquímicos usualmente empregados. Conforme mostra a FIGURA 2, o primeiro limiar ("threshold") corresponderia à Junta Superior (anomalia de 3ª ordem), o segundo limiar ao limite interno (anomalia de 2ª ordem e o terceiro limiar ao limite externo (anomalia 1ª ordem).

O programa que constrói o Diagrama de Juntas denomina-se ANAEX, foi modificado e adaptado para as peculiaridades dos dados geoquímicos a partir dos algoritmos propostos por VELLEMAN & HOAGLIN (1981). O computador fornece os resultados do Diagrama de Juntas para cada variável nos respectivos subgrupos conforme mostra a FIGURA 15 para os teores em migmatitos.

O programa produz também uma tabela com os percentis 90, 95, 97 e 99 para as variáveis. Aos percentis são atribuídos os seguintes pesos:

VARIÁVEL = B
 MIN = 3.00 JMIN = 11.00 MED = 15.00 MEDIA = 20.94 JSUP = 23.00 MAX = 170.00

VARIÁVEL = BA
 MIN = 53.00 JMIN = 525.00 MED = 800.00 MEDIA = 806.97 JSUP = 1100.00 MAX = 1900.00

VARIÁVEL = CO
 MIN = 1.00 JMIN = 5.00 MED = 9.00 MEDIA = 10.16 JSUP = 13.00 MAX = 43.00

VARIÁVEL = CR
 MIN = 7.00 JMIN = 29.00 MED = 43.50 MEDIA = 47.44 JSUP = 61.00 MAX = 230.00

VARIÁVEL = CU
 MIN = 1.00 JMIN = 13.00 MED = 20.00 MEDIA = 22.22 JSUP = 27.50 MAX = 66.00

FIGURA 15 - DIAGRAMA DE JUNTAS DAS VARIÁVEIS GERADO PELO COMPUTADOR.

PERCENTIL	PESO
90	1
95	2
97	3
99	4

Esses pesos são adicionados para cada amostra, obtendo-se um valor que fornece uma hierarquia dos conteúdos dos elementos-traços. Esse valor possibilita comparar amostras de diferentes litologias e/ou populações, pois os percentis colocam os teores dentro de uma mesma escala de variação (FIGURA 16).

O programa ANAEX fornece também uma listagem dos pontos soltos e externos e dos valores que se situam acima desses limites.

Estudos mais detalhados envolvendo a aplicação dos métodos exploratórios em prospecção geoquímica podem ser encontrados nos trabalhos de SUSLICK; QUINTANILHA; LEWIS (1984).

A análise exploratória serve também como ferramenta auxiliar na definição de critérios para "truncar" os dados de alguns subarquivos litológicos para a geração das anomalias.

2.4 Análise dos Dados "Truncados"

Com o objetivo de auxiliar a interpretação das informações e possibilitar obter uma melhor homogeneização de algumas populações dos subarquivos litológicos, os dados brutos dos referidos subarquivos foram tratados eliminando-se os valores considerados espúrios ("outliers"), isto é, aqueles valores que provocam distorções nos resultados estatísticos das populações originais. A partir destes dados foram recalculados os parâmetros estatísticos que serviram de base para a definição dos domínios geoquímicos.

Os critérios adotados para a eliminação destes valores nos cálculos foram os pontos externos da análise exploratória dos dados. Cumpre observar que os valores "outliers" somente foram eliminados com um artifício de cálculo dos parâmetros, permanecendo nos mapas geoquímicos dos elementos os valores reais.

Este novo grupo de dados, após a eliminação dos valores "outliers", foi denominado população de valores "truncados", a qual foi submetida, posteriormente, à análise estatística descritiva simplificada, quando então foram calculados os respectivos parâmetros.

LEGENDA : BRANCO < P90 * < P95 + < P97 ++ < P99 > +++																						
AMOSTRA	NOTA	FE	CA	MG	TI	MN	S	SA	CO	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PS	SC	SR	V	Y	ZR
7	11												+++				++	+			+	
8	5				*	*								+	+	++						
24	5	*			*	*							+									
40	4					*							*	=	*							
41	6	*			+	*							*		*							
57	29	+++			++	++			+++	*				*	++	+	+			++	++	
67	2						+															
75	6										*			+	*	+						
89	2											+										
100	4												+								+	
108	2												*								*	
109	5							+	++													
121	14												+++				++	+++			++	
123	15				+	*							+++				+++				+++	
124	5																	*			+	
127	7												+									
132	3						+								*							
139	9			+++									*					+			+	
143	16	+++							*	+++		+	*							++	*	
151	5										*			*		++				+	+	
156	7			+									*								+	
158	6												++								++	
174	2												*								*	
176	4								+				+									
198	10									+			+++			+				+		
199	6								*	*		*				*				+		
229	13										*	++		+		+++	*			+		
241	2										+											
242	4																+++					
243	33	+++			+++	+++			+		*		+		+++	+++	++	++		+	+	
255	39	+++			+++	+++	++		+++		*		++		+++	+++	++	+++		+	++	
256	13				*	+	+++							++	++							
271	2						+															
272	9					+	++								+			+				
285	2						+															
286	5		*					+										*	*			
300	2														*			*				
328	10	+++							++			+			*							
340	6				++	*									+							
354	14	*			++	+			+		*				++	*		*				
355	11	*		*						+	*	+++									+	
370	3			*													+					
373	21	+++			*	+	+		*		+++			++	+					+		
374	4												++								*	
380	22	+++	+		*			*	++	+++								+	*	+++		
386	21	+	+++					+++	++	++				+++					*			
397	4							*						*	*		*					
399	18		+++	++	*				*	+++						*		++	*			
400	26	+++	*		+++	+++		++			++	+			+++						*	
417	3	*																				

FIGURA 16 - SUMÁRIO DE AMOSTRAS CUJOS ELEMENTOS QUÍMICOS SITUAM-SE ACIMA DO PERCENTIL 90.

histogramas e diagramas de probabilidade.

Na população de dados "truncados", foi aplicada a técnica da análise exploratória ("box-plot"), cujos resultados, aliados às informações da análise estatística, selecionaram parâmetros mais representativos para a demarcação das anomalias e a separação dos domínios geoquímicos.

2.5 Definição dos Domínios Geoquímicos

Os domínios geoquímicos foram definidos especialmente para cada elemento químico onde a sua composição diferia dos valores médios, levando-se em consideração os seguintes critérios:

a) matemáticos - aqueles valores que estivessem compreendidos entre a média aritmética mais: uma vez o desvio-padrão, duas vezes o desvio-padrão, de acordo com os seguintes intervalos:

- Média + 1 Desvio-Padrão < valor <= média + 2 Desvio-Padrão
- Média + 2 Desvio-Padrão < valor <= média + 3 Desvio-Padrão
- valor > média + 3 Desvio-Padrão

O cálculo dos parâmetros que integram a base de definição dos domínios, isto é, a média e o desvio-padrão aritmético corrigidos para determinadas litologias, foi obtido a partir das populações dos dados truncados, conforme salientado no item anterior (2.4);

- b) gráficos - um outro critério que auxiliou a definição dos parâmetros dos domínios geoquímicos foram os gráficos de probabilidade (LEPELTIER, 1969). Os pontos de inflexão desses gráficos possibilitam determinar as regiões (valores) que limitam as diversas subpopulações dentro de cada grupo litológico;
- c) numéricos - para a definição de algumas anomalias e valores aberrantes ("outliers") foram utilizados os percentis 95, 97, 98 e 99 que permitem uma comparação com os outros critérios;
- d) estruturais - a análise da estrutura dos dados dos elementos químicos foi executada através do método de análise exploratória ("box-plot"), que permite, de modo rápido, delimitar os valores externos da distribuição ("outliers").

Em termos gerais, pode-se afirmar que nenhum dos quatro critérios pôde ser utilizado isoladamente na definição dos valores considerados anômalos. Como orientação para classificação das amostras foi utilizado o critério da média e o desvio-padrão. Paralelamente, na caracterização dos pontos anômalos, os limites foram confrontados com os demais critérios, visando maior credibilidade na definição das anomalias.

A recuperação dos pontos anômalos distribuídos nas litologias das folhas foi feita diretamente, a partir dos mapas 1:100 000 contendo os teores plotados, nos quais assinalaram-se áreas de influência. Posteriormente, as configurações obtidas por esse procedimento para todos os elementos tratados foram superpostas, tomando-se o cuidado de agrupar os elementos de comportamentos geoquímicos semelhantes, isto é, aqueles padrões de dispersão clástico (Nb, Sn, La, Y, Zr e Cr) e hidromórfico (Cu, Pb, Mo, Ni e Co), a fim de facilitar a interpretação das associações geoquímicas determinadas. Algumas dessas associações geoquímicas foram previamente correlacionadas com os dados de ocorrências minerais.

2.6 Distribuição Espacial dos Teores

Em prospecção geoquímica multi-elementos a cartografia representa um papel fundamental no processo de síntese da informação geoquímica. Este processo de síntese torna-se mais importante, na medida em que projetos desta natureza envolvam um grande número de mapas, para uma representação visual concisa e de fácil acesso.

Com o rápido avanço das técnicas analíticas e computacionais atuais e, do desenvolvimento de melhores e mais acessíveis equipamentos periféricos de entrada e saída (mesas digitalizadoras, etc), a produção e interpretação de mapas geoquímicos por computador, tornou-se prática comum, gerando aplicações ainda não plenamente avaliadas no campo da exploração mineral e demais áreas do conhecimento. Uma abordagem dos diversos tipos de representação cartográfica em prospecção geoquímica pode ser encontrada no trabalho de HOWARTH (1983); QUINTANILHA & SUSLICK (1985).

Para avaliar a distribuição espacial dos teores e auxiliar na seleção dos alvos geoquímicos, foi utilizado o utilitário SURFACE II (SAMPSON, 1976), que fornece um mapa dos isoteores dos diferentes elementos químicos. Este utilitário sofreu algumas alterações

em algumas sub-rotinas para proporcionar uma representação visual compatível com a demanda do processo de interpretação.

O traçado das curvas neste sistema pressupõe a criação de uma malha, cujos nós são calculados através de diferentes critérios. Neste trabalho foi constituída uma malha quadrada com 39 colunas e 34 linhas, medindo 2 km de lado. Os nós da malha foram estimados a partir dos seis pontos próximos com raio de vizinhança máximo próximo a 5,2 km, utilizando-se o critério do inverso do quadrado da distância.

Neste trabalho foram utilizados outros tipos de mapas, cujos programas foram desenvolvidos pelo Agrupamento de Recursos Minerais da DMGA-IPT, para o Programa Geoquímica Regional (PRÓ-MINÉRIO, 1985), adaptados às peculiaridades dos dados geoquímicos e ao sistema utilizado. Para efeito de interpretação e visualização dos dados, foram gerados no computador três tipos de mapas na escala 1:50 000, mapa de localização das estações amostrais, mapas denominados geoquímicos e mapas dos códigos litológicos.

Os mapas de localização das estações amostrais apresentam os pontos de coleta de amostras em suas coordenadas originais (em UTM) e o número da amostra coletada no local; os mapas geoquímicos foram feitos para cada elemento químico, apresentando o teor do elemento naquele ponto, à semelhança do mapa de localização das estações amostrais.

Os mapas com os códigos litológicos utilizam-se dos mesmos procedimentos citados anteriormente, onde os pontos de coleta apresentam-se com os respectivos códigos. Na confecção dos três mapas foram utilizadas rotinas "CALCOMP" em programas com linguagem "FORTRAN IV".

Em função dos objetivos desse trabalho e do enorme volume de mapas produzidos serão apresentados somente os mapas de isoteores, pois os demais mapas foram utilizados como instrumentos auxiliares na síntese e interpretação da representação espacial dos domínios geoquímicos.

2.7 Seleção de Alvos

A partir da integração das informações da geologia das ocorrências minerais, dos domínios geoquímicos e da cartografia dos teores foram selecionados alguns alvos para reamostragens:

A avaliação dos alvos foi acompanhada também de trabalhos de campo realizados no âmbito do Programa Geoquímica Regional (IPT, 1984) e orientados de acordo com as peculiaridades de cada alvo, estabelecendo-se um conjunto de controles relativos aos diversos tipos de anomalias.

Nas províncias clásticas tipo Sn, La, Nb, Y e Ba efetuou-se o reconhecimento geológico através de amostragens de cascalhos de corrente e concentração em bateia.

Com relação aos elementos ligados à dispersão hidromórfica, representados principalmente pelo Cu, Pb, Ni e Co, efetuou-se, além do reconhecimento geológico das anomalias, amostragens de sedimentos ativos de corrente e amostras de solo nas margens das drenagens.

As associações litológicas típicas, como Ca, Sr, Mg e Ba, foram muitas vezes verificadas através de perfis e/ou croquis geológico-geoquímicos, com o objetivo de avaliar o grau de correlação entre essas associações e a natureza das litologias da província.

A metodologia analítica nessa nova amostragem já foi discutida no capítulo IV (item 2).

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tendo em vista o volume de informações e o número expressivo de tabelas e gráficos gerados pelo sistema, apresentaremos somente os resultados mais relevantes utilizados na seleção dos alvos geoquímicos de acordo com a metodologia proposta no item anterior.

3.1 Análise Estatística

O sumário analítico que quantifica os resultados analíticos em função dos limites de detecção dos elementos químicos, nos mostra que os elementos Ag, Bi, Cd, Li, Sb, W e Zn não atingiram valores acima do limite inferior de detecção e o Be apareceu em apenas 5 amostras, sendo 4 nos Gnaisses (GN) e 1 amostra no Granitos (GR) com teor pouco acima do limite. Desta forma estes 9 elementos foram descartados, restando 21 a serem submetidos ao tratamento e interpretação.

Os 21 elementos considerados apresentam grau de detecção superior a 70%, com exceção do Mo, em torno de 50-60%, na maior

parte das unidades litológicas, o que os torna bastante aceitáveis no tocante ao tratamento dos dados geoquímicos. Os elementos Fe, T, Zr e, com menor incidência, Mn, apresentam teores acima da faixa de detecção, com maior destaque nos granitos, onde se tem 39 amostras de Fe acima do limite (10%) , 13 de Ti (5%), 4 de Mn (5000 ppm) e 80 amostras de Zr (5000 ppm).

No sumário estatístico apresentado nas TABELAS 32 a 39 têm-se os parâmetros estatísticos das unidades litológicas: Rochas Metabásicas São Roque (MB SR), Filitos do São Roque (FISR) Granitos (GR), Gnaisses (GN), Migmatitos (MG), Charnockitos (HGAJ), Xistos (XS) além do total de amostras. No ANEXO C encontram-se os resultados dos testes de aderência a distribuição normal e lognormal e as estimativas do número de populações presentes nas unidades litológicas e no total de amostras segundo os critérios de LEPELTIER (1969), histogramas e os resultados da análise exploratória de dados definidos no item anterior. As correlações entre os elementos químicos de cada grupo de dados encontram-se também no ANEXO C. As principais características observadas a partir destes resultados são resumidas a seguir.

Os elementos Ca, B, La, Mo e Zr apresentam em todas as unidades coeficientes de variação maiores que 100%, salientando-se o B nos granitos com 193% e o La nas rochas metabásicas do São Roque com 470%. Dentro de cada tipo litológico destacam-se ainda os elementos: Co, Cu e Ni na unidade FISR, com coeficiente de variação entre 100% e 160%; Mn, Co, Cu, Nb, Ni, Sc e Y na unidade MBSR com valores entre 100% e 186%; Mg, Ti, Mn, Co, Cr, Nb, Sc, Y e Zr na unidade GR na faixa de 100-200% e Co, Nb e Zr nos gnaisses (GN) com valores de coeficientes de variação compreendidos entre 100-150%.

A variação das médias dos elementos químicos entre as diferentes litologias já foi abordado no capítulo VI, mas é importante ressaltar que os granitos e gnaisses apresentam os teores médios mais elevados para os clásticos principalmente La, Y e Zr, o B e o Ga na unidade MBSR e o Sr aparece com destaque nos granitos (GR), migmatitos (MG) e charnockitos (HG), esta última litologia apresenta também teores elevados para Nb, Mo e Sc.

Nos coeficientes de correlação do total (N=1650) de amostras e das diversas unidades litológicas evidencia-se as altas correlações do Fe e Mn com a maioria dos elementos químicos, fruto da atuação dos óxidos de Fe e Mn nos demais elementos através dos fenômenos de alteração superficial.

TABELA 32 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS NA UNIDADE DAS ROCHAS METABÁSICAS S.ROQUE (MBSR),

* S U M A R I O D A S E S T I M A T I V A S *						
*NOME DA * VALORES * VALORES * MEDIAS * DESVIO *COEFICIENTE* NUMERO DE						
VARIÁVEL MAXIMOS * MINIMOS * * PADRAO *DE VARIAÇÃO* AMOSTRAS						
* FE *	15.00*	0.54*	3.40*	3.01*	88.96*	298*
* CA *	1.70*	0.02*	0.13*	0.19*	145.98*	298*
* MG *	1.40*	0.01*	0.20*	0.18*	87.90*	298*
* TI *	7.50*	0.09*	0.66*	0.54*	82.57*	298*
* MN *	7500.00*	50.00*	686.98*	792.82*	116.37*	298*
* B *	1900.00*	3.00*	282.19*	373.97*	133.94*	298*
* RA *	1400.00*	39.00*	364.56*	286.22*	78.83*	298*
* CO *	100.00*	1.00*	11.64*	21.27*	186.19*	298*
* CR *	200.00*	2.00*	47.25*	43.82*	93.25*	298*
* CU *	460.00*	1.00*	30.06*	57.60*	195.47*	298*
* GA *	40.00*	2.00*	14.11*	11.57*	82.33*	298*
* LA *	4000.00*	7.00*	278.00*	1229.32*	470.28*	298*
* MO *	22.00*	1.00*	2.56*	2.59*	101.95*	298*
* NR *	370.00*	3.00*	25.14*	30.07*	120.67*	298*
* NI *	150.00*	2.00*	24.11*	27.10*	113.28*	298*
* PB *	130.00*	3.00*	10.60*	12.49*	118.86*	298*
* SC *	95.00*	2.00*	13.69*	22.48*	166.76*	298*
* SR *	330.00*	12.00*	53.90*	36.81*	68.50*	298*
* V *	400.00*	6.00*	84.23*	66.80*	79.63*	298*
* Y *	1000.00*	2.00*	69.62*	94.44*	137.16*	298*
* ZR *	7500.00*	110.00*	649.35*	611.37*	94.69*	298*

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

TABELA 33 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS NA UNIDADE DOS FILITOS DE S.ROQUE (FISR).

* SUMARIO DAS ESTIMATIVAS *							

*NOME DA *	VALORES *	VALORES *	MEDIAS *	DESVIO *	COEFICIENTE*	NUMERO DE *	
VARIÁVEL	MAXIMOS *	MINIMOS *		PADRAO *	DE VARIAÇÃO*	AMOSTRAS *	

* FE *	9.40*	0.57*	2.83*	1.83*	65.31*		93*
* CA *	1.10*	0.02*	0.18*	0.27*	161.36*		93*
* MG *	1.10*	0.04*	0.22*	0.15*	67.45*		93*
* TI *	2.20*	0.16*	0.61*	0.33*	54.94*		93*
* MN *	7500.00*	120.00*	726.33*	634.81*	68.78*		93*
* B *	900.00*	21.00*	270.57*	234.37*	87.96*		93*
* RA *	1200.00*	74.00*	482.68*	275.86*	57.54*		93*
* CO *	54.00*	1.00*	12.34*	16.11*	134.98*		93*
* CR *	160.00*	8.00*	42.51*	32.88*	78.32*		93*
* CU *	150.00*	1.00*	23.30*	25.67*	112.91*		93*
* GA *	29.00*	2.00*	13.99*	10.04*	72.53*		93*
* LA *	1200.00*	7.00*	90.38*	239.16*	293.45*		93*
* MO *	8.00*	1.00*	2.01*	1.66*	83.84*		93*
* NB *	100.00*	3.00*	21.80*	20.93*	97.78*		93*
* NI *	68.00*	2.00*	19.81*	24.19*	125.73*		93*
* PB *	54.00*	3.00*	10.98*	10.48*	97.15*		93*
* SC *	50.00*	2.00*	12.43*	14.71*	121.65*		93*
* SR *	170.00*	24.00*	65.03*	33.32*	51.52*		93*
* V *	240.00*	11.00*	83.77*	53.78*	64.75*		93*
* Y *	320.00*	2.00*	36.56*	42.44*	119.22*		93*
* ZR *	7500.00*	120.00*	561.86*	444.63*	80.17*		93*

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

TABELA 34 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS DOS GRANITOS (GR).

***** S U M A R I O D A S E S T I M A T I V A S *****							
* NOME DA VARIÁVEL *	* VALORES MAXIMOS *	* VALORES MINIMOS *	* MEDIAS *	* DESVIO PADRAO *	* COEFICIENTE DE VARIACAO *	* NUMERO DE AMOSTRAS *	
* FE *	15.00*	0.27*	5.09*	4.39*	86.46*	417*	
* CA *	1.80*	0.02*	0.30*	0.47*	157.93*	417*	
* MG *	2.50*	0.01*	0.29*	0.30*	104.95*	417*	
* TI *	7.50*	0.12*	1.35*	1.43*	106.45*	417*	
* MN *	7500.00*	40.00*	978.20*	1005.62*	103.30*	417*	
* S *	900.00*	3.00*	62.95*	120.04*	193.39*	417*	
* BA *	2900.00*	64.00*	830.99*	619.39*	74.73*	417*	
* CO *	170.00*	1.00*	11.34*	14.93*	132.64*	417*	
* CR *	960.00*	2.00*	40.25*	44.50*	111.16*	417*	
* CU *	190.00*	1.00*	21.58*	23.46*	109.30*	417*	
* GA *	44.00*	2.00*	19.63*	11.74*	59.90*	417*	
* LA *	7500.00*	7.00*	438.88*	1239.28*	289.54*	417*	
* MO *	37.00*	1.00*	5.24*	7.42*	142.81*	417*	
* NB *	470.00*	3.00*	75.65*	101.10*	134.69*	417*	
* NI *	350.00*	2.00*	23.50*	19.52*	33.35*	417*	
* PB *	110.00*	3.00*	24.05*	30.96*	120.64*	417*	
* SC *	130.00*	2.00*	16.13*	20.39*	127.31*	417*	
* SR *	570.00*	2.00*	114.97*	81.89*	71.40*	417*	
* V *	580.00*	14.00*	93.19*	55.24*	59.38*	417*	
* Y *	1000.00*	2.00*	78.36*	97.09*	124.74*	417*	
* ZR *	7500.00*	170.00*	2911.81*	4348.93*	150.76*	417*	

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

TABELA 35 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS DOS GNAISSES (GN).

S U M A R I O D A S E S T I M A T I V A S						
*NOME DA * VARIÁVEL*	VALORES MAXIMOS	VALORES MINIMOS	MEDIAS	DESVIO PADRAO	*COEFICIENTE* DE VARIACAO*	NUMERO DE AMOSTRAS
* FE *	15.00*	0.39*	3.96*	2.76*	69.73*	434*
* CA *	1.30*	0.02*	0.15*	0.18*	121.73*	434*
* MG *	7.40*	0.01*	0.24*	0.21*	37.33*	434*
* TI *	7.50*	0.19*	0.99*	0.82*	82.92*	434*
* AN *	7500.00*	62.00*	732.57*	555.98*	76.23*	434*
* B *	1000.00*	3.00*	75.49*	117.13*	156.66*	434*
* BA *	3150.00*	57.00*	668.98*	509.52*	76.36*	434*
* CO *	70.00*	1.00*	10.77*	11.33*	105.73*	434*
* CR *	200.00*	2.00*	44.98*	35.09*	78.22*	434*
* CU *	120.00*	1.00*	22.03*	19.46*	88.66*	434*
* SA *	37.00*	2.00*	18.14*	11.56*	63.84*	434*
* LA *	7500.00*	7.00*	491.94*	705.35*	144.59*	434*
* MC *	22.00*	1.00*	3.73*	4.23*	114.01*	434*
* NB *	230.00*	3.00*	44.09*	44.69*	101.81*	434*
* NI *	76.00*	2.00*	21.32*	16.04*	75.42*	434*
* PB *	150.00*	3.00*	21.92*	28.37*	130.34*	434*
* SC *	150.00*	2.00*	12.96*	12.40*	96.03*	434*
* SR *	330.00*	21.00*	94.24*	54.43*	57.85*	434*
* V *	510.00*	7.00*	87.59*	52.23*	59.73*	434*
* Y *	2600.00*	2.00*	76.40*	72.68*	95.50*	434*
* ZR *	7500.00*	180.00*	1472.42*	1584.66*	108.16*	434*

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS GBTICAS
 SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

TABELA 36 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS DOS MIGMATITOS (MG).

***** * SUMARIO DAS ESTIMATIVAS *						

*NOME DA *	VALORES *	VALORES *	MEDIAS *	DESVIO *	*COEFICIENTE*	NUMERO DE *
VARIÁVEL	MAXIMOS	MINIMOS		* PADRAO	*DE VARIAÇÃO*	AMOSTRAS

* FE	* 15.00*	1.10*	4.23*	2.70*	64.09*	240*
* CA	* 1.20*	0.02*	0.23*	0.29*	128.81*	240*
* MG	* 1.10*	0.01*	0.33*	0.29*	88.07*	240*
* TI	* 7.50*	0.17*	0.97*	0.74*	77.02*	240*
* MV	* 7500.00*	160.00*	738.60*	507.26*	68.94*	240*
* B	* 170.00*	3.00*	21.39*	25.05*	118.35*	240*
* BA	* 1900.00*	53.00*	835.66*	553.90*	66.52*	240*
* CO	* 43.00*	1.00*	10.59*	8.60*	81.70*	240*
* CR	* 230.00*	7.00*	47.74*	29.14*	61.23*	240*
* CJ	* 86.00*	1.00*	22.61*	15.27*	67.76*	240*
* GA	* 34.00*	2.00*	18.76*	7.47*	39.36*	240*
* LA	* 4600.00*	7.00*	504.66*	569.80*	114.03*	240*
* MJ	* 25.00*	1.00*	4.85*	5.65*	117.71*	240*
* NB	* 410.00*	11.00*	50.22*	37.29*	74.60*	240*
* NI	* 72.00*	2.00*	24.76*	13.32*	53.92*	240*
* PB	* 110.00*	3.00*	26.17*	26.82*	103.34*	240*
* SC	* 65.00*	2.00*	16.00*	15.45*	97.26*	240*
* SR	* 320.00*	17.00*	114.96*	67.84*	59.18*	240*
* V	* 260.00*	20.00*	90.75*	42.43*	46.84*	240*
* Y	* 880.00*	6.00*	85.41*	81.26*	95.82*	240*
* ZR	* 7500.00*	170.00*	2075.64*	2308.89*	112.31*	240*

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS).

TABELA 37 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS DOS CHARNOCKITOS (HGAJ).

* SUMARIO DAS ESTIMATIVAS *							

* NOME DA	* VALORES	* VALORES	* MEDIAS	* DESVIO	* COEFICIENTE*	NUMERO DE	*
* VARIÁVEL*	* MAXIMOS	* MINIMOS	*	* PADRAO	* DE VARIAÇÃO*	AMOSTRAS	*

* FE	* 15.00*	* 1.40*	* 7.17*	* 5.52*	* 78.50*		59*
* CA	* 1.00*	* 0.02*	* 0.30*	* 0.27*	* 92.39*		59*
* MG	* 0.80*	* 0.10*	* 0.27*	* 0.13*	* 46.88*		59*
* TI	* 7.50*	* 0.34*	* 2.02*	* 2.05*	* 104.79*		59*
* MN	* 7500.00*	* 190.00*	* 1262.81*	* 999.32*	* 80.75*		59*
* B	* 100.00*	* 3.00*	* 22.76*	* 24.27*	* 110.48*		59*
* RA	* 2200.00*	* 280.00*	* 989.10*	* 486.75*	* 49.60*		59*
* CO	* 77.00*	* 1.00*	* 15.67*	* 15.75*	* 103.75*		59*
* CR	* 180.00*	* 15.00*	* 48.87*	* 26.86*	* 55.52*		59*
* CU	* 210.00*	* 7.00*	* 35.03*	* 26.87*	* 78.18*		59*
* GA	* 42.00*	* 9.00*	* 23.65*	* 8.76*	* 37.22*		59*
* IA	* 840.00*	* 90.00*	* 305.16*	* 165.03*	* 54.60*		59*
* MJ	* 77.00*	* 1.00*	* 9.13*	* 12.66*	* 146.90*		59*
* NB	* 480.00*	* 3.00*	* 134.73*	* 165.40*	* 128.57*		59*
* NI	* 66.00*	* 10.00*	* 29.86*	* 14.92*	* 50.37*		59*
* PR	* 49.00*	* 3.00*	* 25.59*	* 20.94*	* 83.60*		59*
* SC	* 55.00*	* 2.00*	* 22.39*	* 16.42*	* 74.62*		59*
* SR	* 260.00*	* 44.00*	* 110.23*	* 46.42*	* 42.36*		59*
* V	* 310.00*	* 50.00*	* 109.19*	* 44.71*	* 41.18*		59*
* Y	* 230.00*	* 10.00*	* 79.34*	* 53.08*	* 67.88*		59*
* ZR	* 7500.00*	* 410.00*	* 3781.41*	* 4037.74*	* 110.66*		59*

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

TABELA 38 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS DOS XISTOS (XSIP).

***** * S U M A R I O D A S E S T I M A T I V A S * *****							
* NOME DA *	* VALORES *	* VALORES *	* MEDIAS *	* DESVIO *	* COEFICIENTE *	* NUMERO DE *	
* VARIÁVEL *	* MAXIMOS *	* MINIMOS *		* PADRAO *	* DE VARIACAO *	* AMOSTRAS *	

* FE	* 9.90*	* 0.94*	* 3.25*	* 1.71*	* 52.96*		86*
* CA	* 3.10*	* 0.02*	* 0.12*	* 0.13*	* 104.71*		86*
* MG	* 1.50*	* 0.05*	* 0.20*	* 0.15*	* 72.05*		86*
* TI	* 2.70*	* 0.29*	* 0.73*	* 0.39*	* 53.22*		86*
* MV	* 2900.00*	* 240.00*	* 766.65*	* 388.91*	* 51.03*		86*
* B	* 300.00*	* 3.00*	* 69.40*	* 75.47*	* 111.56*		86*
* RA	* 1900.00*	* 160.00*	* 586.38*	* 307.10*	* 52.70*		86*
* CO	* 34.00*	* 1.00*	* 9.80*	* 8.20*	* 85.01*		86*
* CR	* 110.00*	* 7.00*	* 33.25*	* 21.21*	* 64.38*		86*
* CU	* 72.00*	* 1.00*	* 22.13*	* 21.19*	* 97.69*		86*
* GA	* 32.00*	* 2.00*	* 16.19*	* 8.17*	* 50.79*		86*
* LA	* 2300.00*	* 48.00*	* 425.12*	* 370.97*	* 88.74*		86*
* WJ	* 7.00*	* 1.00*	* 1.73*	* 1.25*	* 73.44*		86*
* NB	* 80.00*	* 3.00*	* 27.64*	* 16.49*	* 60.14*		86*
* NI	* 49.00*	* 2.00*	* 17.79*	* 13.08*	* 74.39*		86*
* PB	* 87.00*	* 3.00*	* 20.89*	* 25.89*	* 128.01*		86*
* SC	* 26.00*	* 2.00*	* 10.06*	* 9.05*	* 91.58*		86*
* SR	* 310.00*	* 19.00*	* 86.11*	* 46.80*	* 54.71*		86*
* V	* 180.00*	* 13.00*	* 69.87*	* 39.60*	* 57.09*		86*
* Y	* 600.00*	* 2.00*	* 70.76*	* 74.12*	* 107.27*		86*
* ZR	* 4400.00*	* 180.00*	* 751.87*	* 424.78*	* 56.91*		86*

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS
SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

TABELA 39 - SUMÁRIO DAS ESTIMATIVAS DO TOTAL DE AMOSTRAS.

* S U M A R I O D A S E S T I M A T I V A S *							
* NOME DA *	VALORES *	VALORES *	MEDIAS *	DESVIO *	COEFICIENTE*	NUMERO DE *	
* V A R I A V E L *	M A X I M O S *	M I N I M O S *		P A D R A O *	D E V A R I A C A O *	A M O S T R A S *	
* FE *	15.00*	0.27*	4.20*	3.37*	80.32*	1650*	
* CA *	3.10*	0.02*	0.20*	0.30*	147.03*	1650*	
* MG *	7.40*	0.01*	0.26*	0.23*	91.27*	1650*	
* TI *	7.50*	0.09*	1.01*	0.93*	92.09*	1650*	
* MN *	7500.00*	40.00*	810.00*	745.99*	92.19*	1650*	
* B *	1900.00*	3.00*	113.11*	265.74*	236.08*	1650*	
* BA *	3200.00*	37.00*	689.67*	577.78*	83.85*	1650*	
* CG *	170.00*	1.00*	11.36*	14.20*	125.18*	1650*	
* CR *	960.00*	2.00*	43.98*	38.50*	87.63*	1650*	
* CU *	460.00*	1.00*	23.88*	26.71*	112.00*	1650*	
* GA *	44.00*	2.00*	17.86*	11.80*	66.10*	1650*	
* LA *	7500.00*	7.00*	505.03*	1490.86*	297.19*	1650*	
* MD *	77.00*	1.00*	3.95*	4.95*	125.45*	1650*	
* NB *	480.00*	3.00*	50.17*	63.72*	127.25*	1650*	
* NI *	350.00*	2.00*	23.03*	19.73*	85.74*	1650*	
* PB *	150.00*	3.00*	20.54*	27.10*	132.18*	1650*	
* SC *	150.00*	2.00*	14.62*	17.65*	120.93*	1650*	
* SR *	370.00*	2.00*	94.58*	67.52*	71.43*	1650*	
* V *	580.00*	6.00*	89.02*	55.61*	62.49*	1650*	
* Y *	2600.00*	2.00*	75.73*	88.24*	116.70*	1650*	
* ZR *	7500.00*	110.00*	1729.50*	2415.12*	139.94*	1650*	

MEDIA E DESVIO PADRAO AQUI REPRESENTADOS SAO BASEADOS EM ESTIMATIVAS OBTIDAS SUPONDO-SE DISTRIBUICAO LOGNORMAL (AJUSTADA A PARTIR DOS DADOS BRUTOS)

Nos charnockitos, granitos, migmatitos e gnaisses existe uma predominância de correlações altas para as associações litológicas do tipo: Ba-Sr, Ca-Mg, etc., enquanto nas litologias do São Roque (MBSR e FISR) e xistos ocorre um ligeiro predomínio para as altas correlações entre a família dos hidromórficos: Cu-Co, Cu-Ni, Ni-Co, etc. O elemento B aparece com correlações expressivas somente nos xistos, talvez devido a presença dos pegmatitos nesta unidade.

Nos migmatitos e granitos ocorre uma alta correlação entre os elementos clásticos La-Y e Nb-Y, nesta última litologia o Cr apresenta baixas correlações com a maioria dos elementos, devido provavelmente a suas características de elemento litófilo com predominância de teores altos nas rochas ultramáficas.

Embora para a maioria dos elementos químicos os histogramas dos logarítmos se aproximam bastante da forma da distribuição normal (log), as hipóteses testadas foram aceitas somente para alguns elementos; destacando-se: o Cu para os filitos (FI), gnaisses (GN) e xistos (XS), o B nas unidades litológicas do São Roque e nos granitos somente para o Ba foi aceita a hipótese de lognormalidade.

Na maior parte dos tipos litológicos, o número de populações não ultrapassou a três, ficando a média em torno de duas populações para a maior parte dos elementos. Essas estimativas devem ser consideradas em função do ambiente geoquímico, pois conforme ressaltado no item 2.2 essas populações se apresentam embricadas e o "poder" do método de Lepeltier torna-se limitado para diagnosticar o seu número com a devida precisão.

3.2 Cartografia Geoquímica

Os mapas da distribuição dos 21 elementos químicos sobre a região estudada encontrou-se nas FIGURAS 17 a 37. Num primeiro exame global dos mapas de isoteores observa-se uma grande diversidade de domínios geoquímicos responsáveis por importantes variações escala regional. Um fator importante que contribui para os contrastes geoquímicos é a litologia que assinala os limites norte e sul da área estudada.

Fig.17-MAPA DE ISOTEORES DO FERRO (Fe)

LEGENDA

Valores em porcentagem (%)

0.5
Curva de isovalores
NÍVEL DE REF: 0,1
EQUIDISTÂNCIA: 0,2

0 4 8 12 16 km
ESCALA APROXIMADA

Fig. 18 - MAPA DE ISOTEORES DO CÁLCIO (Ca).

LEGENDA

Valores em porcentagem (%)

0.3
Curva de isovalores
NÍVEL DE REF: 0,3
EQUIDISTÂNCIA: 0,3

0 4 8 12 16 km
ESCALA APROXIMADA

Fig. 19 - MAPA DE ISOTEORES DO
MAGNÉSIO (Mg)

LEGENDA

Valores em porcentagem (%)

0.5 Curva de isovalores
NIVEL DE REF : 0,5
EQUIDISTANCIA : 1,0

0 4 8 12 16 km
ESCALA APROXIMADA

Fig.20 -MAPA DE ISOTEORES DO
TITÂNIO (Ti)

Fig.21-MAPA DE ISOTEORES DO
MANGANÊS (Mn)

LEGENDA

Valores em ppm

50.0 Curva de isovalores
NIVEL DE REFERENCIA: 50
EQUIDISTANCIA : 150

0 4 8 12 16 km
ESCALA APROXIMADA

Fig.22-MAPA DE ISOTEORES DO BORO (B)

Fig.23-MAPA DE ISOTEORES DO
BÁRIO (Ba)

LEGENDA

Valores em ppm

Curva de isovalores
NIVEL DE REF : 5
EQUIDISTANCIA : 10

0 4 8 12 16 km
ESCALA APROXIMADA

Fig. 24 MAPA DE ISOTEORES DO COBALTO (Co)

Fig. 26 MAPA DE ISOTEORES DO
COBRE (Cu)

Fig. 27 MAPA DE ISOTEORES DO
GÁLIO (Ga)

LEGENDA

Valores em ppm

100 Curva de isovalores
NÍVEL DE REFERENCIA: 100
EQUIDISTANCIA: 500

0 4 8 12 16km
ESCALA APROXIMADA

Fig.28 MAPA DE ISOTEORES DO LANTÂNIO (La)

Fig. 29 MAPA DE ISOTEORES DO MOLIBDÊNIO (Mo)

Fig.30 MAPA DE ISOTEORES DO
NIÓBIO (Nb)

LEGENDA

Valores em ppm

15.0 Curva de isovalores
NÍVEL DE REF : 15
EQUIDISTÂNCIA : 15

0 4 8 12 16 km
ESCALA APROXIMADA

Fig.31-MAPA DE ISOTEORES DO
NÍQUEL(Ni)

Fig.33 MAPA DE ISOTÉORES DO
ESCÂNDIO (Sc)

Fig.35 -MAPA DE ISOTEORES DO
VANÁDIO (V)

Fig. 37 MAPA DE ISOTEORES DO ZIRCÔNIO (Zr)

É importante ressaltar que algumas feições que caracterizam um domínio geoquímico não se restringem a um único elemento, mas sim a uma associação. Neste sentido, a distribuição de um teor de um elemento químico é caracterizado não somente pelas variações dos níveis médios de concentração, mas também pela homogeneidade de seus valores. Esses dois parâmetros - homogeneidade e nível médio de concentração - constituem os elementos fundamentais que definem o "relevo geoquímico" expresso nos mapas geoquímicos.

Dentro desse enfoque, esses mapas constituem um instrumento auxiliar para delinear os domínios, onde os contornos constituem figuras traçadas matematicamente pelo computador, que não se restringem às bacias de drenagem, que demandam uma interpretação à luz dos dados geoquímicos e geológicos.

As características para cada elemento são descritas a seguir:

Ferro (Fe)

Na parte sul da área as curvas de 9,0% do Fe demarcam os limites dos filitos do Grupo São Roque (FISR), onde ocorrem intercalações de vulcânicas ultramáficas e tufos básicos. Nesta região nota-se a presença de ocorrências de bauxita e de Mn (FIGURA 4). Comportamento semelhante observa-se com o mesmo patamar a noroeste de Piracaia em relação aos gnaisses e monzonitos, respectivamente das unidades GNIP e MDIP. Associam-se localmente anomalias de Mn, Ti, Co, Mo, Nb, Ni, V e Zr nas referidas unidades.

Na parte nordeste os teores de Fe e Sr apresentam com um "trend" coincidente com a direção da Falha de Jundiuvira e a zona de catáclase. Nessa mesma região em direção a leste envolve as rochas migmatíticas e charnockíticas respectivamente das unidades MGIA e HGAJ.

De forma geral, na região nordeste as tendências de Ca são bastante semelhantes às de Fe, predominando nos migmatitos, a norte da Falha de Jundiuvira na região de São Francisco Xavier com muitos pontos considerados "outliers" segundo os critérios da análise exploratória. Em relação a paisagem geoquímica para Fe e o Ca, observa-se que este último não demarca as unidades do

do São Roque (MBSR e FISR) mais ao sul da área, e nem tampouco a apresenta um domínio com anomalias expressivas.

Na parte leste da área nos limites entre os xistos e gnais ses aparecem algumas anomalias associadas ao Mg com teores de 1,3%, mas constituem pontos isolados sem configurar um domínio geoquímico.

Magnésio (Mg)

A distribuição dos teores de magnésio guarda uma certa se melhança com o "trend" do Ca, mas possui um caráter mais pon tual. Os teores estão mais presentes nas rochas do Maciço Alkali no da Ponte Nova e nos charnockitos com valores atingido 3,7%. E xistem alguns pontos anômalos nas demais litologias, mas cons tituem um padrão isolado.

Titânio (Ti)

Na parte noroeste da área, as curvas se alinham segundo a Falha de Jundiuvira e na zona de cataclase, aparecendo com algum destaque nos granitos equigranulares a duas micas. A leste da mesma região o Ti envolve principalmente os migmatitos da unidade MGIA. As anomalias de Ti freqüente-mente estão associadas aos elementos Nb, Mo, Zr, Fe e Mn. Na região de Piracaia as anomalias de Ti se concentram preferencialmente nos gnaisses da unidade GNIP, podendo refletir litotipos com filiação básica inseridos nessa u nidade. Nessa região podemos salientar a presença de ano malias de Ni, Cr, V, Ga, Nb, Sc e Zr.

Na porção central, observa-se alguns teores pontuais segundo um "trend" NE-SW anteriormente mencionado que sugere uma associação com a zona de Falha Monteiro Lobato-Jaguarí.

Manganês (Mn)

A tendência geral dos teores na região próxima a Mon teiro Lobato se apresenta com orientação NE, que coincide com as ocorrências de Mn cadastradas por OLIVEIRA et

al.(1983) , embora não apresentem uma correspondência nítida com as anomalias geoquímicas pontuais (FIGURA 21). Em contrapartida na região sul da área, nas proximidades de Nazaré Paulista (Arujá), as curvas coincidem nitidamente com as ocorrências de Mn e as rochas metabásicas do São Roque.

Na região de Piracaia os teores de Mn se associam aos gnaiss da unidade GNIP de modo análogo ao Ti.

Na região noroeste os teores de Mn alinham-se também segundo "trend" NE-SW próximo a falha São Bento com os teores concentrando-se nos gnaisses da unidade GNIP.

Boro (B)

As maiores concentrações desse elemento situam-se na parte central da área, com anomalias importantes nos contatos entre os metassedimentos do Grupo São Roque e as rochas da Suíte Quartzo-Monzonítica de Imbiruçu. Em direção a região de Piracaia destacam-se alguns valores acima de 200 ppm, nos xistos da unidade XSIP, refletindo possivelmente zonas de hidrotermalismo mais intenso na região.

É importante ressaltar que no canto norte da folha os teores de B acima do nível de referência da curva de 50 ppm praticamente não estão representados.

Os teores de B apresentam algumas anomalias pontuais ao longo das falhas que pode evidenciar algum vínculo dessas zonas de catáclase com a atividade hidrotermal (ou pegmatítica).

Bário (Ba)

O Ba assinala alguns granitóides, principalmente na parte sul da área, na região de Piracaia e na Suíte Granitóide Imbiruçu. Nessa região as anomalias de Ba se associam ao Pb, Sr, Sc, Zr e La que atingirem também as rochas gnáissicas.

Cobalto (Co)

Na região nordeste da área (Monteiro Lobato) as maiores concentrações estão relacionadas a rochas alcalinas e graníticas (GR) e charnockíticas (HGAJ), associam-se ao Co nessa região os elementos: Fe, Cu, Ni, V e Sc.

Na região sul (Itaberaba e Nazaré Paulista) pode-se observar que as curvas demarcam nitidamente os limites das rochas metabásicas da unidade FISR do São Roque, que coincidem com as ocorrências de pirita e ouro, onde o IPT vem desenvolvendo trabalhos de exploração mineral para ouro e metais básicos.

Cromo (Cr)

O mapa obedece o mesmo padrão de distribuição do Cobalto, embora apareçam com maior destaque concentrações mais pontuais em virtude das características específicas de dispersão residual desse elemento.

De modo análogo ao Co, na região nordeste de Monteiro Lobato os teores de Cr estão relacionados às rochas charnockíticas (HGAJ) e as rochas alcalinas e graníticas (GR). Nessa área estão associados espacialmente ao Cr e Co os seguintes elementos: Fe, Cu, Ni e Sc. Em direção a leste, os teores de Cr predominam nos migmatitos da unidade MGIA, associando-se com o Co e V.

Na parte central da área o Cr aparece com destaque nos domínios dos granitos (GR) e nos contatos com rochas metassedimentares e metabásicas do Grupo São Roque (MBSR).

Os limites do Grupo São Roque na parte sul da área são muito bem delineados pela curva de nível de 40 ppm. De maneira inversa ao Co, o mapa de Cr não faz distinção entre os filitos (FISR) e as rochas metabásicas do Grupo São Roque. Isto mostra que o Co é um elemento que apresenta grande compatibilidade espacial com os metassedimentos dessa unidade.

Cobre (Cu)

Na região sul que abrange as localidades de Nazaré Paulista e Itaberaba, os teores de Cu comportando-se de maneira análoga ao Cr, com concentrações na faixa de 30 a 70 ppm. Na delimitação espa

cial das unidades o cobre obedece o mesmo padrão do Cr não distinguindo as unidades FISR e MBSR do Grupo São Roque.

Na região nordeste as maiores anomalias situam-se nos charnockitos da unidade HGAJ e nos contatos com os granitos que ocorrem associados espacialmente ao Fe e Mn.

Gálio (Ga)

Os domínios de Ga se distribuem em todas as litologias sem um padrão definido, embora existam alguns "trends" locais principalmente na parte sul da área que coincidem com as ocorrências de bauxita e na parte norte-noroeste nos migmatitos da unidade MGAJ. Nessa última região as anomalias estão associadas, em termos de distribuição espacial aos elementos Fe, Mn, Cu, Ni, Pb e Sc.

Na região central observa-se que os teores estão associados principalmente no contato entre os granitos e as rochas metabásicas da unidade MBSR que coincidem com o "trend" NE da bauxitização proposto por SUSZCZYNSKI (1978).

Lantânio (La)

Os teores de lantânio e Ítrio apresentam a mesma expressão espacial em termos de relevo geoquímico, embora o coeficiente de correlação linear entre ambos ($r = 0,62$) não seja elevado.

Na parte norte as maiores concentrações estão situadas nos contatos entre as unidades MBSR e MGIA ao longo da folha de São Bento do Sapucaí, enquanto na porção mais leste as anomalias e os respectivos "trends" situam-se próximos as bordas dos corpos graníticos nas imediações da cidade de Monteiro Lobato.

Molibdênio (Mo)

O "trend" para esse elemento na parte sul identifica as litologias do São Roque, que estão relacionadas as ocorrências de Au e metais básicos em ambientes vulcano-sedimentares.

A noroeste da cidade Monteiro Lobato as anomalias encontram-se principalmente próximas à Falha de Jundiuvira, em rochas charnockíticas (HGAJ) e migmatíticas (MGAJ), e não aparecem com destaque nos granitos. Na região a noroeste de Piracaia as anomalias de Mo situam-se nos gnaisses da unidade GNIP, associando-se espacialmente com os elementos Fe, Ni, V, Sc e Zr.

Niôbio (Nb)

As anomalias de niôbio estão intimamente associadas à zona de falhamento de Jundiuvira e as rochas charnockíticas (HGAJ) e migmatíticas (MGIA) e a Folha de São Bento do Sapucaí na porção norte da área. Pode-se observar que nas proximidades da Falha de Jundiuvira na sua porção norte, os granitos não se mostraram muito susceptíveis ao niôbio, talvez devido as características desses teores no sedimento de corrente e a topografia acidentada que interfere na dispersão do elemento. De uma maneira geral, associam-se espacialmente ao niôbio nessa área, o Mo, Ti e o Fe.

A oeste de Piracaia aparece um "trend" que coincide com o corpo de metadiorito e abrange também o contato com os gnaisses (GNIP) e os xistos (XSIP).

Níquel (Ni)

O relevo geoquímico do níquel é análogo ao cobalto, com exceção da região central que aparece com destaque na unidade MBSR e nos gnaisses (GNIA). Além do cobalto, os domínios do níquel se assemelham Cr, Cu, V e Sc.

Chumbo (Pb)

Em função de suas características geoquímicas baixa mobilidade e de ocorrência restrita em função da adsorção de óxidos de Mn e Fe, o chumbo apresentou uma distribuição espacial muito pontual.

Na parte norte os maiores teores situam-se nas proximidades da Falha de Jundiuvira, nos granitos e nos corpos charnockíticos, associando-se espacialmente aos elementos Nb, La, Y e em alguns pontos ao Fe.

A sudoeste de Piracaia tem-se algumas concentrações importantes junto ao contato dos granitos (GR) com os gnaisses da unidade (GNIP).

Escândio (Sc)

O mapa de isoteores de escândio assinala a região das litologias do São Roque, onde se situam as ocorrências de Au e metais base. Em função dos trabalhos desenvolvidos pelo IPT e da resposta dos diversos elementos-traços, pode-se delinear um "trend" espacial para um ambiente vulcano-sedimentar.

A sudoeste de Piracaia tem-se algumas concentrações que inci

dem em rochas xistosas da unidade (XSIP) e gnáissicas da unidade (GNIP).

Estrôncio (Sr)

Na parte central próxima a Nazarê Paulista as anomalias de Sr apresentam um padrão bem definido nos granitos (GR) e subordinadamente nos gnaisses da unidade (GNIP). Nas proximidades de Monteiro Lobato a faixa de teores de 160 ppm delimita muito bem a borda dos granitos, associando-se especialmente com o Ba e o Ca, e localmente com o Fe e Mn.

Vanádio (V)

Na parte sul da área, o relevo geoquímico do vanádio abrangeu os filitos da unidade (FISR) e os granitos (GR), talvez em associação com efeitos de bauxitização que atingiu também os granitos, associando-se com os óxidos de Fe e Mn.

Na parte central tem-se algumas anomalias no domínio das unidades MBSR, sugerindo a presença de termos básicos inseridos nessas seqüências.

Na parte norte da área, os mapas mostram a relação desses teores com as rochas alcalinas, as rochas charnockíticas (HGAJ) e em algumas porções dos migmatíticos da unidade MGIA.

Zircônio (Zr)

O zircônio, na porção norte da área, acompanha o traçado da Falha de Jundiunvira, com destaque nos corpos granitoides (GR) e nos gnaisses da unidade GNAJ. Esse elemento está vinculado à dispersão clástica onde o relevo possui um papel preponderante na sua mobilidade, o que justifica o destaque no mapa de isoteores na região norte, pois a topografia é extremamente acidentada. As anomalias pontuais estão associadas principalmente ao Fe e Ti.

A oeste de Piracaia os teores de Zr estão relacionados aos gnaisses da unidade GNIP e os metadioritos (MDIP), onde se vinculam anomalias de La, Sr e Sc.

Cumprе salientar também que nas litologias da parte sul do S. Roque o Zr não realçou nenhuma das referidas unidades.

3.3 Domínios Geoquímicos e a Seleção de Alvos

Segundo a metodologia definida no item 2.7, foram selecionados as áreas de interesse num total de 11, resultantes da sobreposição

dos domínios geoquímicos de diferentes elementos químicos.

A seguir serão apresentados os alvos selecionados, incluindo seus principais elementos anômalos, associações com ocorrências minerais e as respectivas litologias predominantes. A localização dos alvos encontra-se no mapa da FIGURA 38 onde os limites foram ajustados para células quadradas de 2km x 2 km. É importante salientar que a área estudada apresenta um quadro estrutural e litológico complexo, não claramente definido até a presente data, fato este que pode afetar alguns resultados em função da redefinição de um novo quadro geológico para a área.

ALVO Nº 1

Esse alvo situa-se na porção nordeste em rochas do Maciço Alcalino Básico e Ultrabásico de Ponté Nova (CAVALCANTE et al., 1979), na forma de um corpo arredondado, com diques que cortam também o granítico porfirítico adjacente. Todas essas rochas forma consideradas conjuntamente como unidade Suítes Granitóides (GR). Os elementos que apresentam um contraste elevado e que podem ser considerados anômalos são: Mg, Sr, Cu, Pb, Ni, Co, V, La, Cr e Sc destacando-se de forma evidente os elementos Cr, Ni e Co, conforme indicam os mapas de isovalores.

Foram selecionadas algumas amostras para reanálise, pelo método de EDTA, com leitura por absorção atômica para Cu, Pb, Zn, Ni e Co revelaram teores anômalos para os seguintes elementos: Zn, Ni, Co, Cu e Pb todos os valores ficaram abaixo do limite inferior de detecção.

Nos trabalhos de reamostragem geoquímica foram utilizados os métodos EDTA para sedimento de corrente e Água Régia para solos e verificou-se grande concentração de magnetita junto aos sedimentos de corrente associados a rocha alcalina (IPT, 1984). As amostras de concentrados de bateia não revelaram minerais de interesse que justificassem análises específicas.

Em função dos dados disponíveis, o alvo 1 apresenta teores de Cu, Pb, Zn, Ni e Co extremamente elevados em amostras de solo, embora deva ser ressaltado a influência das rochas ultrabásicas pela elevada concentração desses teores.

FIGURA 38-ALVOS SELECIONADOS ATRAVÉS DE MÉTODOS
ESTATÍSTICOS CLÁSSICOS

ALVO Nº 2

Esse alvo abrange rochas gnáissicas da unidade GNIA e, no restante abrange granitos porfiríticos com enclaves gnáissicos da unidade GR, e separando as duas unidades se destaca uma zona cataclástica (O LIVEIRA et al., 1983), segundo os autores mencionados acima na porção noroeste dessa área foi cadastrada uma ocorrência de sulfetos. Este alvo revelou vários elementos anômalos principalmente na unidade GNIA para: Cu, Pb, Co, Mo, Ba, La, Zr, Y e Cr. As amostras reanalisadas por EDTA para Cu, Pb, Zn, Ni e Co não revelaram teores significativos.

Na reamostragem que envolveu solo, sedimento de corrente e concentrados, cumpre destacar a presença de Zn nos sedimentos de corrente bastante próxima da ocorrência de sulfeto, mencionada anteriormente.

ALVO Nº 3

Encontra-se inserido em rochas gnáissicas da unidade GNIA e rochas graníticas a duas micas da unidade GR, observando-se pequenos veios pegmatíticos na região de contato entre as duas litologias. Destacam-se as anomalias dos seguintes elementos: Cu, Pb, Nb, La, Y e B. As amostras reanalisadas exibiram teores elevados para B, devendo corresponder ao local de ocorrência de turmalina nos veios pegmatíticos.

A reamostragem geoquímica destacou os teores elevados para Pb nos solos e no sedimento de corrente, enquanto nos concentrados de bateia foi detectada uma pinta grossa de Au com teor de 95 ppb (partes por bilhão).

ALVO Nº 4

Este alvo está situado em sua maior parte em rochas charnockíticas unidade HGAJ e subordinadamente aparecem rochas gnáissicas da unidade GNIA e rochas migmatíticas de estruturas diversas da unidade MGIA no extremo norte. Observa-se a presença de sulfetos em rochas charnockíticas, associados principalmente a pequenas fraturas. Dentre os elementos que compõem os domínios desse alvo e são considerados anômalos, podemos destacar o Cu, Fe, Zr e Ni.

A reanálise de algumas amostras indicaram teores elevados para o Cu e o Co, enquanto nas reamostragens foram encontrados teores

expressivos para o Cu e Co nas amostras de solo, provavelmente relacionadas as ocorrências de sulfeto de forma generalizada no domínio, aparentemente vinculadas a rochas classificadas como cordierita-granada granulito da unidade HGAJ.

ALVO Nº 5

Nesse alvo ocorre diversos tipos litológicos distribuídos da seguinte forma: granitos porfiríticos a noroeste e granitos equigranulares a duas micas a sudoeste ambos englobados na unidade GR; gnaisses da unidade GNIP; xistos e quartzitos englobados como unidade MBSR e os migmatitos de estruturas diversas da unidade MGIA e a presença de uma zona de cataclase junto à Falha São Bento de Sapucaí. As ocorrências cadastradas por OLIVEIRA et al. (1983) na área mencionam sulfetos associados a rochas graníticas. Os elementos anômalos com maior expressão dos dados regionais destacam-se La e Y.

Nas amostras que foram submetidas a reanálise pelo método do EDTA, com leituras de Absorção Atômica para os elementos Cu, Pb, Zn, Ni, Co e Mo destacou-se apenas alguns teores de Zn.

A reamostragem geoquímica para sedimento de corrente e solo evidenciam teores significativos para Pb, Co, Cu e Zr, enquanto nas amostras de concentrado de bateia não foram identificados minerais pesados que justificassem análises específicas.

ALVO Nº 6

Esse alvo abrange principalmente as rochas gnáissicas, representada por hornblenda-biotita gnaiss, gnaisses, biotita gnaiss e hornblenda gnaiss pertencentes à unidade GNIP e intercalações de mica-xistos e rochas anfibolíticas da unidade XSIP. Os elementos químicos que se destacam como anômalos foram: Fe, Ti, Ni, Cr, V, Ga, Nb, Sc e Zr.

Os resultados pela reanálise confirmaram os teores altos da espectrografia óptica para Co, Cu e Zn.

ALVO Nº 7

Nesta área ocorrem meta-arcôseos finos e micáceos, alternados com quartzo-muscovita xisto pertencentes à unidade MBSR do Grupo São Roque e junto a Falha Jundiuvira, tem-se a presença de uma zona cataclástica. Subordinadamente tem-se na porção nordeste rochas

granitóides (GR).

As anomalias mais significativas foram Ni, Co, Y, V, La e Zr vinculadas as ocorrências de pegmatitos na área, onde algumas delas situam-se juntos aos falhamentos mencionados, que poderiam gerar alguma ação hidrotermal de caráter local e pontual.

ALVO Nº 8

As litologias predominantes no alvo são meta-arcóseos finos e micáceos alternados com quartzo-muscovita xisto e biotita-muscovita quartiztos com alternâncias de metabásicos todas englobadas na unidade MBSR do Grupo São Roque, e subordinadamente rochas graníticas e granodioríticas da Suíte Imbiruçu incluídos na unidade GR e rochas gnáissicas da unidade GNIP.

As anomalias selecionadas são análogas ao Alvo nº 7 e vinculadas a duas ocorrências de pegmatitos que aparecem na região e indicaram teores expressivos de: Nb, La, Y, Zr, Cr e secundariamente teores de Co, Ni, Pb e Cu.

ALVO Nº 9

Predominam nesse alvo biotita e/ou hornblenda gnaisses de composição granítica a granodiorítica, tendo corpos anfibolíticos e hornblenda-gnaisse intercalando-se nesse seqüência definida como unidade de GNIP. De maneira subordinada, aparecem xistos da unidade XSIP, metassedimentos do Grupo São Roque (MBSR) e corpos granitóides (GR).

Os resultados realçam valores de Cu e Zn. A presença de alguns corpos anfibolíticos salientou teores de Fe, Mn e Mg, enquanto aos granitos destacam-se anomalias de Ba, Sr e Mn.

ALVO Nº 10

Esse alvo situa-se em rochas das unidades do São Roque (MBSR). Observa-se nesse alvo preferencialmente rochas anfibolíticas e metabásicas, onde se formou um processo de bauxitização constituindo num manto irregular de espessura variável de 2,0 a 10,0 m. Nessa área destacam-se anomalias importantes de Ga, V, Sc, Cr e Fe.

ALVO Nº 11

Esse alvo também situa-se no contexto das unidades do São Ro

que. Nessa região foram identificadas mineralizações auríferas primárias que estão associadas às rochas tufáceas e a níveis de meta chert incluídos numa sequência vulcano-clástica. A mineralização secundária de ouro possui pequena expressão em estreitos aluviões. As anomalias na área com maior destaque são: Cu, Co, Cr, Mo, Pb, V , Ni, Pb, Fe e Mn. Em alguns pontos podem ser observados a presença de calcopirita e malaquita em fraturas da sequência mencionada.

CAPÍTULO VIII

REGIONALIZAÇÃO DOS DADOS GEOQUÍMICOS

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado o cálculo de variogramas em diversas litologias, a definição de um tamanho ótimo de célula e a krigagem cruzada de alguns elementos químicos, além de uma síntese sobre as noções básicas dos métodos geoestatísticos e discutidas algumas de suas principais aplicações no campo da exploração geoquímica.

Durante o transcorrer do processo de interpretação dos dados geoquímicos, torna-se necessária a divisão espacial dos mesmos em células, para possibilitar novos cálculos, ou mesmo até eliminar alguns valores localmente erráticos, que não constituem anomalias. A definição da dimensão ideal da célula pode ser feita através dos métodos geoestatísticos.

Uma das vantagens da geoestatística sobre as demais técnicas estatísticas clássicas, reside no fato dessa incorporar a distribuição espacial dos teores na definição das anomalias geoquímicas.

O termo "Geoestatística" será utilizado nesse trabalho para designar o estudo estatístico dos fenômenos naturais. Segundo MA THERON (1970), quem etimologicamente definiu este termo, os fenômenos naturais podem ser freqüentemente caracterizados pela sua distribuição espacial de uma ou mais variáveis denominadas "VARIÁVEIS REGIONALIZADAS", que serão designadas pela abreviação V.R.

O grande desenvolvimento atual da geoestatística prende-se ao fato das soluções apresentadas serem coerentes com natureza dos fenômenos, isto é, a solução é sempre orientada de acordo com as características das variáveis geológicas.

No que concerne ao cálculo das reservas minerais, no qual a geoestatística apresentou grande número de aplicações, podemos saliantar os seguintes aspectos essenciais produzidos por esse mêto-do:

- adaptabilidade da técnica à estrutura da mineralização da jazida, ou seja, o método reflete a disposição e a estrutura espa

cial dos teores em função da geologia da jazida;

- os estimadores fornecem erros mínimos, de modo que a média dos teores estimados é a mais próxima possível da média dos teores reais (nunca conhecida na prática);

- a dispersão dos erros cometidos é a menor possível, implicando num valor mínimo de variância.

Podemos observar facilmente que os dados geoquímicos guardam uma estreita relação com essas premissas. A vantagem da geoestatística como será demonstrada mais adiante, é que a estimação baseia-se na contribuição específica de cada amostra e na distribuição espacial das amostras de toda a região estudada. Esse tipo de abordagem apresenta nítidas vantagens, na medida que a anomalia geoquímica não depende de um único teor, mas de uma associação de teores que apresentam uma correlação espacial.

No campo da exploração geoquímica já existe um bom número de trabalhos tratando da aplicação dos métodos geoestatísticos no tratamento dos dados geoquímicos. Podemos destacar os trabalhos de CROISSANT (1977), PEREIRA (1980) e SUSLICK (1981) que utilizam o conceito do variograma como uma estrutura definindo o "background". DAVID & DAGBERT (1975) e SUSLICK et al. (1977) reagruparam diferentes elementos químicos em função dos parâmetros do variograma. Uma investigação interessante foi realizada por MIESCH (1975) que com para as diversas componentes da análise de variância e o variograma com grande aplicação na resolução dos problemas de estimação estatística e amostragem.

Os conceitos básicos do arcabouço teórico da geoestatística podem ser encontrados nos trabalhos de MATHERON (1970), JOURNEL (1977) e DAVID (1977). Nesse texto serão apresentados somente noções básicas do método geoestatístico (variograma e krigagem), sem recorrer demasiadamente ao formalismo matemático, para facilitar a compreensão da teoria e suas aplicações aos dados geoquímicos.

2 NOÇÕES BÁSICAS DE GEOESTATÍSTICA

2.1 Variograma

A distribuição espacial dos teores reflete um aspecto aleatório e estruturado. Um estudo geológico permite definir a estrutura

ção qualitativa da mineralização, e constitui uma informação pré via indispensável para a geoestatística. Em decorrência da erratidade principalmente local e da variabilidade dos teores, a geologia isoladamente não possibilita, de um modo geral, uma previsão quantitativa destes teores. De maneira inversa, não se pode também assimilar estes teores a variáveis aleatórias independentes.

Os modelos da geoestatística representam um compromisso entre esses extremos. Os teores em diferentes partes de uma área, são representados por variáveis aleatórias com maior ou menor correlação. Esta intensidade variável das correlações, reflete-se no modo lo em função das continuidades e descontinuidades do fenômeno em contrado na natureza (no caso em questão anomalias geoquímicas).

Para expressar estas correlações, a geoestatística utiliza u ma função $\gamma(h)$ denominada variograma. Designando por x um ponto do espaço a três dimensões e por $Z(x)$ o teor neste ponto, o variograma $\gamma(h)$ representa uma função do vetor h de valor médio ($Z(x+h)$) quando x percorre toda área a ser estudada. Em termos probabilísticos, $\gamma(h)$ é interpretado como uma esperança matemática do tipo:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E |Z(x) - Z(x+h)|^2 \quad (\text{eq.1})$$

Na prática podemos representar o cálculo do variograma experi mental pela seguinte expressão:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N |Z(x_i) - Z(x_i + h)|^2 \quad (\text{eq.2})$$

onde:

$\gamma^*(h)$ = representa a estimação do valor teórico $\gamma(h)$ a partir dos dados disponíveis. O valor de $\gamma^*(h)$ é a média aritmética dos desvios quadráticos entre as duas medidas experimentais $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ implantados em dois pontos quaisquer dis tanciados de h ;

N = número de pares experimentais $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ distancia dos de h .

O cálculo dos variogramas experimentais é tarefa bastante fá cil, embora alguns cuidados devam ser tomados para se proceder a uma eficiente e criteriosa análise estrutural dos dados, permitin-

do, desta maneira, a obtenção de variogramas experimentais representativos dos fenômenos estudados.

O variograma constitui a ferramenta básica do método geoestatístico, a partir do qual são efetuadas as estimativas da variável considerada (teor, etc.). Sua aplicação tem demonstrado ser o mesmo um poderoso revelador de estruturas, onde são avaliadas as correlações espaciais entre os valores da variável enfocada no espaço em questão (teores de uma campanha geoquímica, depósito minerável, região com falhas, etc).

2.2 Modelos de variogramas

Após obtidos os variogramas experimentais, adentra-se numa das fases mais importantes em geoestatística que é o ajuste aos modelos teóricos existentes. Este processo deve ser baseado na experiência do geoestatístico e nas informações obtidas durante a análise estrutural dos dados. O modelo de variograma ajustado servirá de base para todo o processo posterior de estimação e krigagem, e conseqüentemente influenciará os resultados e conclusões finais.

Os principais modelos teóricos, segundo JOURNEL (1977) que se dispõe para o ajuste são os seguintes:

a) Modelos com patamar

a.1) Modelo esférico

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left(\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) & , \quad h < a \\ C & , \quad h \geq a \end{cases}$$

a.2) Modelo exponencial

$$\gamma(h) = 1 - \exp(-h/a)$$

a.3) Modelo Gaussiano - comportamento parabólico na origem

$$\gamma(h) = 1 - \exp(-h^2/a^2)$$

a.4) Efeito de pepita

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= 0, & h &= 0 \\ \gamma(h) &= C_0, & h &> 0\end{aligned}$$

b) Modelos sem patamar

b.1) Modelos lineares

$$\gamma(h) = h^\lambda \text{ com } 0 < \lambda \leq 2$$

b.2) Modelos logarítmicos

$$\gamma(h) = \log h$$

Dos modelos que possuem patamar, os mais utilizados na geostatística são os esquemas esféricos e o esquema exponencial apresentados na FIGURA 39, onde no eixo das abscissas temos as distâncias entre as amostras e nas ordenadas o valor da função variograma $\gamma(h)$. Ambos os modelos são lineares para pequenos valores de h , mas diferem quanto à inclinação da curva. O esquema esférico atinge mais rapidamente o patamar (a) que o esquema exponencial (assintoticamente). Este valor (a) é definido como amplitude, conhecido tradicionalmente na linguagem geológica como zona de influência, embora na geoestatística se trate de uma abordagem quantitativa. Para distâncias superiores ao valor (a) a dependência segundo estes modelos deixa de existir ou simplesmente não se torna mais possível detectá-la.

O patamar apresenta uma correspondência com a variância clássica da variável. Na maioria dos casos o valor de $\gamma(h)$ não passa pela origem, dizendo-se, neste caso, que apresenta um "efeito pepita" (C_0). Este efeito é atribuído às características de estruturação dos teores na própria área e aos erros de amostragem.

O modelo gaussiano que apresenta um comportamento parabólico na origem é característico dos dados que possuem um alto grau de continuidade, como por exemplo: elementos químicos maiores.

Dentre os modelos sem patamar destaca-se o esquema linear (FIGURA 39) que foi inspirado nos resultados, obtidos dos jazimentos de ouro na África do Sul. Este modelo representa um poder de dispersão ilimitado da variável, no qual, "a priori", não se pode definir a sua variância experimental.

O modelo de efeito de pepita representa um comportamento pura

FIGURA 39 - EXEMPLO DE MODELOS DE VARIOGRAMAS,
 FONTE: PEREIRA JR. & SUSLICK (1982)

mente aleatório. As amostras são completamente independentes uma das outras e o variograma é representado por uma reta que coincide com o patamar (C_0). Este modelo é bastante raro nas variáveis minerais, mas aparece com certa frequência nas variáveis geoquímicas.

2.3 Cálculo do Variograma: um exemplo prático

Neste item será apresentado um procedimento para o cálculo de um variograma a partir de dados experimentais. Tomemos um exemplo retirado de CLARK (1979), de uma malha bidimensional conforme mostra a FIGURA 40. Neste sentido, podemos estabelecer uma analogia com uma malha regular para uma campanha geoquímica em solos.

Como o variograma depende da distância entre os pares de amostras (passo) e a sua orientação, o problema resume-se no cálculo bidimensional, segundo as diversas direções, no nosso exemplo nos restringiremos as direções N-S e E-W, através da equação de definição do variograma (Equação 2).

FIGURA 40 - MALHA DOS DADOS UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO VARIOGRAMA (CLARK, 1979),

A malha regular de sondagem corresponde a 100 m, deste modo inicia-se o cálculo de $\gamma(h)$ com valores ou passo de h múltiplos de 100 na direção E-W. No ponto $h = 0$, sabe-se de antemão que $\gamma(0) = 0$. Para a distância $h = 100$, necessita-se calcular todos os pares de amostras na direção E-W conforme mostra o esquema abaixo:

$$\begin{aligned} \gamma^*(100) = & [(40-42)^2 + (42-40)^2 + (40-39)^2 + (39-37)^2 + (37-36)^2 + \\ & (43-42)^2 + (42-39)^2 + (39-39)^2 + (39-41)^2 + (41-40)^2 + \\ & (40-38)^2 + (37-37)^2 + (37-35)^2 + (35-38)^2 + (38-37)^2 + \\ & (37-37)^2 + (37-33)^2 + (33-34)^2 + (35-38)^2 + (35-37)^2 + \\ & (37-36)^2 + (36-36)^2 + (36-35)^2 + (36-35)^2 + (35-36)^2 + \\ & (36-35)^2 + (35-34)^2 + (34-33)^2 + (33-32)^2 + (32-29)^2 + \\ & (29-28)^2 + (38-37)^2 + (37-35)^2 + (29-30)^2 + (30-32)^2] \\ & + 2 \times 36 = \\ \gamma^*(100) = & 146(\%)^2 \end{aligned}$$

Analogamente procede-se para as distâncias (200), (300),... até o limite de 1/3 do campo experimental dos dados. Na TABELA 40 e FIGURA 41, a seguir estão resumidos os resultados obtidos para as direções N-S e E-W.

TABELA 40 - RESULTADOS DOS VARIOGRAMAS OBTIDOS A PARTIR DO CÁLCULO EM DUAS DIRECOES PREFERENCIAIS.

DIREÇÃO	DISTÂNCIA ENTRE AS AMOSTRAS	VARIOGRAMA EXPERIMENTAL	NÚMERO DE PARES DE AMOSTRAS
E-W	100	1,46	36
	200	3,30	33
	300	4,31	27
	400	6,70	23
N-S	100	5,35	36
	200	9,87	27
	300	18,88	21

$$\begin{array}{ll} \gamma(h) = 0,01625 h (\%)^2 & \text{direção E-W} \\ \gamma(h) = 0,05 h (\%)^2 & \text{direção N-S} \end{array}$$

FIGURA 41 - VARIOGRAMA EXPERIMENTAL NAS DIRECOES E-W E N-S (CLARK, 1979),

Existem alguns métodos de ajuste de variogramas experimentais através de modelos matemáticos, por exemplo, o método dos mínimos quadrados, o das integrais com as aproximações sucessivas e outros. Cabe lembrar, porém, que estes métodos não são exatos e que a suposta imprecisão é compensada pela fase subsequente, da krigagem dos dados, que converge para a solução ótima de erro mínimo. Também nestes casos, torna-se difícil introduzir ponderações abstratas tais como: a experiência do pesquisador e o conhecimento físico do fenômeno através de estudos geológicos anteriormente realizados. Com base nestes argumentos, procurando introduzir o máximo de flexibilidade no método de ajuste e dando ao pesquisador especializado a maior responsabilidade na escolha do modelo e parâmetros para o ajuste do variograma, foi desenvolvido o programa de ajuste interativo GAMAJUST (PEREIRA JÚNIOR & SUSLICK, 1982).

Na busca de um modelo teórico para os variogramas experimentais recomenda-se a não utilização do tipo de ajuste com base nos métodos de mínimos quadrados. Apesar de preciso no tocante ao formalismo estatístico, estes métodos introduzem um tipo de ajuste que não leva em consideração as variações pontuais do variograma, na medida que este é afetado por um erro de estimação particular. Nes

se sentido, a melhor técnica de ajuste de cada ponto do variograma estimado é a crítica dos dados, o conhecimento da dispersão dos elementos traços e a prática do especialista.

Finalmente, cumpre salientar que o ajuste de variogramas se constitui num passo importante em geoestatística, tendo em vista que o modelo ajustado servirá de base para todo o processo posterior de krigagem influenciando os resultados e conclusões sobre o fenômeno analisado.

2.4 Krigagem

O passo seguinte no cálculo geoestatístico é a krigagem. A krigagem resume-se na estimação local, fornecendo o melhor estimador do valor médio de uma variável regionalizada dentro de um domínio limitado.

No caso de teores de uma campanha de prospecção geoquímica ou dados de sondagem de uma jazida, a krigagem pode ser exemplificada como o processo que fornece um estimador que é a combinação linear dos valores reais medidos com a seguinte expressão:

$$T' = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i)$$

onde:

T' = estimador do valor médio

λ_i = ponderador

$Z(x_i)$ = valor medido da variável no ponto i

n = número de amostras envolvidas no cálculo.

Deste modo, trata-se de encontrar os valores de λ_i que minimizam a expressão:

$$\min \sum_{i=1}^n |T - T'|$$

onde:

T = representa o valor real do teor em questão

Embora o processo de krigagem seja menos subjetivo que a interpretação dos variogramas, a sua utilização requer o emprego de um ferramental matemático não usual em geociências, tal como os

multiplicadores de Lagrange. O ANEXO D apresenta uma síntese das equações da krigagem, contendo os passos essenciais para a construção do sistema de krigagem. O cálculo dos valores krigados (teor e variância) para cada ponto é conduzido a partir das equações (Sistema de krigagem) obtidas do variograma, definindo os pesos e ponderadores para cada teor, de modo que seja considerada a informação global da área estudada.

3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS DADOS GEOQUÍMICOS

O roteiro básico dos procedimentos utilizados para o tratamento dos dados geoquímicos da área estudada através dos métodos geoestatísticos encontra-se na FIGURA 42. Conforme ressaltado anteriormente pretende-se obter a partir dos variogramas os seguintes produtos: uma melhor compreensão da estrutura dos dados geoquímicos, indicações sobre a dimensão ideal da célula que será utilizada no capítulo IX, referente à Análise Característica e a cartografia de algumas anomalias através da krigagem.

3.1 Ajuste dos Variogramas Experimentais

Os variogramas foram construídos para o total de amostras e para os cinco grupos litológicos (granitos, gnaisses, charnockitos, migmatitos e as litologias São Roque) de dez elementos químicos, a saber: Fe, Mg, Mn, B, Co, Cu, Cr, La, V e Zr. Os dados das litologias foram transformados em logaritmos decimais antes do cálculo dos variogramas, em função da maior parte dessas variáveis se aproximarem de uma distribuição lognormal. Os dados dos filitos e rochas metabásicas do Grupo São Roque foram tratados globalmente.

Para o cálculo dos variogramas em dados irregularmente espaçados em duas dimensões foi utilizado o programa computacional GAMA2V. O algoritmo do programa executa o cálculo em função de classes angulares, definidas a priori pelo usuário. No caso em questão, utilizou-se um passo de 500 metros com um limite de tolerância de metade do valor de passo e um ângulo de tolerância igual a 45 graus.

Os ajustes dos variogramas experimentais foram realizados através do programa interativo gráfico GAMAJUST (PEREIRA JÚNIOR & SUSLICK, 1982) que utiliza os recursos do computador gráfico Tektronix. Em função do grande número de variáveis e de direções de anisotropia

FIGURA 42 - ORGANOGAMA DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS DADOS.

a pesquisar, que gerariam um número excessivo de variogramas, os modelos foram considerados isotrópicos e estacionários. Para todas as variáveis fixou-se os modelos esféricos dotados de uma única estrutura, os resultados do ajuste encontram-se no ANEXO E e os parâmetros do variograma na TABELA 41.

Para o elemento Mg em função dos valores extremamente baixos, foi necessário a multiplicação por uma constante ($K = 1000$) antes da transformação logarítmica, para possibilitar o cálculo dos variogramas.

3.2 Cálculo da Dimensão Ideal da Célula

Uma das etapas deste trabalho envolve a geração de novos dados geoquímicos através da construção de uma célula que divide a área de estudo em retângulos ou quadrados (Capítulo IX). Os variogramas serão aqui utilizados para auxiliar na definição de uma célula ótima, isto é, uma dimensão que não implique em perda significativa da informação geoquímica e possibilite a detecção dos contrastes geoquímicos, ou seja, isolar a anomalia do "background".

Em amostragem de sedimento de corrente, esse processo de otimização deve atender os seguintes critérios:

a) o variograma deve sempre que possível caracterizar o "background";

b) a dimensão da célula deve ser diretamente proporcional ao porte da anomalia geoquímica. Em outras palavras, pode-se condicionar que a probabilidade que uma anomalia não seja detectada pela célula como a menor possível.

No cálculo dessa dimensão utilizou-se os variogramas globais, tendo em vista que os resultados refletiram os ajustes obtidos nos diversos tipos litológicos. Os variogramas das demais litologias não devem apresentar resultados muito discrepantes para este cálculo, exceto talvez as presenças em algumas variáveis como, por exemplo, o Boro (B), de um forte efeito pepita.

Em função dos critérios definidos anteriormente foram analisadas arbitrariamente quatro dimensões de célula: 500m, 1000m, 2000m e 3000 m. Para este cálculo foi utilizada a conceito de variância de estimação de uma célula σ_E^2 , que se traduz pela diferença entre o valor real (desconhecido, na prática) da célula e o valor

TABELA 41 - PARÂMETROS DOS MODELOS DOS VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS.

LITOLOGIA	ELEMENTO	EFEITO PEPITA	C ₁	AMPLITUDE
Granito	Fe	0,10	0,30	6.000
	Mg	0,25	0,35	5.000
	Mn	0,15	0,40	6.000
	B	0,20	0,60	2.500
	Co	0,10	0,25	3.500
	Cu	0,20	0,20	3.000
	Cr	0,15	0,50	3.500
	La	0,50	0,70	3.000
	V	0,10	0,13	3.000
	Zr	0,00	1,00	7.000
Gnaiss	Fe	0,13	0,12	2.500
	Mg	0,25	0,20	2.500
	Mn	0,20	0,12	2.800
	B	0,45	0,40	4.000
	Co	0,18	0,08	4.800
	Cu	0,16	0,12	3.000
	Cr	0,15	0,17	4.000
	La	0,50	0,45	3.200
	V	0,15	0,05	2.400
	Zr	0,30	0,42	4.200
Migmatito	Fe	0,14	0,07	2.500
	Mg	0,20	0,20	2.000
	Mn	0,15	0,13	3.000
	B	0,35	0,47	5.000
	Co	0,145	0,08	3.000
	Cu	0,18	0,14	3.000
	Cr	0,17	0,13	3.000
	La	0,40	0,36	4.200
	V	0,09	0,08	3.500
	Zr	0,35	0,21	3.500
Charnockito	Fe	0,05	0,17	2.200
	Mg	0,01	0,24	3.500
	Mn	0,14	0,21	4.200
	B	0,60	0,00	3.000
	Co	0,00	0,35	3.000
	Cu	0,05	0,40	3.000
	Cr	0,00	0,30	2.000
	La	0,10	0,14	3.000
	V	0,02	0,10	3.000
	Zr	0,10	0,66	3.100
São Roque	Fe	0,10	0,30	5.100
	Mg	0,23	0,30	4.600
	Mn	0,15	0,43	5.000
	B	0,35	0,20	5.200
	Co	0,15	0,49	4.200
	Cu	0,20	0,65	4.000
	Cr	0,15	0,30	2.000
	La	1,20	1,30	4.200
	V	0,17	0,23	6.300
	Zr	0,35	0,14	5.200
TOTAL	Fe	5	5	4.600
	Mg	0,015	0,05	3.400
	Mn	400 x 10 ³	320 x 10 ³	5.000
	B	7700 x 10 ³	8100	5.500
	Co	50	45	5.500
	Cu	350	420	6.000
	Cr	900	700	2.400
	La	130.000	100.000	2.100
	V	1150	950	4.000
	Zr	220 x 10 ⁴	170 x 10 ⁴	7.500

estimado, através da seguinte expressão:

$$\sigma_E^2 = E |Z_B - Z_B^*|^2 = 2 \bar{\gamma}(C,P) - \bar{\gamma}(C,C) - \bar{\gamma}(P,P)$$

onde:

C = célula ;

P = ponto central de amostragem geoquímica;

$\bar{\gamma}(C,P)$ = valor médio do variograma entre um ponto arbitrário na célula e no ponto de amostragem;

$\bar{\gamma}(C,C)$ = valor médio do variograma entre dois pontos arbitrários da célula;

$\bar{\gamma}(P,P)$ = valor médio do variograma entre o ponto de amostragem e si mesmo, isto é, zero

A variância de estimação pode ser calculada através de integração numérica, mas para os modelos esféricos utiliza-se geralmente ábacos (veja ábaco nº 7, pág. 131, JOURNEL & HUIBREGTS (1978) . Deste modo, foram calculadas variâncias de estimação para cada uma das variáveis, de acordo com as quatro dimensões de células estabelecidas cujos resultados encontram-se na TABELA 42 . Para se obter as variâncias de estimação médias, basta dividir pelo número de células que possuem informação em cada dimensão, ou seja, para uma dimensão de 3000 m têm-se 373 células, 2000m corresponde a 767 células, 1000m a 3068 células e 500m a 12 272 células. No tocante as duas últimas dimensões, o número de células tem que ser necessariamente inferido, tendo em vista a própria densidade da amostragem que limita o número de células com informações.

Para medir a qualidade da estimação, e possibilitar a comparação entre variáveis de distintas magnitudes, tomou-se o desvio-padrão relativo multiplicado por dois e dado em porcentagem que corresponde ao intervalo relativo em torno da média (m^*), ao nível de significância de 95%, segundo uma hipótese gaussiana (TABELA 42).

3.3 Krigagem das células

A partir dos variogramas globais ajustados aos dados dos elementos químicos, realizou-se nesta fase dos trabalhos a krigagem bidimensional da área, visando estudar a variação espacial das variáveis geoquímicas.

TABELA 42 - VARIÂNCIA DE ESTIMAÇÃO EM FUNÇÃO DA DIMENSÃO DA CÉLULA,

ELEMENTO	CÉLULA (m)	VARIÂNCIA DE ESTIMAÇÃO	PRECISÃO
Fe	500	31,00	0,02
	1000	31,95	0,09
	2000	34,50	0,36
	3000	36,50	0,76
Mg	500	0,018	0,01
	1000	0,021	0,04
	2000	0,026	0,17
	3000	0,033	0,38
Mn	500	411200	0,01
	1000	424000	0,05
	2000	448000	0,21
	3000	473600	0,45
B	500	7983	0,01
	1000	8226	0,06
	2000	8834	0,23
	3000	9401	0,49
Co	500	51,58	0,01
	1000	52,93	0,04
	2000	56,30	0,18
	3000	59,45	0,39
Cr	500	952	0,01
	1000	1026	0,05
	2000	1131	0,20
	3000	1222	0,43
Cu	500	363	0,01
	1000	374	0,05
	2000	409	0,23
	3000	430	0,48
La	500	139900	0,02
	1000	149800	0,07
	2000	171800	0,31
	3000	192700	0,67
V	500	1196	0,01
	1000	1236	0,03
	2000	1321	0,11
	3000	1426	0,23
Zr	500	2254400	0,01
	1000	2276500	0,06
	2000	2366600	0,23
	3000	2455000	0,47

OBS.: Variância de estimação (σ_E^2) = σ_E^2 Abaco x C_1 + C_0 , onde C_1 e C_0 parâmetros de variograma.

Precisão(%) = $\frac{2\sigma_E / n^0 \text{ de células}}{m^*} \times 100$; onde m^* = média da variável

Para a execução da krigagem foram necessárias as seguintes etapas: classificação da área em células, definição do plano de krigagem e o cálculo dos valores krigados e respectivas variâncias para cada célula.

A classificação dos pontos de amostragem geoquímica foi feita através do programa computacional CLASSE em células 2 km x 2 km compreendendo em média de 3 a 4 pontos por células. Esse programa utiliza arquivos em acesso direto (randômico), que possibilita uma manipulação rápida e eficaz dos dados, evitando-se os cálculos intermediários para a resolução do sistema de krigagem. Do total de 1650 pontos foram geradas 767 células para cobrir a área toda no processo de estimação.

O estabelecimento de um plano de krigagem permite otimizar o tempo de computador, e paralelamente assegurar um limite aceitável de precisão no processo de estimação. Neste sentido, podem ser mencionados os seguintes procedimentos que auxiliam na redução do custo de uma krigagem: redução do número de equação dos sistemas de krigagem e cálculo rápido dos valores médios do variograma. Existem diversos mecanismos que são propostos em JOURNEL (1977) para atender esses pontos, tais como: limitação da vizinhança de estimação, provocando uma diminuição de equações no sistema de krigagem, reagrupamento da informação sem perda expressiva da precisão, definição do suporte a ser estimado, etc.

A escolha de um algoritmo de resolução de um sistema de krigagem é um elemento essencial na determinação dos custos de computação. Na krigagem das células da área em questão, foi utilizado o programa KRIGB que executa a resolução do sistema linear através do método de RELMS proposto por DELFINER (1979) que se baseia no método da pivotação sem pesquisar os elementos máximos da matriz.

Para o cálculo dos teores e as respectivas variâncias de krigagem das células para os dez elementos químicos, adotou-se um plano de krigagem simples bidimensional com uma única vizinhança composta por 3 ponderadores (λ_1 , λ_2 e λ_3), associando-se a nove células ($S_1, \dots, S_9$), de acordo com a configuração apresentada na FIGURA 43.

FIGURA 43 - PLANO DE KRIGAGEM.

3.4 Cartografia das Anomalias Segundo Critério Geoestatístico

Os estudos geoestatísticos permitem detectar anomalias geoquímicas nos quais o "background" é uma estrutura ligada ao variograma em grande escala e as anomalias constituem fenômenos que não se encontram vinculados ao modelo global.

A partir dessas hipóteses foi realizado um estudo envolvendo os elementos Fe, B, Co, Cu e Cr através de uma verificação cruzada, entre os valores estimados pela krigagem de acordo com o modelo de variograma adotado para cada elemento e os pontos de amostragem. Deste modo, pode-se visualizar a distribuição desses "erros", que em prospecção geoquímica despertam grande interesse, pois constituem valores que se destacam da estrutura global da área, e podem se constituir localmente em anomalias.

O critério utilizado (verificação cruzada) para a cartografia dessas anomalias pode ser sintetizado pela seguinte expressão:

$$\text{ANOMALIA} = \frac{Z^* - Z}{\sigma_k} \quad (3)$$

onde:

Z = valor do ponto de amostragem

Z^* = valor obtido pela krigagem

σ_k = erro fornecido pela krigagem

O ANEXO D apresenta mapas com as anomalias obtidos por esse

método para os teores de Fe, B, Co, Cu e Cr, onde os pontos assinalados sobre o mapa representam os valores superiores a duas vezes e meia a expressão anterior.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Os métodos geoestatísticos podem fornecer bons resultados na definição e seleção de populações geoquímicas. Os variogramas produzem inúmeras informações sobre o "background", que podem ser valiosas no curso de campanhas geoquímicas locais e regionais.

As litologias do São Roque e os granitos fornecem os melhores ajustes para os modelos esféricos (ANEXO E). Alguns elementos químicos apresentam um modelo de "efeito de furo" (JOURNEL, 1977) para distâncias superiores a 3 000m. Talvez seja indicativo da presença de faixa de teores altos e baixos dentro de uma mesma litologia. Os teores em charnockitos para a maior parte das variáveis mostraram-se mais erráticos, dificultando o ajuste dos modelos, devido possivelmente ao pequeno número de dados ($N = 59$), e os pontos de amostragem localizados numa faixa muito estreita. O efeito pepita para os migmatitos e gnaisses apresentam geralmente uma magnitude superior quando comparados com as mesmas variáveis dos granitos.

Nos variogramas globais, os elementos Zr (7500m) e Cu (6000 m) apresentam-se com os maiores valores de amplitude, enquanto que no Cr (2400 m) e o La (2100 m) a amplitude são os menores de todo o conjunto de elementos, talvez devido ao caráter de dispersão clástica desses elementos (Cr e La) que condiciona uma dimensão inferior do alcance do variograma para possibilitar abranger toda a variabilidade existente.

A transformação logarítmica para alguns elementos provoca uma diminuição da dispersão e conseqüentemente da Variância, reduzindo o efeito pepita do Fe e Mn.

A relação entre a precisão ($2\sigma_E/m^*$) e a dimensão da célula, torna-se bastante evidente através do gráfico da FIGURA 44, onde estão representados em escala mono-logarítmica estas variáveis. A partir deste gráfico, constata-se que a relação da malha de 2000 m para 1000m, não provoca um ganho considerável na precisão dos resultados. Por outro lado, para células com dimensão superior a 2000m (ponto de inflexão), a precisão tende a atingir um patamar.

FIG. 44—RELAÇÃO ENTRE A PRECISÃO E A DIMENSÃO IDEAL DA CÉLULA.

Deste modo, o tamanho ideal da célula deve se aproximar de 2000m, tomando-se como referência os menores valores de amplitude do La e Cr respectivamente 2100 e 2400m nos variogramas globais.

É importante salientar que a definição de uma célula ótima para os dados geoquímicos, representa um valor orientativo, que implica na aceitação das seguintes hipóteses mencionadas anteriormente: o variograma deve sempre que possível caracterizar o "background" e a dimensão da célula deve ser diretamente proporcional ao porte da anomalia geoquímica.

A primeira hipótese esbarra na dificuldade em dimensionar corretamente o suporte das variáveis geoquímicas. Para contornar esse problema, torna-se necessário, em alguns casos, estender esse suporte a um volume ou reduzi-lo a uma expressão pontual. Em relação ao porte da anomalia geoquímica, torna-se difícil estimar essa dimensão previamente na medida que esse valor apresenta uma variação expressiva em cada ambiente geoquímico.

A informação estrutural fornecida pelos variogramas associada a verificação cruzada através da krigagem permite obter anomalias geoquímicas adaptadas as características da distribuição espacial de cada variável. Embora o método geoestatístico utilizado seja univariado, pode-se atingir bons resultados, associando-os com os métodos clássicos de análise de dados.

Os resultados desse tipo de krigagem para os elementos químicos, coincidem com aqueles obtidos pelos métodos utilizados no capítulo VII onde as anomalias foram definidas com base nos tipos litológicos.

Na análise da krigagem cruzada, pode-se observar que o Cromo (Cr) apresentou o menor número de anomalias, devido provavelmente ao elevado valor de efeito pepita desse elemento. As anomalias desse elemento se localizaram preferencialmente nas unidades do São Roque e nos charnockitos.

O cobre apresentou o maior número de áreas anômalas, concentrando-se na porção norte do mapa, principalmente nos gnaisses e nos contatos com os granitos e charnockitos. As anomalias de cobre na porção norte coincidem com os alvos nº 1, 3 e 5 descritos no capítulo VII, onde foram encontradas ocorrências de sulfetos. As anomalias de cobalto (Co) acompanham as de cobre na maior parte da região estudada.

As anomalias de Boro (B) situam-se preferencialmente nas litologias do São Roque e nos contatos com os granitos, indicativo da atividade hidrotermal e pegmatítica nas áreas apontadas. Um pequeno número de anomalias se superpõe aos alvos nº 7 e 8, que apresentam um número grande de pegmatitos que justificam tal associação espacial.

De modo diverso aos demais elementos, as anomalias de ferro (Fe) se distribuem em quase todas as unidades, havendo uma forte coincidência com as anomalias de cobalto e cobre, talvez devido a ação do ferro sobre o conteúdo dos elementos citados. Em relação a esses elementos (Cu, Co e Fe), algumas anomalias selecionadas pela krigagem cruzada, correspondem às áreas cuja densidade de amostragem é baixa.

CAPÍTULO IX

ANÁLISE CARACTERÍSTICA: UMA TÉCNICA PARA QUANTIFICAÇÃO DA POTENCIALIDADE MINERAL DE UMA REGIÃO

1 INTRODUÇÃO

O princípio dos métodos quantitativos em prospecção geoquímica, conforme ressaltado anteriormente, baseia-se na seleção de áreas de maior interesse econômico e metalogenético, que reflitam os valores mais expressivos das variáveis medidas. Dentro deste enfoque, amplitudes de valores com maior destaque entre as variáveis possuem consequentemente maior prioridade. Esse processo apresenta inconveniente de ser realizado no conjunto global das amostras.

O método da "Análise Característica" que será abordado neste capítulo, difere dos métodos quantitativos utilizados tradicionalmente em geoquímica, na medida que as variações (amplitude) dos valores são calculadas localmente, com base num pequeno número de amostras e constitui uma técnica que considera a posição geográfica das amostras na definição das anomalias.

A Análise Característica constitui uma técnica multivariada que foi utilizada com sucesso na identificação de inúmeros alvos de diversos tipos de depósitos minerais (BOTBOL et al. 1978; MC CAMONN et al., 1979; 1983).

A grande vantagem dessa técnica em exploração geoquímica repousa no fato de que, o reconhecimento de uma anomalias local para um determinado elemento químico, baseia-se mais na sua concentração relativa do que no teor absoluto do referido elemento. Esse fato não constitui atualmente uma inovação, mas nem sempre é incorporado na prospecção geoquímica, cujo principal objetivo é a busca de padrões anormais que apresentam um vínculo com a mineralização.

Uma consequência imediata desse tipo de abordagem implica numa reavaliação dos critérios usuais de seleção de áreas, onde as regiões de maior interesse nem sempre coincidem com os teores mais altos de um determinado elemento químico. O método de análise característica impõe que a delimitação das zonas anômalas seja função da correlação dos pares de elementos, tomando-se como referência uma dada área como modelo.

O campo para as aplicações da técnica da análise característica é bastante promissor, principalmente na seleção de alvos destinados a pesquisa mineral e demais usos onde se pretende avaliar o comportamento de um modelo (metalogenético, geológico, petrológico, geoquímico, etc.). A seguir, apresentaremos uma descrição sucinta de suas principais aplicações.

BOTBOL (1970) elaborou um modelo baseado em 30 distritos mineiros nos U.S.A. para Cu, Pb, Zn em função da ocorrência de cerca de 256 diferentes minerais. O autor utilizou o método da análise característica para definir e classificar, em ordem de importância, os minerais mais típicos que ocorriam nos distritos mineiros para cobre, chumbo e zinco. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, demonstrando o grande potencial dessa técnica para selecionar características geológicas, antes de se iniciar a análise multivariada e auxiliar no reconhecimento de padrões (análise espectral).

GEOFFREY & WIGNAL (1972) utilizaram 170 variáveis geológicas para descrever 58 depósitos de molibdênio e cobre-porfirítico localizados na América do Norte e do Sul. Com base na análise característica foram selecionadas 44 variáveis geológicas para elaborar um modelo geológico e quantitativo dos depósitos. Os autores conseguiram selecionar 12 fatores geológicos (variáveis) correlacionadas com o minério porfirítico em termos econômicos.

BOTBOL et al. (1978) utilizou a técnica da análise característica para selecionar alvos geoquímicos para futuros trabalhos de detalhe. Como modelos foram individualizadas 12 áreas no distrito mineral de Coeur d'Alene em Idaho (E.U.A.), utilizando-se 4 000 amostras de rochas analisadas para Hg, Te, Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, As, Sb, Na e K.

A aplicação mais recente do método da análise característica resultou na descoberta de mineralizações sulfetadas na Noruega. Em trabalho desenvolvido por MCCAMMON et al. (1983) com base em dados de 27 variáveis geológicas, geofísicas e geoquímicas foi construído um modelo litogeoquímico e da mineralização. Investigações geológicas e de campo indicaram a presença de um sistema de veios sulfetados e uma sequência estratigráfica invertida, que revelaram posteriormente um importante depósito de sulfetos maciços em zonas mais profundas.

2 MÉTODO DA ANÁLISE CARACTERÍSTICA

Os dados geoquímicos de uma região para serem submetidos a análise característica devem ser divididos em células e transformados em forma binária; isto é, o valor ("1") implica que o valor da variável é favorável em termos exploratórios naquele local e zero ("0") significa um valor indeterminado para avaliar o grau de prospectividade. O termo prospectividade ("favorability") é definido aqui em bases locais, onde uma variável é considerada favorável ou prospectável num determinado sítio, se o valor medido da variável é superior aos valores vizinhos. Recentemente MCCAMMON et al. (1983) propuseram que se adotasse uma representação ternária, da seguinte maneira: o valor ("1") possui o mesmo significado que na representação binária, o valor ("-1") indicaria um local desfavorável e o valor ("0") ficaria reservado para áreas não submetidas à avaliação.

A representação binária possibilita um razoável leque de alternativas para o pesquisador, pois coloca as variáveis dentro de uma mesma amplitude (escala), na medida em que incorpora um número expressivo e diversificado de informações.

Segundo BOTBOL et al. (1978) a técnica da análise característica implica no conhecimento de quatro conceitos: a segunda derivada de uma superfície bidimensional, a transformação Booleana, a formulação de um modelo de "prospectividade" e a avaliação regional das células. Os principais passos da técnica da análise característica são apresentados na FIGURA 45.

2.1 Segunda Derivada de uma Superfície

Um dos maiores desafios no campo da prospecção geoquímica é a questão que envolve a definição da anomalia geoquímica. A maneira usual de se proceder é separar o conjunto de dados em duas populações: "background" e anômala.

Para possibilitar uma partição adequada dessas populações, dentro da técnica da análise característica, Botbol et al. (1978) definiram como anomalia qualquer valor superior localmente aos valores vizinhos. Assim, a anomalia é um conjunto de valores superiores aos pontos de inflexão, definidos por uma superfície matemática que representa a distribuição espacial de uma variável (p.ex.: elemento químico). Um ponto de inflexão se apresenta quan

Figura 45- FLUXOGRAMA DA TÉCNICA DA ANÁLISE CARACTERÍSTICA
(Adaptado de Botbol et al, 1978)

do uma segunda derivada muda de sinal. Um exemplo é mostrado na FIGURA 46 no qual podemos observar os pontos considerados anômalos num dado perfil geoquímico. Os pontos máximos locais definidos como anômalos possuem segunda derivada menor que zero em todas as direções.

O cálculo da segunda derivada direcional α para uma função $z = f(x, y)$ se reduz a determinação dos pontos críticos de acordo com a seguinte expressão (KAPLAN, 1972):

$$A \cos^2 \alpha + 2 B \sin \alpha \cos \alpha + C \sin^2 \alpha$$

onde são usadas as seguintes abreviações:

$$A = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} (x_0, y_0), \quad B = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} (x_0, y_0), \quad C = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} (x_0, y_0)$$

Seja $z = f(x, y)$ uma função definida e possuindo derivadas parciais e segundas contínuas num domínio D. Seja (x_0, y_0) um ponto de D onde $\partial z / \partial x$ e $\partial z / \partial y$ são nulos. Nessas condições, tem-se os seguintes casos:

- a) $B^2 - AC < 0$ e $A + C < 0$, máximo relativo em (x_0, y_0) ;
- b) $B^2 - AC < 0$ e $A + C > 0$, mínimo relativo em (x_0, y_0) ;
- c) $B^2 - AC > 0$, ponto de sela em (x_0, y_0) ;
- d) $B^2 - AC = 0$, ponto crítico de natureza indeterminada

Os pontos que indicam uma anomalia geoquímica constituem os pontos de máximo relativo e de sela. Para o cálculo da segunda derivada espacial foi concebido um algoritmo, onde o valor de cada célula é computado em função de oito células vizinhas, conforme mostra a FIGURA 47.

O algoritmo da segunda derivada para cada célula emite as seguintes saídas:

- 0 = não representa uma anomalia (ponto de mínimo relativo a segunda derivada positiva)
- 1 = anomalia (segunda derivada negativa)
- 2 = dados ausentes

Figura. 46 PERFIL GEOQUÍMICO ESQUEMÁTICO APRESENTANDO AS ÁREAS ACIMA DOS PONTOS DE INFLEXÃO LOCAIS
segundo derivada negativa representada por 1 e outros pontos representados por 0
(segundo Botbol et al, 1978)

ZUL	ZYB	ZUR
ZXB	Z	ZXA
ZLL	ZYA	ZLR

Z = célula central a ser estimada

FIGURA 47 - ALGORITMO PARA O CÁLCULO DA SEGUNDA DERIVADA.

É importante salientar que neste algoritmo as colunas e linhas nos limites da área sofrem influências devido ao efeito de borda. O usuário deve perceber que nos casos em que a anomalia se localiza nessas células são necessárias algumas mudanças no cálculo da segunda derivada.

Uma alternativa para superar esses problemas seria recorrer a definição de anomalia utilizando os critérios tradicionais (p. ex.: média mais 2 vezes o desvio-padrão) no cálculo das células das bordas.

2.2 Representação Booleana

A representação booleana utiliza a lógica binária na resolução dos problemas. Esse tipo de representação é de fundamental importância para a estrutura multivariada da análise característica.

Os locais ou pontos amostrados que possuem uma segunda derivada negativa para uma determinada variável é representada por 1, pois esses valores apresentam um interesse particular na medida que são superiores em relação aos valores vizinhos. O código zero é dado aos demais dados.

A representação espacial expressa através da forma binária apresenta uma certa vantagem de ser uma medida independente da amplitude, na qual a dimensão de uma anomalia não possui influência sobre a área definida como anômala. Em outras palavras, essa representação gera um conjunto de mapas que indicam somente as áreas cujos valores são superiores aos seus vizinhos mais próximos, que inevitavelmente tem um grande interesse em termos exploratórios.

2.3 Formulação de um modelo de "prospectividade"

Após a construção da matriz booleana (representação binária ou ternária), o próximo passo é o estabelecimento de um modelo na qual as células da região a ser estudada deverão ser comparadas. Os modelos são definidos dentro da região, a partir da seleção de um conjunto de células e de variáveis de interesse (células de referência). Esse processo de seleção é baseado no conhecimento da geologia da área, nos diferentes tipos de associação geoquímica e informações "a priori" sobre a metalogênese -

da área (mineralizações, paragênese, etc.).

A concepção do modelo é o passo mais importante nesse tipo de análise e que terá grande influência nos resultados. Um bom conhecimento da geologia da área é de suma importância, que implicará em maximizar as probabilidades de sucesso na seleção das áreas para futuros trabalhos exploratórios. No item 3 deste capítulo são apresentados os critérios utilizados na formulação dos modelos da área estudada.

Após a seleção do modelo, os pesos ou contribuição de cada variável são estimados. A título de ilustração, demonstraremos como são calculados os pesos num modelo hipotético com quatro variáveis e cinco células (FIGURA 48).

		CÉLULAS				
		1	2	3	4	5
VARIÁVEIS	1	1	0	1	1	0
	2	0	1	0	1	1
	3	1	0	1	1	1
	4	1	1	0	0	0

FIGURA 48 - EXEMPLO DE UM MODELO COM QUATRO VARIÁVEIS E CINCO CÉLULAS.

Na célula 1 os valores das quatro variáveis são: 1, 0, 1 e 1. Em seguida é calculada a "matriz-produto", obtida pelo produto da matriz original pela sua transposta (FIGURA 49). Cada linha dessa matriz produto é a medida da frequência de ocorrência entre uma dada variável com as demais. Nesse sentido, cada linha da matriz é um vetor cujo comprimento mede o grau de intersecção entre as variáveis. Os pesos ou contribuições das variáveis do modelo serão fornecidos através do maior autovalor obtida da "matriz-produto".

A seleção de um pequeno número de células para um grande número de variáveis pode produzir um modelo não robusto em relação ao contexto metalogenético da área estudada e conduzir a uma interpretação distorcida dos dados.

Matriz original (binária)

1	0	1	1	0
0	1	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0

Comparação da primeira linha da matriz original com si mesma e as demais linhas.

Linha 1 1 0 1 1 0 = 3 pares positivos

linha 1 1 0 1 1 0

Linha 1 1 0 1 1 0 = 1 par positivo

Linha 2 0 1 0 1 1

Linha 1 1 0 1 1 0 = 3 pares positivos

Linha 3 1 0 1 1 1

Linha 1 1 0 1 1 0 = 1 par positivo

Linha 4 1 1 0 0 0

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 & 1 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \end{vmatrix}$$

Matriz original

Transposta

Matriz produto

FIGURA 49 - CÁLCULO DA MATRIZ-PRODUTO.

2.4 Avaliação Regional das Células

O grau de associação de cada célula com o modelo é calculado através da multiplicação do vetor binário que representa as variáveis de cada célula pelo vetor característico (peso ou contribuições) do modelo selecionado. A associação é expressa na forma dos valores mais altos. O vetor característico é aquele associado à raiz característica da matriz-produto. A FIGURA 50 exibe um cálculo de uma célula com o modelo mencionado anteriormente.

Para facilitar a classificação dos graus de associação das células, pode-se utilizar os histogramas, que permite agrupá-los arbitrariamente em diferentes níveis. Os resultados classificatórios dos graus de associação com o modelo são impressos para cada célula através de técnicas de cartografia automática (ver item 3 deste capítulo), que permitem visualizar as áreas cujas as células apresentam maior vinculação com o modelo utilizado na Análise Característica.

3 APLICAÇÃO DOS MODELOS PARA A REGIÃO ESTUDADA

Um dos problemas mais críticos na Análise Característica é a definição dos modelos e das respectivas células da referência. A maior parte dessas células representa, anomalias que possuem algum vínculo com o tipo de modelo de mineralização e/ou de associação de elementos químicos previamente estabelecido. Entretanto, deve-se ressaltar que os modelos constituem uma idealização construída a partir de informações obtidas de diversos jazimentos, da dispersão dos elementos químicos e da experiência do pesquisador em exploração mineral.

Obviamente, nenhum objeto pode ser estudado simultaneamente dentro da gama enorme de suas propriedades, relações e contexto. Em qualquer investigação concreta, só se pode levar em consideração certas propriedades que permitem uma quantificação e relações do objeto, as quais combinadas resultarão no modelo propriamente dito.

A metalogênese, segundo SCHCHEGLOV (1979), está submetida a um conjunto de fatores vinculados aos processos geológicos que governam a distribuição no espaço e no tempo dos depósitos minerais. Em escala regional pode-se correlacionar os depósitos com um con-

junto grande de variáveis, tais como: estruturas tectônicas, da dos geológicos, a natureza e a distribuição da formação geológica preponderante na área, a associação dos elementos químicos dentre outras variáveis, de modo a possibilitar uma maior robustez ao modelo.

Em função dos aspectos mencionados, buscou-se na construção dos modelos de prospectividade para a área estudada considerar os seguintes critérios:

- a) os modelos devem refletir os ambientes geológicos da área;
- b) os modelos devem ser referenciados em células que possuem características específicas da área (células de referência);
- c) a seleção de variáveis (geoquímicas e geológicas) deve ser baseada em critérios que possibilitem definir um vínculo direto com os prospectos a serem pesquisados;
- d) os modelos devem estar correlacionados a prospectos específicos, e não serem concebidos como uma generalização.

A elaboração dos modelos para a Análise Característica da área estudada baseou-se nos aspectos acima mencionados, onde foram incorporadas às informações sobre a geologia da área, distribuição e a associação dos elementos químicos, os erros (variações) e parâmetros de amostragem geoquímica e os dados sobre as características específicos de alguns depósitos minerais.

As informações sobre os modelos de depósitos minerais foram obtidas a partir da excelente coletânea de trabalhos compilada por ERICKSON (1982) e das comunicações do Congresso de Stellenbosch realizado na África do Sul em 1975, onde são discutidos diversos modelos de mineralizações em terrenos metamórficos similares à área estudada.

De posse dessas informações foram concebidos quatro modelos de mineralizações, que representam uma síntese de associação mais provável de variáveis que podem conduzir a um prospecto. É importante ressaltar que a concepção dos modelos neste trabalho não pretende ter um critério absoluto em termos exploratórios e/ou metalogenéticos mas sim estabelecer uma estimativa baseada nas informações disponíveis acerca da área estudada.

A FIGURA 51 apresenta os quatro modelos de mineralização formulados para área em questão, contendo os elementos químicos associados que foram analisados, as litologias típicas e as lito

MODELO	ELEMENTOS QUÍMICOS ASSOCIADOS	LITOLOGIAS TÍPICAS	LITOL.SELECIONADAS NA ÁREA (INDICAT.)	PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM INCORPORADOS NO MODELO	REF.BIBLIOG.OBTIDAS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO
Mineralizações associadas a rochas básicas/ultrabásicas	Fe-Mg-Mn-Co-Cr-Cu-Ni-Sc-V	Rochas básicas e ultrabásicas	Gnaisses (GN) Migmatitos (MG) S.Roque (MBSR)	Granulometria (GL)	Beus & Grigorian (1977) Boyle (1974) Schcheglov (1974)
Modelo de mineralizações associadas a ambientes Vulcano-Sedimentares	Fe-Mn-Cr-Cu-Mo-Ni-Pb-V	Vulcânicos, Cherts, formações feríferas	S.Roque (FISR e MBSR) Gnaisses (GN) Xistos (XS)	Granulometria (GL)	Rugless (1983) Boyle (1974)
Mineralizações associadas a rochas granitoides	Ti-B-Ba-Cr-Cu-La-Mo-Nb-Pb-V-Y-Zr	Rochas granit. (periferia de corpos intrusivos) pegmatitos	Rochas granitoides (GR) Granodioritos (HG) Metadioritos (MD) Migmatitos (MG)	Área de bacia (BC) Granulometria (GL)	Tauson & Kozlov (1973) Levinson (1974) Finnemore (1975)
Bauxita com mineralizações associadas	Fe-Ti-Mn-Cr-Ga-Nb - V	Rochas portadoras de alumínio	S.Roque (MBSR e FISR) Gnaiss (GN) Xisto (XS)	Granulometria (GL) Pluviosidade (PL)	IPT (1981)

FIGURA 51 - MODELOS UTILIZADOS NA ANÁLISE CARACTERÍSTICA PARA A AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE MINERAL DA ÁREA.

logias selecionadas na área, os parâmetros de amostragem incorporados no modelo, a saber: granulometria, área de bacia e pluviosidade e as referências bibliográficas específicas obtidas para a construção do modelo, além dos trabalhos anteriormente mencionados.

Os resultados das variações (erros) de amostragem dos elementos químicos quantificados através das replicatas e duplicatas foram introduzidos no modelo, utilizando-se um fator arbitrário que foi multiplicado pelo autovalor de cada elemento, conforme as notas definidas no capítulo V. A TABELA 43 reproduz os resultados das replicatas e duplicatas, a perda da qualidade da informação e os pesos incluídos nos modelos para cada elemento químico. A idéia da ponderação se resume em assegurar um grau maior de confiabilidade aos dados geoquímicos em função dos erros obtidos na amostragem e análise química.

3.1 Análise dos Dados gerados pelos Modelos

A localização das células de referência para os quatro modelos da análise característica baseou-se nos resultados obtidos do tratamento dos dados geoquímicos descritos no capítulo VII, onde foram selecionados os domínios geoquímicos (associação de elementos químicos) e as anomalias com maior grau de similaridade com o modelo proposto. A FIGURA 52 apresenta as células de referência para os quatro modelos.

A área foi dividida em 767. células quadradas, com 39 colunas e 34 linhas, onde cada célula possui uma dimensão de 2 000 m de lado. A avaliação da dimensão ideal da célula já foi abordada no capítulo VIII. Para o cálculo do teor médio de cada elemento químico na célula foi utilizado o método do inverso da distância. A escolha deste método de ponderação em detrimento dos demais, deve-se ao fato de se tentar preservar o relevo geoquímico original inalterado. No tocante aos dados de pluviosidade e a área de bacia foi empregada a mesma metodologia. Os dados do conjunto de variáveis (elementos químicos + parâmetros de amostragem) foram submetidos ao cálculo da segunda derivada de acordo com o organograma da FIGURA 47.

Para as variáveis qualitativas (litologias) foi utilizado o critério de ausência (1)/presença (0) para cada célula. O critério de presença (1) de determinada litologia foi admitida quando esta

TABELA 43 - PONDERAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NOS MODELOS DA ANÁLISE CARACTERÍSTICA EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS DAS AMOSTRAS REPLICATAS E DUPLICATAS.

ELEMENTO	NOTA REPLICATA	NOTA DUPLICATA	NOTA REPL.+ DUPL.	PERDA DA QUALIDADE(%)	PESO DO MODELO
Fe	5	4	4	5	0,95
Ca	3	5	4	5	0,95
Mg	4	4	4	5	0,95
Ti	3	3	3	10	0,90
Mn	5	5	5	-	1,00
B	3	5	4	5	0,95
Ba	5	5	5	-	1,00
Co	3	3	3	10	0,90
Cr	3	4	3	10	0,90
Cu	2	4	3	10	0,90
Ga	5	4	4	5	0,95
La	1	3	2	15	0,85
Mo	1	3	2	15	0,85
Nb	2	4	3	10	0,90
Ni	2	3	2	15	0,85
Pb	1	3	2	15	0,85
Sc	1	3	2	15	0,85
Sr	4	5	4	5	0,95
V	1	4	2	15	0,85
Y	2	3	2	15	0,85
Zr	3	4	3	10	0,90

NOTA DE AVALIAÇÃO DAS REPLICATAS E DUPLICATAS.

1 - Problemática

2 - Fraca

3 - Razoável

4 - Boa

5 - Excelente

MODELOS :

- M1 MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS A ROCHAS BÁSICAS - ULTRABÁSICAS .
- M2 MINERALIZAÇÕES VULCANO - SEDIMENTARES
- M3 MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS A ROCHAS - GRANITÓIDES .
- M4 BAUXITA E MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS

FIGURA 52 - CÉLULAS DE REFERÊNCIA DOS MODELOS UTILIZADOS NA ANÁLISE CARACTERÍSTICA .

ocorria em aproximadamente 30% da área da célula, ou seja, cerca de $1,33 \text{ km}^2$ da célula. Este valor situa-se próximo à densidade da amostragem geoquímica. Deve-se salientar que, segundo este critério, algumas células podem apresentar duas ou mais litologias. As células com as litologias calculadas encontram-se nas FIGURAS de 53 a 59.

A TABELA 44 apresenta os pesos ou contribuição das variáveis para os quatro modelos. Os resultados dos parâmetros das modelagens, que permitem avaliar o grau de robusteza dos modelos construídos encontram-se na TABELA 45.

Os produtos escalares dos vetores da célula dos modelos e da região geram matrizes do "grau de associação" entre as células da região e os diferentes modelos utilizados. Os resultados dessas medidas foram dispostas em histogramas, conforme mostram as FIGURAS 60 a 63 para os quatro modelos respectivamente. Através do histograma esses dados foram ordenados em ordem crescente dispostos em quatro classes, onde a última classe indica o maior grau de associação das células com o modelo. Embora as classes são definidas arbitrariamente, buscou-se sempre utilizar um critério geológico/geoquímico na partição do histograma.

As classes foram agrupadas e mapeadas automaticamente nas células para os quatro modelos através de dois tipos de representação. Um primeiro tipo bidimensional onde as células com maior grau de associação com os modelos apresentam uma densidade de texturas mais elevada (FIGURAS 64 a 67). O segundo tipo possui uma representação tridimensional, na forma de bloco-diagrama com rotação N60W, onde as células com maior vínculo com os modelos apresentam um pico mais elevado (FIGURAS 68 a 71).

3.2 Programas Computacionais

Os programas computacionais necessários para a execução da Análise Característica obedecem o organograma apresentado na FIGURA 45, e foram construídos em módulos integrados na biblioteca do Sistema "ANACAT". Essa biblioteca foi desenvolvida e instalada no computador IBM4341 da Intertec Serviços Ltda, que executa os passos da análise característica através de um sistema interativo. A biblioteca ANACAT possui os seguintes módulos:

- MOVEL - divide os dados da região em células e executa o cálculo

FIGURA 53 - CÉLULAS QUE CONTÉM AS LITOLOGIAS DO GRUPO SÃO ROQUE (MBSR + FISR).

FIGURA 54 - CÉLULAS QUE CONTÉM OS GRANITOS (GR).

FIGURA 55 - CÉLULAS QUE CONTÉM OS GNAISSES (GN).

FIGURA 56 - CÉLULAS QUE CONTÉM OS MIGMATITOS (MG).

FIGURA 57 - CÉLULAS QUE CONTÉM OS METADIORITOS (MD).

FIGURA 58 - CÉLULAS QUE CONTÉM OS GRANODIORITOS (CHARNOCKITOS - HG).

FIGURA 59 - CÉLULAS QUE CONTÊM OS XISTOS (XS).

TABELA 44 - PESO OU CONTRIBUIÇÃO DAS VARIÁVEIS PARA OS MODELOS.

MODELOS VARIÁVEIS		ROCHAS BÁSICAS/ ULTRABÁSICAS	VULCANO- SEDIMENTAR	GRANÍTICAS	BAUXITA
E L E M E N T O	Fe	0,597	0,275	*	0,289
	Mg	0,374	*	*	*
	Ti	*	*	0,277	0,155
	Mn	0,159	0,307	*	0,155
	B	*	*	0,048	*
	Ba	*	*	0,090	*
	Co	0,246	*	*	*
	Cr	0,002	0,178	0,365	0,370
	Cu	0,352	0,225	0,277	*
	Ga	*	*	*	0,370
	La	*	*	0,235	*
	Mo	*	0,290	0,164	*
	Nb	*	*	0,164	0,155
	Ni	0,002	0,434	*	*
	Pb	*	0,251	0,303	*
	Sc	0,246	*	*	0,289
	Sr	*	*	*	*
	V	0,246	0,127	0,365	0,155
	Y	*	*	0,211	*
	Zr	*	*	0,182	*
L I T O L O G I A	FI	*	0,228	*	0,276
	GN	0,128	0,000	*	0,133
	GR	*	*	0,483	*
	HG	*	*	0,094	*
	MB	0,081	0,583		0,568
	MD	*	*	0,094	*
	MI	0,014	*	0,119	*
	XS	*	0,031	*	0,078
A M O S T R A G E M	PL	*	*	*	0,198
	BC	*	*	0,019	*
	GL	0,388	0,061	0,156	*

OBS.: * = variável não incluída no modelo

TABELA 45- PARÂMETROS OBTIDOS DA MODELAGEM NAS CÉLULAS DE REFERÊNCIA.

MODELO CARACT.	ROCHAS BÁSICAS/ ULTRABÁSICAS	VULCANO- SEDIMENTAR	GRANÍTICAS	BAUXITA
Nº de Células de Referência por variável	6	9	9	6
Nº Total de Células	78	108	162	78
Autovetor (raiz caract.)	6.95	21.76	15.56	16.15
Nº Total de 1's (anomal.)	18	38	40	29
Grau de Consis- tência	0,38	0,57	0,39	0,56

OBS.: Grau de consistência = autovetor/nº total de anomalias (1's)
nas células de referência.

VARIÁVEL : MODELO N. 1

MEDIA=0.515660+00 VARIANCIA=0.313680+00 ,MINIMO=0.14000E-01 ,MAXIMO=0.24310E+01 ,NUMERO DE AMOSTRAS= 525
 HISTOGRAMA EXPERIMENTAL LIM. INFERIOR=0.13485E+00 INT. CLASSE= 0.12085E+00

LIM. SUP.	*FREQ.	*FREQ. %	MEDIA	DESCALAZI
0.125	221	42.10	0.099	42.101**
0.256	53	10.10	0.208	41.251**
0.377	27	5.14	0.337	40.411**
0.497	30	5.71	0.442	39.571**
0.618	32	6.10	0.543	38.731**
0.739	31	5.90	0.672	37.891**
0.860	9	1.71	0.793	37.041**
0.981	19	3.62	0.906	36.201**
1.102	12	2.29	1.035	35.261**
1.223	18	3.43	1.151	34.521**
1.343	16	3.05	1.267	33.681**
1.464	6	1.14	1.376	32.831**
1.585	11	2.10	1.539	31.991**
1.706	8	1.52	1.656	31.151**
1.827	9	1.71	1.760	30.311**
1.948	8	1.52	1.882	29.471**
2.068	7	1.33	2.006	28.621**
2.189	1	0.19	2.102	27.781**
2.310	4	0.76	2.257	26.941**
	3	0.57	2.366	26.101**
			25.261**	
			24.421**	
			23.571**	
			22.731**	
			21.891**	
			21.051**	
			20.211**	
			19.361**	
			18.521**	
			17.681**	
			16.841**	
			16.001**	
			15.151**	
			14.311**	
			13.471**	
			12.631**	
			11.791**	
			10.941**	
			10.101**	
			9.261**	
			8.421**	
			7.581**	
			6.741**	
			5.891**	
			5.051**	
			4.211**	
			3.371**	
			2.531**	
			1.681**	
			0.841**	
			0.001	

CLASSES : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

FIGURA 60 - HISTOGRAMA DO GRAU DE ASSOCIACAO DAS CÉLULAS COM O MODELO DE ROCHAS BÁSICAS-ULTRABÁSICAS.

VARIÁVEL : MODELO 2

MEDIA=C.759010+00 VARIANCIA=0.324700+00 ,MINIMO=0.31000E-01 ,MAXIMO=0.27310E+01 ,NUMERO DE AMOSTRAS= 413
 HISTOGRAMA EXPERIMENTAL LIM.INFERIOR=0.16600E+00 INT.CLASSE= 0.13500E+00

LIM.SUP.*FREQ.*FREQ.*2	MEDIA \$ESCALA*2	
0.166	60 14.53	0.051 25.911
0.301	28 6.78	0.238 25.911
0.436	24 5.81	0.351 24.871
0.571	17 4.12	0.513 24.351
0.706	107 25.91	0.588 22.841
0.841	53 12.83	0.785 22.321
0.976	20 4.84	0.902 22.801
1.111	14 3.39	1.035 22.281
1.246	14 3.39	1.186 21.761
1.381	14 3.39	1.318 21.241
1.516	9 2.18	1.435 20.731
1.651	11 2.66	1.551 20.211
1.786	11 2.66	1.716 19.691
1.921	10 2.42	1.820 19.171
2.056	2 0.48	2.009 18.651
2.191	8 1.94	2.090 18.141
2.326	6 1.45	2.270 17.621
2.461	2 0.48	2.380 17.101
2.596	1 0.24	2.543 16.581
	2 0.48	2.700 16.061
		15.541
		15.031
		14.511
		13.991
		12.471
		12.951
		12.441
		11.521
		11.401
		10.881
		10.361
		9.851
		9.331
		8.811
		8.291
		7.771
		7.251
		6.741
		6.221
		5.701
		5.181
		4.661
		4.151
		3.631
		3.111
		2.591
		2.071
		1.551
		1.041
		0.521
		0.001

CLASSES : 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19
 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

FIGURA 61 - HISTOGRAMA DO GRAU DE ASSOCIACAO DAS CÉLULAS COM O MODELO VULCANO-SEDIMENTAR.

VARIÁVEL : MODELO 3

MEDIA=0.85892D+00 VARIANCIA=0.35982D+00 ,MINIMO=0.19000E-01 ,MAXIMO=0.30110E+01 ,NUMERO DE AMOSTRAS= 454
 HISTOGRAMA EXPERIMENTAL

 LIM. SUP. * FREQ. * FREQ. R * MEDIA * ESCALAZI
 0.169 44 9.69 0.107 30.40I **
 0.218 17 3.74 0.249 29.79I **
 0.469 20 4.41 0.406 29.18I **
 0.617 138 30.40 0.513 28.57I **
 0.767 49 10.79 0.692 27.96I **
 0.917 20 4.41 0.843 27.36I **
 1.066 32 7.05 0.982 26.75I **
 1.216 25 5.51 1.159 26.14I **
 1.365 18 3.96 1.301 25.53I **
 1.515 26 5.73 1.426 24.93I **
 1.665 10 2.20 1.577 24.32I **
 1.814 16 3.52 1.728 23.71I **
 1.964 12 2.64 1.889 23.10I **
 2.113 4 0.88 2.025 22.49I **
 2.263 7 1.54 2.181 21.89I **
 2.413 5 1.10 2.310 21.28I **
 2.562 6 1.32 2.489 20.67I **
 2.712 0 0.00 2.600 20.06I **
 2.861 2 0.44 2.738 19.45I **
 3 0.66 2.879 18.85I **
 18.24I **
 17.63I **
 17.02I **
 16.41I **
 15.81I **
 15.20I **
 14.59I **
 13.98I **
 13.37I **
 12.77I **
 12.16I **
 11.55I **
 10.94I **
 10.33I **
 9.73I **
 9.12I **
 8.51I **
 7.90I **
 7.30I **
 6.69I **
 6.09I **
 5.47I **
 4.86I **
 4.26I **
 3.65I **
 3.04I **
 2.43I **
 1.82I **
 1.22I **
 0.61I **
 0.00I **

CLASSES : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

FIGURA 62 - HISTOGRAMA DO GRAU DE ASSOCIAÇÕES DAS CÉLULAS COM O MODELO DE MINERALIZAÇÕES EM ROCHAS GRANITÓIDES.

VARIÁVEL : MODELO 4

MEDIA=C.67C6D+00, VARIANCIA=0.2858D+00, MINIMO=0.78000F-01, MAXIMO=0.26350E+01, NÚMERO DE AMOSTRAS= 496
 HISTOGRAMA EXPERIMENTAL NÚMERO DE CLASSES=20 LIM.INFERIOR=0.20605E+00 INT.CLASSE= 0.12805E+00

LIM. SUP.	*FREQ.	*FREQ. **	MEDIA	RESCALADA
0.206	110	27.18	C.134	22.181**
0.334	56	11.29	C.239	21.731**
0.462	25	5.04	C.402	21.291**
0.590	78	15.73	C.561	20.851**
0.718	63	12.70	C.679	20.401**
0.846	42	8.47	C.791	19.961**
0.974	22	4.44	C.907	19.521**
1.102	20	4.03	1.033	19.071**
1.230	10	2.02	1.180	18.631**
1.359	10	2.02	1.299	18.191**
1.487	10	2.02	1.426	17.741**
1.615	12	2.42	1.551	17.301**
1.743	10	2.02	1.669	16.851**
1.871	5	1.01	1.792	16.411**
1.999	5	1.01	1.927	15.971**
2.127	5	1.01	2.042	15.521**
2.255	2	0.40	2.179	15.081**
2.383	5	1.01	2.323	14.641**
2.511	5	1.01	2.490	14.191**
	1	0.20	2.639	13.751**
				13.311**
				12.861**
				12.421**
				11.981**
				11.531**
				11.091***
				10.651***
				10.201***
				9.761***
				9.321***
				8.871***
				8.431***
				7.981***
				7.541***
				7.101***
				6.651***
				6.211***
				5.771***
				5.321***
				4.881***
				4.441***
				3.991***
				3.551***
				3.101***
				2.661***
				2.221***
				1.771***
				1.331***
				0.891***
				0.441***
				0.001---

CLASSES : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

FIGURA 63 - HISTOGRAMA DO GRAU DE ASSOCIAÇÃO DAS CÉLULAS COM O MODELO DE BAUXITA E MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS.

FIGURA 64 - MAPA DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE MINERALIZACOES ASSOCIADOS A ROCHAS BÁSICAS-ULTRABÁSICAS.

FIGURA 65 - MAPA DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE MINERALIZACOES ASSOCIADAS AS ROCHAS GRANITÓIDES.

FIGURA 66 - MAPA DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE MINERALIZACOES VULCANO-SEDIMENTARES.

FIGURA 68 - MAPA TRIDIMENSIONAL DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE MINERALIZACOES ASSOCIADAS A ROCHAS BÁSICAS-ULTRABÁSICAS,

FIGURA 69 - MAPA TRIDIMENSIONAL DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE MINERALIZACOES VULCANO-
-SEDIMENTARES.

FIGURA 70 - MAPA TRIDIMENSIONAL DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE MINERALIZACAO ASSOCIADO A ROCHAS GRANITÓIDES.

FIGURA 71 - MAPA TRIDIMENSIONAL DO GRAU DE ASSOCIACAO ENTRE AS CÉLULAS E O MODELO DE BAUXITA E MINERALIZACOES AS SOCIADAS.

lo do teor da mesma através de diferentes métodos de ponderação.

- DERIVA - geração da segunda derivada conforme o algoritmo apresentado na FIGURA 47. Criação da matriz Booleana.
- AUTOV - cálculo dos autovalores e autovetores das células de referência e variáveis do modelo (pesos dos modelos)
- CELULA - Gerencia as células, executa as etapas de seleção das mesmas e calcula o grau de associação entre as células e os modelos.
- HISTO - Cálculo e impressão dos histogramas dos produtos dos pesos dos modelos e as células, e sua consequente divisão em classes.

A representação espacial no plano das células com densidades crescentes de texturas que indicam o grau crescente de associatividade com o modelo estabelecido foi produzida através da rotina POSESTAM enquanto a disposição tridimensional das células foi gerada através da rotina HIST3DIM, ambas as rotinas compõem o pacote gráfico GRAFUS, desenvolvido pelo convênio IPT/SCOPUS.

As classificações das células geradas pelo sistema ANACAT são gravados em disquetes em codificação binária, e processados no microcomputador NEXUS 1600 (16 bits) e os mapas finais são produzidos na impressora gráfica EI-8035 de dupla resolução. Esses equipamentos e demais periféricos estão instalados no Agrupamento de Sistemas Urbanos da Divisão de Engenharia de Sistemas - DES do IPT.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo de Rochas Básicas/Ultrabásicas, composto por 6 células de referência, situa-se na porção norte/nordeste da área junto à divisa São Paulo - Minas Gerais, associado a rochas pertencentes ao Maciço Alcalino Básico e Ultrabásico de Ponte Nova (CAVALCANTE et al., 1979) na forma de um corpo arredondado, que cortam o granito porfirítico adjacente. Nessa área destacam-se de forma evidente os elementos Cr, Ni, Co além do Mg, Cu, Ni, Sc e V. Segundo OLIVEIRA et al. (1983) e IPT (1984) foi cadastrada uma ocorrência de magnetita nessa região.

Em ordem decrescente de importância para o modelo construído

pela análise característica, as variáveis significativas foram: Fe, granulometria, Mg, Cu, Co, Sc, V, Mn e gnaiss. A participação da granulometria se justifica conforme os resultados obtidos no capítulo dos parâmetros de amostragem, pois essa variável tem uma grande influência junto aos teores de Fe, Cu e Co. Podemos destacar neste modelo 7 células com elevado grau de associação com modelo. As células situadas ao longo das rochas metabásicas do grupo São Roque e na porção sul-sudeste são mais significativas, tendo em vista coincidirem com as áreas selecionadas pelos métodos estatísticos classificados no capítulo, onde os teores de Cu, Co e Ni, mostraram-se bastante elevados.

As anomalias identificadas por esse modelo situadas a norte da cidade de Monteiro Lobato, localizam-se em rochas gnáissicas localmente migmatizadas, englobadas como unidade GNIA. É importante mencionar que um ramo da Falha Jundiuvira corta a área em sua porção sul, na direção N70E. Estas células coincidiram com teores anômalos, ou seja, com os valores situados acima da média mais duas vezes o desvio-padrão, conforme relacionados abaixo:

ELEMENTO	Nº DE PONTOS DE AMOSTRAGEM	MÉDIA + 2 DESVIOS	MÉDIA + 3 DESVIOS
Mg(%)	2	0,94	1,5
Ni (ppm)	2	46	76
Cu (ppm)	1	-	56
V (ppm)	1	160	-

Em trabalhos de reamostragem geoquímica realizados pelo IPT (1984) para Cu, Pb, Zn, Ni, Co e Mo em solos e sedimentos de corrente foram revelados teores mais expressivos para os solos. Embora esses teores não sejam anômalos, de acordo com os valores propostos por LEVINSON (1974), destacam-se por possuírem amostras com teores acima dos padrões regionais, principalmente para Co e Ni.

O modelo de mineralização vulcano-sedimentar abrangeu nove células de referência e atingiu o maior grau de consistência, indicando uma boa robusteza ao modelo, ou seja, um equilíbrio adequado entre o número de células de referência e as variáveis. Neste modelo as variáveis que tiveram um maior peso foram: litologias do Gru

po São Roque, Ni, Mn, Pb, Mo, Fe, Cu e V. As células de referência situam-se próximas a região de Itaberaba descrita por COUTINHO et al. (1982) e IPT (1981), como promissora para jazimentos exalativos vulcanogênicos.

Nas células com grau elevado de vínculo com esse modelo pode ser observado um "trend" na direção NE que pode indicar uma continuidade dessa formação vulcano-sedimentar descrita pelos autores acima. A representação tridimensional deste modelo na FIGURA 66 destaca com grande nitidez essa tendência. Este fato é confirmado pelos mapas de isoteores de Co, Cu, Ni, Cr, Mo e V cujas tendências coincidem com as células geradas pela Análise Característica e o contorno com o limites do Grupo São Roque. As áreas a NE próximas as células de referência estão sendo objeto de avaliação geológica pelo IPT (1985) através de métodos geoquímicos e geofísicos para investigação de metais base a Cu, Pb, Zn, Ni e Co.

Nessa região foram identificadas mineralizações auríferas primárias que estão associadas às rochas tufáceas e a níveis de metachert incluídos como seqüência vulcano-clástica e indícios menores em seqüências quartzo-manganesíferas. A mineralização secundária de ouro possui pouca expressão, sendo representada por estreitos aluviões e coluviões, ambos objetos de antigos garimpos e "a priori" com interesse econômico menor. Segundo dados do IPT (1982), o ouro que ocorre na região é fino, com partículas de dimensões em torno de 0,01mm, predominando a forma granular. Os teores analíticos de ouro referentes às rochas metachert e vulcanoclásticas estão compreendidos entre 1,56 a 2,56 ppm.

As anomalias selecionadas na porção norte-nordeste da área de acordo com o modelo proposto não possuem grande expressão, pois estão situadas nos contatos entre as rochas granitóides e gnaisses que não estão muito vinculados ao modelo vulcano-sedimentar. O aparecimento destas células nessa área deve-se principalmente aos teores de Mn que tem um peso importante no modelo.

É importante salientar que o Mn, assim como os demais elementos em menor grau devem ter uma alta correlação com a seqüência quartzo-manganesífera, composta de filitos grafitosos e níveis quartzo-manganesíferos. Essa unidade se estende por 1 500 metros nas células de referência do modelo, onde as duas unidades citadas anteriormente apresentam dois metros de espessura média aparente

(IPT, 1982a).

Em relação ao modelo de mineralização vinculado às rochas granitoides foram necessárias 9 células de referência com um grau de consistência aproximadamente igual ao modelo das Rochas Básicas/Ultrabásicas. Neste modelo as variáveis com maior peso foram: as rochas granitoides Cr, V, Pb, Ti, La, Y, Zr, Mo, Nb e as rochas migmatíticas. As células de referência situam-se em rochas graníticas com veios de pegmatitos com anomalias para Nb, La, Y, Cr, Zr, Pb, Cu localizada a NW da cidade de Igaratã.

Esse modelo selecionou 18 células com elevado grau de associação concentrando-se boa parte destas na porção norte da área, indicativo que nesta faixa existe uma boa possibilidade para o tipo de associação proposta. Nesse modelo as células com maior nível de associação coincidiram com as anomalias individualizadas através dos métodos ditos clássicos (ver capítulo V).

Na faixa noroeste podemos mencionar a existência de sulfetos associados a rochas graníticas que coincidem com o domínio nº 6 (ver FIGURA 38). Neste domínio podemos destacar também a presença de anomalias de Cu, Zr, La e Y. Tendo em vista que ocorrem várias unidades na área, torna-se difícil separar a influência da litologia do conteúdo dos elementos químicos, mesmo nas áreas onde sofreram reamostragens e amostras de concentrado de bateia pelo método EDTA. Dentre os resultados obtidos destacaram-se nos sedimentos de corrente os teores de Pb (3 ppm), Cu (3 ppm), Zr (6ppm) e Co (6 ppm), enquanto os resultados em solo mostraram-se mais erráticos.

As células que coincidem com o domínio nº 5, que engloba rochas charnockíticas, granulíticas e gnáissicas. É bastante frequente a presença de sulfetos disseminados em rochas granulíticas, principalmente associadas a pequenas fraturas. Nesse domínio observa-se um maior destaque para o Cu, Fe e Zr. Os teores nas reanálises estão acima do "background" regional, provavelmente relacionados aos sulfetos.

A célula situada na faixa sudoeste coincide com o domínio nº 10, onde predominam biotita e/ou hornblenda gnaisses de composição granítica a granodiorítica, tendo corpos lenticulares de rochas anfibolíticas e hornblenda gnaisses intercalados. Neste domínio, os elementos que se destacam são: Fe, Mn, Mg, Ba, Co, Sc e

Sr que não coincidem exatamente com a família estabelecida no modelo, talvez devido ação dos óxidos de Fe e Mn que mascaram os teores dos demais elementos.

As células de referência do modelo de bauxita situaram-se nos depósitos da região de Nazaré Paulista, englobando 6 (seis) células com índice de consistência igual a 0,56, bastante próximo ao índice obtido no modelo vulcano-sedimentar. O objetivo na utilização do modelo visa estabelecer um vínculo dentre a bauxita e algumas associações de elementos químicos que ocorrem na área. Obviamente não se pretende com este modelo selecionar áreas para a prospecção de bauxita, tendo em vista que um grande número de variáveis, tais como: teor de Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 e Perda ao fogo e de mais parâmetros geomorfológicos, drenagem, topografia dentre outros que participam do processo de bauxitização, as quais não foram incorporados no modelo, pela ausência de dados em toda a área pesquisada.

Os resultados da análise característica para esse modelo foram bastante satisfatórios, onde as células situadas a NE se alinham segundo o "trend" NE-SW de bauxitização proposto por SUSZCZNSKI (1978). Segundo o autor, esse fenômeno de bauxitização, de idade provável terciária, a qual denominou "Brazilian Atlantic Bauxitic Belt", processou-se segundo controles de mineralização (ou metalotectos) cujas intensidades de atuação, assim como suas interrelações mútuas, apresentam-se complexas e variadas segundo os diferentes fenômenos de interveniência mais localizada.

Um aspecto importante neste modelo é o destaque do peso das litologias do São Roque, principalmente MBSR (0,568) que na região são constituídas por rochas anfíbolíticas e metabásicas onde a bauxitização "in situ" se processou, e graças a sua maior resistência ao intemperismo constituem localmente os altos topográficos. Desta maneira, desenvolveu-se nessa região um manto irregular de mineralização, com espessura variável de 2,0 a 10,0 metros, o qual apresenta sua ocorrência restrita aos topos e meias encostas, que constituem em sua grande maioria os depósitos do tipo cobertura ("blanket deposits").

Dentre os elementos químicos no modelo proposto, o Ga e o Cr seguido do Fe e Sc desempenham um papel preponderante, que coincide com os resultados dos mapas de isoteores regionais e com a compactimentação desses elementos no processo de intemperismo. Em ambientes mais intensamente lixiviados, localizados nas camadas de top dos perfis de solo, os elementos mais móveis tendem a se concentrar

principalmente o Al e o Ga. O peso do modelo ao Fe deve-se a existência na área de um fácies ferruginoso que é na maioria das vezes acompanhado pelo V e Cr.

Pode-se notar alguma associação entre os resultados deste modelo com o vulcano-sedimentar na medida que ambos abrangem feições bastante comuns.

É importante salientar que em algumas células houve uma superposição com diversos modelos. Tal fato se explica pelo tipo, forma e concepção dos modelos e suas variáveis, onde se buscou definir as células de referência em função dos ambientes (anomalias) que tinham uma expressão local e regional.

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE CARACTERÍSTICA

A técnica multivariada de análise característica é uma ferramenta poderosa para a manipulação e interpretação de dados geológicos e geoquímicos. A combinação desses dados com modelos pré-estabelecidos, determinando-se o grau de associação tem produzido resultados positivos conforme ilustrado nesse capítulo do trabalho.

A maioria dos métodos convencionais na análise de dados geoquímicos não fornecem uma resposta adequada em relação a variação espacial da concentração dos elementos químicos. Esse obstáculo possui sérias implicações, na medida que as decisões no tocante a seleção de alvos estão fundamentadas no enriquecimento ou empobrecimento local e/ou regional de um dado teor.

Esse contexto é também perturbado pelas dificuldades inerentes dos dados geoquímicos, principalmente em áreas, onde os contrastes são muito fracos e as informações se apresentam em diferentes níveis de qualidade e amplitude. A utilização da segunda derivada possibilita superar esses obstáculos, pois se constitui numa ferramenta robusta, a qual não está submetida aos constrangimentos das hipóteses sobre distribuição estatística dos dados.

Os modelos propostos forneceram uma idéia de alcance que essa técnica possibilita. Esses modelos não possuem um caráter definitivo e único, a sua construção baseou-se nos resultados obtidos durante os trabalhos de análise dos dados geoquímicos, onde se constatou que a participação de variáveis geológicas e parâmetros de amostragem deveriam conduzir a otimização da informação geoquímica e a

seleção de alvos (prospectos) mais fidedignos e representativos da metalogênese regional.

Em função desses aspectos mencionados, gostaríamos de tecer algumas considerações sobre o método proposto:

- a) Conforme salientado anteriormente, o sucesso da análise característica depende inevitavelmente da experiência dos pesquisadores em utilizar as informações e os modelos adequados;
- b) a utilização de sistemas interativos é o requisito essencial para uma boa performance do método, pois envolve um número acentuado de alternativas, onde a interação homem-máquina é necessária para a realização do processo de decisões em cada passo.
- c) A dimensão ideal das células constitui um fator essencial que pode interferir nos resultados finais. Células com dimensão reduzida podem ocasionar a geração de informações redundantes, enquanto células maiores podem implicar em perda de anomalias significativas. Esse fato foi contornado recorrendo-se aos métodos geoestatísticos que permitem a avaliação de um padrão ótimo de células;
- d) a seleção das células de referência constitui uma grande dificuldade, principalmente em áreas onde inexistem indicações de jazidas e os constrates geoquímicos não são muito altos. Em vista desse fato, as células de referência foram escolhidas em áreas indicadas através dos métodos estatísticos tradicionais (ver capítulo VII).
- e) A expressão cartográfica constitui outro aspecto determinante desse método que permite maximizar toda a informação envolvida. Os programas que geram mapas de classes de associações bi e tridimensionais possibilitam visualizar padrões de variação espacial das anomalias com maior nitidez.

CAPÍTULO X

CONCLUSÕES

A utilização de uma metodologia de integração e interpretação de dados geoquímicos regionais através de técnicas quantitativas, constitui o principal produto deste trabalho que possibilitou a definição de alvos que podem atingir alto índice de sucesso na prospecção, de acordo com modelos de associações de elementos-traços e demais variáveis escolhidas.

É importante assinalar que essa metodologia implica numa nova conceituação da anomalia geoquímica, como função não somente do teor e distribuição de um único elemento químico, mas também do seu ambiente geoquímico, caracterizado pela associação e distribuição do conjunto global dos elementos. Deste modo, a identificação de anomalias geoquímicas significativas, implica no reconhecimento da estrutura da informação geoquímica e sua integração, bem como do espaço de variação dos dados, isto é, dados químicos, geográficos, etc.

Os resultados desse estudo para a região nordeste da cidade de São Paulo, mostraram a eficácia que essas técnicas possuem na detecção de anomalias em áreas, onde inexistem uma província metalogenética com jazidas em exploração e o contraste geoquímico dos teores é bastante fraco. Em campanhas geoquímicas regionais dentro de ambientes dessa natureza, existe sempre um risco inerente de confundir uma anomalia geoquímica de baixa intensidade com o "background" elevado. Essa situação é bastante comum nessas campanhas, devido a densidade de amostragem sempre elevada em função dos custos envolvidos. Deste modo, é fundamental a incorporação dos parâmetros do planejamento econômico nas campanhas geoquímicas, de modo a possibilitar a otimização da informação geoquímica multi-elemento, tornando assim o uso das técnicas quantitativas mais eficientes, que constituem parte importante deste trabalho.

A identificação das anomalias está intimamente ligada a qualidade dos resultados e o impacto dos erros de amostragem e análise.

se sobre a informação. Nesse trabalho, através de controles gráficos e estatísticos foi possível hierarquizar e classificar as variações (erros) dos elementos químicos e assinalar um peso na integração final dos dados na análise característica.

A participação das diversas componentes da amostragem (granulometria, litologia, pluviosidade, etc.) foram avaliadas sobre a área estudada, onde dentre as informações disponíveis somente a litologia, granulometria e o tipo de ocupação do solo tem variação real e podem vir a influenciar o conteúdo dos elementos químicos. Uma outra conclusão importante dos estudos efetuados é a não observação de uma interação entre esses fatores, que apresenta uma certa vantagem no tratamento dos dados geoquímicos, pois não é necessário interagir todos esses parâmetros para verificar a sua interferência na concentração dos elementos traços.

A análise geoestatística dos dados (variogramas e krigagem) possibilitou a definição de uma dimensão ótima de célula para análise característica, supondo que o variograma caracteriza o "back-ground" e a dimensão da célula é diretamente proporcional a anomlia. Os resultados da geoestatística demonstram que o teor de um elemento químico não é um dado totalmente aleatório e imprevisível mas constituiu-se uma informação ligada às características intrínsecas da amostra, tais como: a sua composição química e mineralógica, o ambiente geoquímico e principalmente sua posição geográfica.

A maioria dos métodos convencionais na análise de dados geoquímicos não fornecem uma resposta adequada de como deve ser incorporada a variação espacial da concentração dos elementos químicos e sua integração com os demais tipos de informação disponíveis no curso da exploração mineral. A técnica multivariada da análise característica atende esses requisitos e constitui uma ferramenta poderosa para conforme ficou demonstrado nesse trabalho, onde foi utilizada para a quantificação da potencialidade mineral da área estudada.

Em função do contexto metalogenético, geológico e da distribuição geoquímica da área estudada foram concebidos quatro modelos de prospectividade que permitiram a definição de alguns alvos com interesses exploratórios futuros. Nesses modelos foram introduzidas todas as informações recolhidas durante as etapas anteriores

deste trabalho, indo desde os erros e parâmetros de amostragem, dimensão da célula, ocorrências minerais até as associações de elementos químicos.

A grande vantagem da análise característica é o enquadramento de todas as variáveis dentro de uma mesma amplitude, que possibilita a utilização de variáveis de diferentes características. Outro aspecto importante é o uso da segunda derivada, onde a anomalia é definida em termos locais e espaciais e independentemente das hipóteses sobre as distribuições estatísticas dos dados.

Os modelos propostos forneceram uma visão da potencialidade mineral da região estudada, destacando-se no modelo associado a mineralizações vulcano-sedimentares um "trend" na direção NE, que sugere uma continuidade nessa direção, que está sendo objeto de avaliação geológica. Por sua vez, as células do modelo de mineralização associado a rochas granitoides coincidiram com as anomalias individualizadas através dos métodos convencionais.

Esses modelos não possuem um caráter definitivo e único, mas a sua elaboração constitui uma primeira tentativa, visando abrir caminho para a definição de "assinaturas" geoquímicas em áreas de pouco contraste geoquímico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICOLA, G. 1556. De re metallica; translated from first latin edition by H. C. Hoover and L.H. Hoover, 1950. New York, Dover Pub. 638 p.
- AITCHINSON, N. J. & BROWN, J.A.C. 1963. The lognormal distribution; special reference to its use in economics. Cambridge, Cambridge University Press. 176 p.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: INSTITUTO GEOGRÁFICO e GEOLÓGICO. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo. p. 169-262. (IGG. Boletim 41).
- ALMEIDA, F.F.M. de . 1976. The system of continental rifts bordering of Santos basin, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on CONTINENTAL MARGINS of ATLANTIC TYPE, São Paulo, 1975. An.Acad. Bras. Cien, 48(supl.):15-26.
- ALMEIDA, F.F.M. de. et al. 1977. Províncias estruturais brasileiras In: SIMPÓSIO de GEOLOGIA do NORDESTE, 8. Campina Grande, 1977. Atas... Campina Grande, SBG. p. 363-391.
- ALONSO, M.T.A. 1977. Vegetação. In: FUNDAÇÃO do INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: região sudeste. Rio de Janeiro. v.3, p.91.
- ARMOUR-BROWN, A. & NICHOL, I. 1970. Regional geochemical reconnaissance and the location of metallogenic provinces. Econ. Geol. , 65:312-330.
- BELJAVSKIS, P. et al. 1984. Prospeção de bauxita nas Serras de Itaberaba e Pedra Branca, SP. Rev. Cien. Terra (10):20-24.
- BEUS, A.A. & LEPELTIER, A. 1980. Geochemical exploration methods in search of small-scale mineral deposits. In: THE FUTURE of SMALL SCALE MINING, México, Turico, 1978. Proceedings... México, Turico, United Nations Institute for Training and Research. p. 71-73.
- BÖLVIKEN, B. & SINDING-LARSEN, R. 1973. Total error and other criteria in the interpretation of stream sedimentary data. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 4, London, 1972. Proceedings... London, Institution of Mining and Metallurgy. p.

- 285-295. (Geochemical exploration, 1972).
- BOTBOL, J.M. 1970. A model way to analyse the mineralogy of base metal mining districts. Soc. Min. Eng., Mar. p.56-59.
- BOTBOL, J.M. et alii. 1978. A regionalized multivariate approach to target selection in geochemical exploration. Econ. Geol., 73(4): 534-546.
- BOYLE, R.W. 1979. Geochemistry review. In: HOOD, P.H. ed. Geo physics and geochemistry in the search for metallic ores. Ottawa Geological Survey Canada. p. 25-31. (GSC. Econ. Geol. Rep. 31).
- BOYLE, R.W. 1984. The prospect for geochemical exploration predictable advances and new approaches. J. of Geoch. Expl. 21(1-3) : 1-18 (Spec. Issue the Assoc. of Expl. 11).
- BRIDGES, N.J. & MC CAMMON, R.B. 1980. DISCRIM: a computer program using an interactive approach to dissect a mixture of normal on lognormal distributions. Computers & Geosciences, 6:351-396.
- CAMPOS NETO, M.C. et al. 1983. Geologia das folhas de Piracaia e Igaratã. In: JORNADA sobre a CARTA GEOLÓGICA do ESTADO de SÃO PAULO, Escala 1:50 000, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, PRÓ-MINÉRIO. p.55-79.
- CAMPOS NETO, M.C. et al. 1985. Mapa Geológico provisório da folha de Igaratã. In: INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. Integração e preparo para editoração das folhas na escala 1:50 000 levantadas para o PRÓ-MINÉRIO em 1982. São Paulo (IPT. Relatório, 22 462).
- CAVALCANTE, J.C. et al. 1979. Projeto Sapucaí; Estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais; relatório parcial de Geologia. Brasília, DNPM. 299 p. il. (DNPM. Série Geologia 5, Seção Geologia Básica 2).
- CLARK, I. 1979. Practical geostatistics. London, Applied Science Pub. 129 p.
- COUTINHO, J.M.V. et al. 1982. Geologia e petrologia de sequência vulcano-sedimentar do grupo São Roque na Serra de Itaberaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais ... Salvador, SBG. v.2, p.624-640.

- CROISSANT, A. 1977. La geostatistique comme outil dans la prospection geochemie. In: SINGNATURE of ORE DEPOSITS in GEOCHEMICAL DATA, MEETING, Nancy, 1977. Proccedings... Nancy, Ed. Royer J.J. and LEYMARIE. p. 129-144. (Science de la Terre. Serie Informatique Geologique, 9).
- DAHLBERG, E.C. 1969. Use of model for relating geochemical prospecting data to geological attribute of a region South Mountain Pennsylvania. Quaterly of Colorado School of Mines, 64(1):195-216. (Apres. International Geochemical Exploration Symposium).
- DAVID, M. 1977. Geostatistical ore Reserve Estimation. Amsterdam, Elsevier, 364 p., (Developments in Geomathematics 2).
- DAVID, M. & DAGBERT, M. 1975. Lakeview revisited: variograms and correspondence analysis: new tools for the understanding of geochemical data. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 5; Vancouver, 1974. Proccedings... Amsterdam, Elsevier.p. 163-181 (Developments in Economic Geology, 1) (Feochemistry Exploration, 1974).
- DELFINER, P. 1979. Basic introduction to geostatistics. Paris, Ecole Nationale Superieure des Mines. 152 p. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de FONTAINEBLEAU, 78).
- DEPARTAMENTO de ÁGUAS e ENERGIA ELÉTRICA. 1972. Atlas pluviométrico do Estado de São Paulo: 1941 a 1970. São Paulo.
- DUNCAN, D.B. 1955. Multiple range and multiple F test. Biometrics, 11:1-42.
- DUNCAN, D.B. 1957. Multiple range tests for correlated and heteroscelastic means. Biometrics, 13:164-176.
- DUTRA, C.V. 1969. Trace Elements determination on six new USGS rock standards. Instituto de Geociências, UFRJ (Geologia 3).
- DUTRA, C.B. 1980. Espectrografia Óptica de Emissão. In: GOMES, C.B. coord. Técnicas analíticas instrumentais aplicada à geologia. São Paulo, Edgard Blücher.p. 121-158.

- ERICKSON, R.L. 1982. Characteristics of mineral deposit occurrences Washington, U.S. Geological Survey. 248 p. (USGS' Open File Report, 82-795).
- GARRETT, R.G. 1969. The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. Econ. Geol., 64:568-571.
- GARRETT, R.G. 1973. The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry; a reply. Econ. Geol., 68: 282-283.
- GARRETT, R.G. & NICHOL, I. 1967. Regional geochemical reconnaissance in eastern Sierra Leone. Trans. Inst. Min. Metall., 76, sec. B:97-112.
- GINZBURG, I.I. 1960. Principles of geochemical prospecting. London, Pergamon. 311 p.
- GIRAUD, P.N. 1983. Geopolitique des ressources minères. Paris, Ed. Economics. 750 p.
- GRANIER, C.L. 1973. Introduction a la prospection géochimique des gites métallifères. Paris, Masson. 143 p. il.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. 1984. A província Mantiqueira, setor oriental. In: ALMEIDA, F.F.M. de & HASUI, Y. Coord. O pré-cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blücher. p.308-344.
- HOWARTH, R.J. 1983. Statistic and data analysis in geochemical prospecting. In: HANDBOOK of exploration geochemistry. Amsterdam, Elsevier. V. 2.
- HOWARTH, R.J. 1984. Statistical applications in geochemical prospecting: a survey of recent developments. Journ. of Geoch. Expl. 21:41-62. (Apresentado no 10 Int. Geoch. Expl. Symp. in Espoo, Finland).
- HOWARTH, R.J. & LOWENSTEIN, P.L. 1971. Sampling variability of stream sediments in broad scale regional geochemical reconnaissance. Trans. Inst. Min. Metall., 80, sec B:363-372.
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. 1981a. Avaliação preliminar das potencialidades minerais das rochas granitóides do Estado de São Paulo. São Paulo (IPT. Relatório, 15 982).

- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. 1981b .
Mapa geológico do Estado de São Paulo escala 1:50 000; por C.A.
 Bistrichi e outros. São Paulo. V. 2 (IPT.Monografias, 6).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. 1981c.
Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo; por Waldir Lopes Pon
 çano e outros. São Paulo. 2V. (IPT. Monografias, 5).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. 1982a.
Avaliação das ocorrências de bauxita na região de Nazaré Paulis
 ta. São Paulo. 20 p. (IPT. Relatório, 17 257).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. 1982b.
Modelos metalogenéticos e possibilidades de mineralização no
 pré-cambriano do Estado de São Paulo. São Paulo. 164 p. (IPT.Re
 latório, 17 818).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. 1984.
Projeto Geoquímica Regional: avaliação de anomalias. São Paulo.
 18 V. (IPT. Relatório, 20 284).
- JOURNEL, A. 1977. Geostatistique minière. Paris, Ed. Centre Geosta
 tistique. 2 V.
- JOURNEL, A.G. & HUIJBREGERS, J. 1978. Mining geostatistics. London,
 Academic Press. 600 p.
- JULIANI, C. et al. 1983. Mineralizações de ouro nas Serras de Ita-
 beraba e Pedra Branca, SP., geologia e prospecção. In: SIMPÓSIO
 REGIONAL de GEOLOGIA, 3, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, SBG.
 p.301-312.
- KAPLAN, W. 1972. Cálculo avançado. São Paulo, Edgard Blücher, V. 1.
- KOCH, G.S. et al. 1971. Statistical analysis of gold assay and other
 trace-element strata. Washington, Bureau of Mines.
- LEPELTIER, R.C. 1969. A simplified statistical treatment of geoche
 mical data by graphical representantion. Econ. Geol., 64:538-550.
- LEWIS, R.W. 1984. Evaluation of statistical methods used in geoche
 mistry exploration.. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 33 ,
 Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. V.5, p.4570
 -4578.

- MATHERON, G. 1970. La théorie des variables régionalisées, et ses applications. Paris, École Nationale Supérieure des Mines. 212 p. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de FONTAINEBLEAU, 5).
- MATYSEK, P.F. et al. 1983. Statistical evaluation of the significance of categorical field parameters in the interpretation of regional geochemical data. Journ. of Geoch. Expl., 19:383-407.
- McCAMMON, R.B. et al. 1979. Drill-site favorability for concealed porphyry copper prospect, Row Canyon, Nevada, based on characteristic analysis of geochemical anomalies. Soc. Min. Eng. Fall Mtg. (Preprint 79-311):1-7.
- McCAMMON, R.B. et al. 1983. Characteristic analysis, 1981: final program and a possible discovery. J. Intern. Assoc. Math. Geol. 15(1):59-83.
- MELLINGER, M. et al. 1984. The multivariate chemical space and the integration of the chemical, geographical, and geophysical spaces. J. of Geoch. Expl. 21(1/3):143-148. (Special Issue the Assoc. of Expl. Geoch., 11).
- MICHIE, V.L. 1973. The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. Econ. Geol., 68:281-284.
- MIESCH, A.T. 1967. Theory of error in geochemical data. Washington, U.S. Geological Survey. 17 p. (USGS. Professional Paper 374).
- MIESCH, A.T. 1975. Variograms and variance components in geochemistry and ore evaluation: quantitative studies of the geological sciences. New York, The Geological Society of America. p.333-340 (GSA. Memoir, 142).
- MOTOOKA, J.M & GRIMES, D.J. 1976. Analytical precision of one sixth order semi-quantitative spectrographic analysis. Washington, US Geological Survey. 25 p. (USGS Circular, 738).
- OLIVEIRA, M.A.F. et al. 1983. Geologia da porção paulista das quadrículas de Camanducaia e Monteiro Lobato. In: JORNADA sobre a CARTA GEOLÓGICA do ESTADO de SÃO PAULO, em 1:50 000, 1, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, PRÓ-MINÉRIO, p. 81-108.

- OLIVEIRA, M.A.F. de et. al. 1985. Mapa geológico da Folha Camanducaia (parcial). In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Integração e preparo para editoração das folhas geológicas na escala 1:50 000 levantadas para o PRÓ-MINÉRIO em 1982. São Paulo (IPT, Relatório 22 462).
- PEREIRA, H.G. 1980. Traitmente des données de prospection geochemique b sur l'analyse structurale. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 25, 1980. Proccedings... Nancy, Ed. Royer, J. & Leymarte, p. 143-159. (Sciences de la Terre Serie Informatique Geologique, 14).
- PEREIRA JUNIOR, R.G.G. & SUSLICK, S.B. 1982. Variogramas: ajuste Interativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 32, Salvador, SBG. V. 4, p. 1745-1754.
- PLANT, J. et al. 1977. The systematic determination of accuracy and precision in geochemical exploration data. J. Geochem. Explor., 4:467-486.
- PORADA, H. 1978. The Damara-Ribeira Mogen of the Pan.African-Brazilian cycle in Namibia, South-West Africa, and Brasil as interpretation in terms of continental colliision. Tectonophysics, 57: 237-265.
- PRICE, V. 1979. NURE Geochemical investigation in the eastern United States. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 7, Rexedale, 1978. Proccedings... s.L., Ass. Expl. Geoch. p.161-172 (Geochemistry exploration 1978).
- PROGRAMA de DESENVOLVIMENTO de RECURSOS MINERAIS - PRÓ-MINÉRIO.1985. Programa Geoquímica Regional.
- QUINTANILHA, J.A. & SUSLICK, S.B. 1982. Controle de precisão em análises geoquímicas duplicadas: uma proposta metodológica. In : CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, SBG. V. 5, p.1912-1920.
- QUINTANILHA, J.A.; SUSLICK, S.B.; LEWIS JR.; R.W. 1984. Quantificação de parâmetros de amostragens em prospecção geoquímica. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro. V. 7, p.4871-4891.
- QUINTANILHA, J.A. & SUSLICK, S.B. 1985. Apresentação cartográfica

de informações geoquímicas. In: SIMPÓSIO "QUANTIFICAÇÃO em GEO CIÊNCIAS", Rio Claro, 1985. Resumos... Rio Claro, UNESP/I Geo. Cienc. Exatas/Comissão de Atividades Culturais, AGETEO, 1985.p. 72-76.

RAGUIN, E. 1976. *Géologie du granite*. Paris, Masson. 276 p.

ROQUIN, C. 1984. Traitement des données en prospection geochimique: facteurs du signal et selection de la compasant anormale. Orleães 2 V. (these Université D'Orléans).

ROUTHIER, P. 1980. Ousont les metaux pour l'avenir?; les provinces métalliques, essai de metallogénie globale. Orléans, BRGM. 410p. (BRGM. Mémoire, 105).

SADOWSKI, G.R. 1974. Tectonica da serra de Cubatão, SP. São Paulo. (Tese apres. Inst.Geoc./USP).

SADOWSKI, G.R. & CARNEIRO, C.D.R. 1974. O charnockito de São Francisco Xavier, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Resumo das Comunicações. Porto Alegre, SBG. p. 175-176 (Boletim 1).

SAMPSON, R.J. 1975. SURFACE II graphics system. Lawrence, Kansas Geological Survey. 240 p. (Series on Spatial Analysis, 1).

SAS user's guide: statistics, 1982. Cory, SAS Institute. 584 p.

SCHOBENHAUS FILHO, C. coord. 19-4. Carta geológica do Brasil ao milionésimo: folhas Assunção SG 21 e folha Curitiba SG-22. Brasília, DNPM (texto explicativo).

SHCHEGLOV, A.D. 1979. Fundamentals of Metallogenic analysis. Moscow, MIR Pub. 336 p.

SIEGEL, S. 1977. Estatística não paramétrica para as ciências do comportamento. s.L., McGraw-Hill. 350 p.

SINCLAIR, A.J. 1974. Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. J. Geoch. Expl., 3(2):129-145.

SINCLAIR, A.J. 1976. Applications of probability graphs in mineral exploration. Richmond, BC, Canada Assoc. of Exploration Geochemistry. 95 p. il. (special V.4).

SUSLICK, S.B. 1981. Étude geostatistique sur les données geochemi-

- ques. Paris, École Nationale Supérieure des Mines. 25 p.
- SUSLICK, S.B. 1983. O projeto geoquímica regional é a metodologia de interpretação. In: JORNADA sobre a CARTA GEOLÓGICA do ESTADO de SÃO PAULO em 1:50 000, 1, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, PRÓ-MINÉRIO. p. 193-225.
- SUSLICK, S.B. 1985. Tendências atuais dos métodos de prospecção geoquímica. São Paulo, IPT/DMGA/ARM. 8 p. (Conferência, Texto).
- SUSLICK, S.B. & QUINTANILHA, J.A. 1982. Biblioteca de programação do sistema de tratamento de dados geoquímicos regionais. versão 2. São Paulo. IPT/DMGA. 180 p. (Relatório Interno - Agrupamento de Recursos Minerais).
- SUSLICK, S.B.; QUINTANILHA, J.A.; LEWIS JR., R.W. 1984. Métodos exploratórios para análise de dados geoquímicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. p. 4864-4876.
- SUSLICK, S.B. et. al. 1977. Uma aplicação de variogramas na prospecção geoquímica de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de MINERAÇÃO, 7, Porto Alegre, 1977. Bol. Centro Moraes Rego, (41):351-390.
- SUSZCZYNSKI, E.F. 1978. New bauxite are deposits in the oriental portion of the Brazilian shield. In: INTERNATIONAL CONGRESSO for the STUDY of BAUXITES, ALUMINA and ALUMINUM, 4, Athens (Greece) 1978. Proceedings... Athens, National Technical University of Athens/ Department of Mineralogy, Petrology, Geology. V. 2, p. 837-839.
- TENNANT, C.B. & WHITE, M.L. 1959. Study of the distribution of some geochemical data. Econ. Geol., 54: 1281-1290.
- THOMPSON, M. & HOWARTH, R.J. 1973. The rapid estimation and control of precision by duplicate determination. Analyst, 98(1164):153-160.
- THOMPSON, M. & HOWARTH, R.J. 1978. A new approach to the estimation of analytical precision. J. Geoch. Expl., 9:23-30.
- TROLY, G. 1973. Le stratigie de la recherche minière. Industrie miniere, (N.Spéc. du 15-5-73):9-11 (Colloque de Geophysique Minière).

TUKEY, J.W. Exploratory data analysis. Reading Mass., Addison-Wesley, 1977. 506 p.

VELLEMAN, P.F. & HOAGLIN, D.C. 1981. Applications, basics, and computing of exploratory data analysis. Boston, Duschury Press.

WILLIAMS, X.K. 1967. Statistics in the interpretation of geochemical data. J. Geol. Geophys., 10:771-797.

BIBLIOGRAFIA

- AGTERBERG, F.P. Geomathematics, Mathematics, background and geoscience application. Amsterdam, Elsevier, 1974. 596 p.
- AGTERBERG, F.P. New problems at the interface between geostatistics and geology. In: GUARASCIO, M. et alii. Advanced geostatistics in the mining industry. Roma, NATO Advanced Study Institute, 1975. p. 403-421.
- AGTERBERG, F.P. Geochemical crustal abundance models. s.L., AIME, 1980. V. 2, p. 1823-1830.
- ALGARTE, J.P. et alii. Projeto sudeste do Estado de São Paulo; relatório final. São Paulo, DNPM/CPRM, 1974.
- ALLAIS, M. Méthode d'évaluation des perspectives économiques de la recherche minière sur des grands espaces, application au Sahara Algérien. Rev. de L'Ind. Min., (Special n.1R):329-381, 1956.
- ALMEIDA, F.F.M. de. As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira. Bol. Soc. Bras. Geol., São Paulo, 4(2):23-40, 1955.
- ALMEIDA, E.B. et al. Mapa de jazidas e ocorrências minerais do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 1981. 3 V. (IPT. Monografias, 4).
- ANHAEUSSER, C.A. Archean Metallogeny in Southern Africa. In: GEOKONGRES, 16, Stellenbosch, 1975. Abstracts of Papers... Stellenbosch, Geological Society of South Africa, 1975. p.1-4 (Main theme: Mineralization in Metamorphic Terranes).
- BEESON, R.; BRUNKE, E.G.; DENT, R.H. Regional geochemistry in North-West Cape Province. In: GEOKONGRES, 16, Stellenbosch, 1975. Abstracts of Papers... Stellenbosch, Geological Society of South Africa, 1975. p. 8-11 (Main theme: Mineralization in Metamorphic Terranes).
- BEGUINOT, J. et al. Un quart de siècle de prospection géochimique au BRGM. Bul. BRGM, sec. 2, (2-3):53-64, 1979.
- BERTANEU, J.; GONI, J.; WILHELM, E. The present state of the development of multielement geochemical prospection. In: GEOLOGICAL

- SURVEY PRAGUE. Methods of geochemical prospecting. Czechoslovakia, 1979 (International Association of Geochemistry and Cosmochemistry Working Group Geochemical Prospecting).
- BEUS, A.A. & GRIGORIAN, S.V. Geochemical exploration methods for mineral deposits. Illinois, Applied Pub., 1975. 287 p.
- BOTBOL, J.M. An application of characteristic analysis to mineral exploration in decision making in the mineral industry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on TECHNIQUES for DECISION-MAKING in the MINERAL INDUSTRY, 9, Montreal, 1970. Proceedings... Montreal, Canadian Inst. Metall., 1971. p. 92-99 (Special V. 12).
- BOTBOL, J.M. Notes on geochemical anomaly enhancement using maps of second derivatives. In: MEETING CANADIAN INSTITUTE of MINING and METALLURGY and NEWTOWLAND Dep. of MINES and ENERGY, St. Johns, 1984. 6p.
- BOYLE, R.W. Element associations in mineral deposits and indicator elements of interest in geochemical prospecting. Ottawa, Geological Survey Canada, 1974. 40 p. (GSC. Paper 74-45).
- BRADSHAW, P.M.D.; CLEWS, D.R.; WALKER, J.L. Exploration geochemistry. s.l., Barringer Research, 1972. 49 p. (Reprints from Mining in Canada and Canada Mining Journal).
- BRUMMER, J.J.; WALLIS, R.H.; GLEESON, C.F. Geological implications of regional stream-sediments geochemical data from south-central B:Columbia. Can. Inst. Min. Metall., 68:68-83. 1978.
- BURN, R.G. Exploration risk. CIM Bulletin, oct. p. 55-61, 1984.
- CARNEIRO, C.D.R. Geologia e evolução geológica da folha de São José dos Campos. São Paulo, 1977. 106 p. (Tese apres. Inst.Geoc. USP).
- CARNEIRO, C.D.R. Análise estrutura do grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, SP. São Paulo, 1983. 152 p. (Tese de doutoramento apres. Inst.Geoc./USP).
- CARPENTER, R.H. & HAVES, W.B. Fe-Mn oxide coatings in routine geochemical surveys. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 7, Rexdale, 1978. Proceedings...s.l., Ass. Expl. Geoch., 1979. p.277-288, (Geochemistry exploration 1978).

- COUTINHO, J.M.V. Estado atual de conhecimentos do pré-cambriano superior sul brasileiro, uma síntese. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. Anais... São Paulo, SBG, 1981 . V. 1, p.83-91.
- DACHS, J.N.W. Análise de dados e regressão. (Notas de curso) (Apres. SIMPÓSIO NACIONAL de PROBABILIDADE e ESTATÍSTICA, 3) A.L., 1978 124 p.
- DAHLEM, D.H. A national hydrogeochemical sampling program for uranium. Preprint Soc. Min. Eng., AIME, 76-L-38, 1976. 22 p.
- DE GEOFFREOY, J. & WU, S.M. A statistical study of one occurrences in the Greenstone Belt of the Canadian Shield. Econ. Geol., 65: 496-504. 1970.
- DELFINER, P. et alii. Manuel du programme BLUEPAC3-D. Paris, École Nationale Supérieure des Mines/Centre de Geostatistique et de Morphologie Mathématique, 1980.
- DIJKSTRA, S. & KUBIK, K. Auto correlation studies in the analysis of stream sediments data. In: ELLIOT, J.L. & FLETCHER, W.K. ed. Geochemical exploration, 1974. Amsterdam, Elsevier, 1975. p.141-161.
- DIXON, W.J. & MASSEY JR., F.J. Introduction to statistical analysis 3 ed. s.L., Ed. McGraw-Hill, 1969. 638 p.
- DOYLE, P.J. & FLETCHER, W.K. Regional geochemical mapping in areas lacking surface drainages: Cu, Fe, Mn and Zn content of overburden and soil in south-central Saskatchewan. Can. J. Earth. Sci. 16:1086-1093, 1979.
- DOUGENIK, J.A. & SHEEHAN, D.E. Symap user's manual. Harvard University, Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis , 1975.
- FERGUSON, R.B.; MADDOX, H.H.; WREN, H.F. Data-management and analysis for large scale hydro-geochemical reconnaissance. Computers and Geoscience, 3:453-458, 1977.
- FINNEMORE, S.H. Major and trace elements studies on units of the matchless amphibolite belt, Wendhoek district, S.W.A. In: GEO KONGRES MINERALIZATION in METAMORPHIC TERRANES, 16, Stellenbosch ,

- Geological Soc. of South Africa, 1975.
- FRANCO, R.R. Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da série São Roque, São Paulo. Bol. Fac.Ciênc.Letras USP, São Paulo, (189):1-81, 1958. (Mineralogia, 14) (Tese apres. à FFCL/USP).
- GARRETT, R.G. Exploration geochemistry in resource appraisal. J. of the Int. Assoc. for Math. Geol., 9(3):245-258, jun., 1977.
- GARRETT, R.G. Sampling considerations for regional geochemical surveys. Ottawa, Geological Survey Canada, 1979, p.197-205 (GSC.Current Research, Part. A, Paper 79-1A).
- GARRETT, R.G. Thresholds and anomaly interpretation. J. of Geoch. Expl., 21(1/3):137-142, 1984 (Spec. Issue the Assoc. of Expl. Geoch. 11).
- GARRETT, R.G. & GOSS, T.I. The evaluation of sampling and analytical variation in regional geochemical surveys. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 7, Rexdale, 1978. Proceedings... s.l., Ass. Expl. Geoch., 1979, p.371-383. (Geochemistry exploration, 1978).
- GIRAUD, P.N. & VENTURA. Le processus de developpement d'un projet minier, quelques données sur les phases, les délais, des coûts, les acteurs. In: SEMINAIRE d'ECONOMIE et de STRATEGIE MINIERES, Paris, 1979. Actes... Paris, ENSMP, 1979.
- GOODMAN, L.A. & KRUSKAL, W.H. Measures of association for cross classification. New York, Springer-Verlag, 1979. (Reprints of Journal of American Statistics Association).
- GRIFFITHS, J.C. Unit regional value concept and its application to Kansas. Lawrence, University of Kansas, 1969. (Geological Survey, special publication, 38).
- GRIFFITHS, J.C. Mineral resources assessment using the unit regional value concept. J. of the Int. Assoc. Math. Geol., 10:441-472, 1978.
- GUIGES, J. Prospection stratégique et métallogénie: l'exemple du massif armoricain. Mem. Soc. Geol., hors serie, 7, p. 333-337, 1976.

- rais industriais no Estado de São Paulo: análise mercadológicas
São Paulo, 1982, 2 V (IPT. Relatório, 17 704).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLOGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. Ouro
no Estado de São Paulo, avaliação das ocorrências selecionadas.
São Paulo, 1982, 2V. (IPT. Relatório, 16 680).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO DE SÃO PAULO. Proje-
to geoquímica regional: tratamento estatístico e interpretação.
São Paulo, 1980. 144 p. (IPT. Relatório 17 816).
- JULIANI, C. & BELJAVSKIS, P. Geologia e evolução geológico-estrutu-
ral preliminar do Grupo São Roque, região da Serra de Itaberaba
SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL de GEOLOGIA, 4, São Paulo, 1983. Atas
... São Paulo, SBG, 1983. p. 113-126.
- KNECHT, T. Staurolita da série São Roque. OIGG, 1(2):165-168, 1943.
- KNECHT, T. Sillimanita no Km 20 da Via Anhanguera. OIGG, 2 (2):129
-132, 1944.
- KNECHT, T. Ocorrências minerais do Estado de São Paulo e arredores.
São Paulo, IGG, 1950. 145 p.
- KNOCH JR., G.S. & CARPENTER, R.H. Computer methods of handling
stream sediment data. Tucson, SME, 1979.
- KOCH JR., G.S. & LINK, R. Anomaly recognition in exploration. Geo-
chemistry a statistical analysis of multivariate data. In: INTER-
NATIONAL APPLICATION of COMPUTER METHODS in the MINERAL INDUS-
TRY SYMPOSIUM, 14, Pennsylvania, 1976. Proceedings... New York,
Society of Mining Engineers of AIME, 1977. p. 312-321.
- KRUMBEIN, W.C. & SLACK, H.A. Statistical analysis of low-level ra-
dioactivity of Pennsylvanian black fissile phrale in Illinois.
Geol. Soc. Am. Bull., 67:739-762, 1956.
- LAVILLETISM, L. & WILHELM, E. Optimisation des methodes de pros-
pection geochemique regionales. Bull. BRGM, sec. 2, (1):45-56,
1982.
- LECUYER, P. & VILHEM, E. Methodes de traitement des données geoche-
miques regionales: exemple sur en prospect du Zaire. Orleans ,
BRGM, 1974. 13 p. (BRGM 74 MET/GCA010).
- LEONARDOS, P.H. Chumbo e prata no Estado de São Paulo. Rio de Janei

- HARBAUGH, J.W. & BONHAM-CARTER, G. Computer simulation in Geology. New York, John Wiley, 1970, 575 p.
- HARRIS, D.P. A probability model of mineral wealth. Soc. Mining Eng. Trans., 235:199-219, 1966.
- HASUI, Y. Geologia da folha de São Roque, São Paulo. Bol. IGUSP, (6):157-183, 1975.
- HASUI, Y. Aspectos geológicos essenciais da secção Caconde, Caraguatatuba e suas implicações na reconstituição da organização e evolução do pré-cambriano do leste paulista. In: JORNADA sobre a CARTA GEOLÓGICA do ESTADO de SÃO PAULO em 1:50 000, 1, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, PRÓ-MINÉRIO, 1983, p. 227-252.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. Evolução Geológica do pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, 6(3):180-200, 1976.
- HAWKES, H.E. The downstream dilution of stream sediment anomalies. J. Geoch. Expl., 6(3):345-358, 1976.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y.; PENALVA, F. Actions. O falhamento transcorrente de Taxaquara. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 21, Curitiba, 1967. Anais... Curitiba, SBG, 1967, p. 159-168.
- HOWARTH, R.J. Statistical applications in geochemical prospecting: a survey of recent developments. J. of Geoch. Expl., 21(113):41-62, 1984. (Spec. Issue The Assoc. of Expl. Geoch., 11).
- HOWARTH, R.J. et al. Statistical map analysis techniques applied to regional distribution of Uranium in stream sediment samples from the southeastern United States for the National Uranium resource evolution program. J. of the Int. Assoc. Math. Geol., 12(4):339-366, 1980.
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. Avaliação das áreas potenciais para Ouro-Caconde, Socorro e Nazaré Paulista. São Paulo, 1982, 87 p. (IPT. Relatório 17 891).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. Avaliação preliminar das potencialidades minerais do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981, 2 V. (IPT. Relatório 15 849).
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO. Mine

- ro, DNPM/DFPM, 1934, 44 p. (DNPM/DFPM. Boletim 6).
- LEVINSON, A.A. Introduction to exploration geochemistry. Calgary, Applied Pub., 1974, 612 p.
- LEWIS JR., R.W., SUSLICK, S.B.; QUINTANILHA, J.A. Analytical controls for geochemical projects in humid tropical regions. In: INTERNATIONAL WORKSHOP on GEOCHEMICAL EXPLORATION in TROPICAL RAIN FORESTS, Manaus, 1985. Program and abstracts... Manaus, Assoc. for Expl. Geochemists, 1985.
- LINK, R.F.; KOCH JR.; G.S.; SCHUENEMEYER, J.H. Statistical analysis of gold assay and other trace-element data. Washington, Bureau of Mines, 1971. (BM Report Investigation, 7495).
- MACKENZIE, B.W. Corporate exploration strategies. In: INTERNATIONAL APPLICATION of COMPUTER METHODS in the MINERAL INDUSTRY SYMPOSIUM, Johannesburg, 1973. Proceedings... Johannesburg, South African Inst. of Mining and Metallurgy, 1973, p. 1-8.
- MARANHAO, R.J.L. Introdução à pesquisa mineral. Fortaleza, BNB/ETENE, 1982. 680 p.il. (Monografias, 10).
- MATSUI, K. Onde, quando e como investir em ouro. Revista Brasil Mineral, (2) dez/ja., 1984.
- MATYSEK, P.F.; FLETCHER, W.K.; SINCLAIR, A. J. Statistical evaluation of the significance of categorical field parameters in the interpretation of regional geochemical sediment data. J. Geoch. Expl., 19:383-407, 1983.
- MCKELVEY, V.E. Mineral resources estimate and public policy. In: PROBST, D.A. & PRATT, W.P. (Eds). U.S. Mineral resources. Washington, US Geological Survey, 1973. p. 9-19 (USGS Professional Paper, 820).
- MIESCH, A.T. Critical review of some multivariate procedures in the analysis of geochemical data. J. Intern. Assoc. Math. Geol. 1(2):171-184, 1969.
- MIESCH, A.T. Geochemical survey of Missouri: methods of sampling, laboratory analysis and statistical reduction of data. Washington, U.S. Geol. Surv. 1976, 39p. (USGS Professional Paper. 954-A).

- MIESCH, A.T. Scaling variables and interpretation of eigenvalues in Principal Componentes Analysis of geologic data. J. Intern. Assoc. Math. Geol., 12(6):523-538, 1980.
- MIESCH, A.T. Estimation of the geochemical threshold and its statistical significance. J. of Geoch. Expl. 16:49-76, 1981.
- MYERS, D.E. et alii. Application of kriging to hydrogeochemical data from the national uranium resource evaluation program. Oak Ridge, US. Dept. of Energu/Union Carbide Corporation, Nuclear Division Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant, 1980. (Uranium' Resource Evaluation Project) (UC-51-Nuclear Raw Materials, Report Number K/UR 44).
- NICHOL, I.; JAMES, L.D.; VIEWING, . Regional geochemical reconnaissance in Sierra Leone. Trans. Inst. Min. Metall. sec. B: 146-161, 1966.
- ORFEVIL, J.P. Geoestatistique et analyse des données. In: GUARASCIO, M. et alii. Advanced geostatistics in the mining industry. Roma, NATO, Reidel Pub., Advanced Study Institute, 1975. p. 423-434.
- PLANT, J. Orientation studies on stream sediments for a regional geochemical survey in Northern Scotland. Trans. Inst.Min.Metall. , 80:324-344, 1971.
- POSCHL, A.G. The search for ore deposits in the third world - chances of sucess. Natural Resources and Development. 21, 1984.
- PRESTON, D.A. Fortran IV programs for sample normality. Lawrence , University of Kansas, States Geological Survey, 1976. 20 p.(KGS. Computer Contribution).
- QUINTANILHA, J.A.; LEWIS JR.; R.W.; SUSLICK, S.B. Enhancement of low-contrast geochemical data by the use of geochemical vectors. In: INTERNATIONAL WORKSHOP on GEOCHEMICAL EXPLORATION in TROPICAL RAIN FORESTS, Manaus, 1985. Program and abstracts...Manaus, Assoc. for Expl. Geochemists, 1985.
- QUINTANILHA, J.A.; SUSLICK, S.B. & LEWIS JR., R.W. Controle e Avaliação de erros em prospecção geoquímica. In: SIMPÓSIO QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, Rio Claro, 1985, Resumos..., Rio Claro , UNESP/Instituto de Geociências Exatas, Comissão de Atividades

- Culturais, AGETEO, 1985, p. 76-78.
- ROQUIN, C. Contribution a l'etude de la structure des données en prospection géochimique. Orléans, 1979. 79 p. (These Université D'Orléans).
- ROSE, A.W.; HAWKES, H.E.; WEBB, J.J. Geochemistry in mineral exploration. 2 ed, London, Academic Press, 1979. 657 p.
- RUGLESS, C.S. Lithogeochemistry of Wainaleka Cu-Zn volcanogenic deposit, Viti Levu, FIJI, and possible applications for exploration in tropical terrains. J. Geoch. Expl., 19:563-583, 1983.
- SILVA, A.T.S.F. et alii. 1977. Projeto Santos-Iguape: relatório final de geologia. São Paulo, DNPM/CPRM, 1977. V. 1.
- SINDING-LARSEN, R. & STRAND, G. Quantitative integration of mineral exploration data; a case study of the Grong Mining region of Norway. Episodes, (1):9-12, 1981.
- SINGER, D.A. & MOSER, D.L. A review of regional mineral resources assessment methods. Econ. Geol., 76:1006-1015, 1981.
- SMIRNOV, V.U. 1976. Geology of ore deposits. Moscow, MIR Pub., 1976. 520 p.
- SNOW, G.C. & MACKENZIE, B.E. 1981. The environment of exploration economic, organizational, and social constraints. In: SKINNER, B.J. ed. Economic Geology: seventy-fifth anniversary volume 1905-1980. Lancaster, The Economic Geology Pub., 1981. p. 871-896 il.
- SUSLICK, S.B. 1978. Estudo metodológico de técnicas estatísticas para análise de dados geoquímicos. São Paulo, 1978. 116 p. (Dissertação de Mestrado apres. Inst. Geoc. /USP).
- SUSLICK, S.B. Seminário introdutório de geoestatística. São Paulo, IPT, 1982. 40 p. (anotações).
- SUSLICK, S.B. & QUINTANILHA, J.A. A questão da definição de anomalias em prospecção geoquímica. Submetido à Rev. Ciênc. Terra, Salvador, SBG.
- SUSLICK, S.B. & QUINTANILHA, J.A. 1979. Algumas técnicas estatísticas para a avaliação de populações de dados geoquímicos. In: SIMPÓSIO REGIONAL de GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. Anais... Rio Claro, SBG, 1979. V. 2, p. 157-168.

- SUSLICK, S.B.; QUINTANILHA, J.A.; LEWIS JR., R.W.. Preliminary evaluation of geochemical data from tropical regions using box-plots. In: INTERNATIONAL WORKSHOP on GEOCHEMICAL EXPLORATION in TROPICAL RAIN FORESTS, Manaus, 1985. Program and abstracts...Manaus, Assoc. for Expl. Geochemists, 1985.
- SUSLICK, S.B.; SIRACUZA, J.R.; CARVALHO, W.S. 1978. Aplicação de análise de regressão na interpretação de dados geoquímicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais ... Recife, SBG, 1978, v. 5.
- TAUSON, L.V. & KOZLOV, V.D. Distribution functions and ratios of trace element concentrations as estimators of the ore-bearing potential of granites (Apres. London Symposium V 37-44, 1973).
- TUKEY, J.W. Exploratory data analysis. Reading Mass., Addison-Wesley, 1977. 506 p.
- UNITED NATIONS. Exploration for natural resources in developing countries financial requirement and institutcional mechanisms, 1978 (UNIESA/NRET/AC/2).
- WEBBS, J.S. et alii. Regional geochemical reconnaissance in the Namwala concession area, Zambia. Colorado, Imperial College Science of Technology Geoch. Prospecting Research Center, 1964. 42 p. (Tech. Comm., 47).
- ZEEGERS, H. Géochimie stratégique multi-éléments permis de sophiesaul. (Department de la Guyane). Orléans, BRGM/Direction des Travaux a l'Etranger, 1975. 35 p. (75 RME 006A0).
- ZEEGERS, H. Regional geochemical prospecting in equatorial areas: an example in French Guiana. In: INTERNATIONAL GEOCHEMICAL EXPLORATION SYMPOSIUM, 7, Golden, 1978. Proceedings... Golden, Watterson and Theobald, ed., 1978. p. 209-225.

ANEXO A

EQUAÇÕES, ESTATÍSTICAS E MODELOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE
DADOS CATEGÓRICOS

Os testes de independência entre duas variáveis para os dados em forma de frequência, com representação em uma tabela de dupla entrada (tabela de contingência com r linhas e c colunas), foram feitos através da estatística de qui-quadrado de Pearson:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \text{ onde: } O_{ij} = \text{valor observado na linha } i \text{ e coluna } j$$

$$E_{ij} = \text{valor esperado na linha } i \text{ e coluna } j$$

e a estatística usada para representar os resultados foi o phi:

$$\phi^2 = \frac{\chi^2}{g.l.}, \text{ onde: g.l. = graus de liberdade}$$

$$\chi^2 = \text{valor da estatística qui-quadrado}$$

No caso de dados contínuos, a estatística utilizada para medir a relação entre as variáveis, foi o coeficiente de correlação linear dado por:

$$R = \frac{\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad \text{onde: } x = \text{valor da variável } X$$

$$y = \text{valor da variável } Y$$

Quando da utilização de dados contínuos e frequenciais, a medida usada foi o coeficiente de correlação parcial, dado por:

$$R^2 = \frac{SQM}{SQT} \quad \text{onde: SQM = soma de quadrados do modelo de análise de variância a um fator fixo}$$

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

$$Y_{ij} = \text{valor observado da variável contínua}$$

$$\mu = \text{média geral comum a todas as observações}$$

$$\alpha_i = \text{efeito do } i\text{-ésimo nível do fator}$$

$$e_{ij} = \text{erro aleatório}$$

$$SQT = \text{soma de quadrados total = medida da variabilidade total das observações em relação à média geral } (\mu).$$

$$SQT = SQM + SQE$$

$$SQE = \text{soma de quadrados residual = medida da homogeneidade interna dos níveis do fator}$$

O modelo geral de análise de covariância adotado para avaliar as possíveis influências dos fatores e variáveis de campo sobre os elementos químicos foi:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_i + \delta_j + \dots + (\text{Var1})_i + (\text{Var 2})_j + \dots + e_{ij}$$

onde: μ = média geral

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$ = efeitos dos fatores de campo

Var 1, Var 2... = covariáveis = variáveis de campo

e_{ij} = resíduo aleatório

ANEXO B

TESTE DE DUNCAN

O teste de Duncan demanda um cálculo da amplitude total mínima significativa ("shortest significant range", em inglês) para o contraste entre a maior e a menor das médias.

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = S_r = S_p Z_p$$

onde:

S_r = amplitude total mínima significativa para duas médias

S_p = erro-padrão ponderado de $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ (obtido da Análise de Variância)

Z_p = amplitude total estudantizada tirado de tabelas, para o número de médias ordenadas abrangidos pelo contraste e o número de graus de liberdade. No caso dos fatores de campo, as comparações variaram entre duas a seis médias. Os valores de Z_p da tabela de Duncan (GOMES, 1978) ao nível de confiança de 5%, são:

nº médias = 2	$Z_p = 2,77$
nº médias = 3	$Z_p = 2,92$
nº médias = 4	$Z_p = 3,02$
nº médias = 5	$Z_p = 3,09$
nº médias = 6	$Z_p = 3,15$

A diferença ajustada (AD) entre p médias deve ser comparada com o valor crítico (S_r) que leva em consideração o número de observações para cada média:

$$AD = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \sqrt{2n_1 \cdot n_2 / (n_1 + n_2)}$$

onde:

n_1 = número de observações da média $\bar{X}_1$

n_2 = número de observações da média $\bar{X}_2$

Caso o valor AD supera o valor crítico (S_r) as médias são significativamente diferentes.

ANEXO C

RESULTADOS DOS TESTES DE ADERÊNCIA KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) e QUI-QUADRADO (χ^2) PARA NORMALIDADE E LOGNORMALIDADE E ESTIMATIVAS DO Nº DE POPULAÇÕES

MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

- Rochas Metabásicas do São Roque (MBSR)
- Filitos do São Roque (FISR)
- Granitos (GR)
- Gnaisses (GN)
- Migmatitos (MG)
- Charnockitos (HG)
- Xistos (XSIP)
- Total das amostras

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) ROCHAS METABÁSICAS S. ROQUE (MBSR)

	FF	CA	MG	TI	MN	B	BA	CO	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	1.00	0.55	0.52	0.84	0.78-0.07	0.08	0.86	0.76	0.87	0.72-0.05	0.75	0.60	0.79	0.14	0.81-0.09	0.79	0.31	0.07			
CA	0.55	1.00	0.61	0.56	0.67-0.01	0.43	0.60	0.33	0.49	0.43	0.04	0.36	0.55	0.46	0.11	0.47	0.40	0.43	0.26	0.17	
MG	0.52	0.61	1.00	0.45	0.52	0.03	0.41	0.60	0.52	0.48	0.55	0.11	0.30	0.39	0.53	0.11	0.46	0.24	0.42	0.36	0.15
TI	0.84	0.56	0.45	1.00	0.79-0.15	0.15	0.75	0.59	0.71	0.59	0.20	0.66	0.71	0.63	0.21	0.69	0.05	0.66	0.49	0.26	
MN	0.78	0.67	0.52	0.79	1.00-0.00	0.29	0.81	0.47	0.70	0.55-0.01	0.54	0.63	0.59	0.09	0.64	0.13	0.63	0.34	0.19		
B	-0.07-0.01	0.03-0.15-0.00	1.00-0.33-0.09	0.01-0.03-0.15-0.28-0.18-0.17-0.10-0.31-0.09-0.28-0.06-0.01-0.30																	
BA	0.08	0.43	0.41	0.15	0.29-0.33	1.00	0.18-0.07	0.05	0.26	0.27	0.05	0.26	0.07	0.19	0.08	0.81	0.06	0.08	0.22		
CO	0.86	0.60	0.60	0.75	0.81-0.09	0.18	1.00	0.68	0.82	0.64-0.08	0.63	0.58	0.77	0.11	0.77-0.01	0.70	0.31	0.07			
CR	0.76	0.33	0.52	0.59	0.47	0.01-0.07	0.68	1.00	0.74	0.65-0.00	0.55	0.37	0.75	0.04	0.70-0.24	0.65	0.30-0.00				
CU	0.87	0.49	0.48	0.71	0.70-0.03	0.05	0.82	0.74	1.00	0.65-0.13	0.66	0.50	0.77	0.12	0.77-0.15	0.74	0.23-0.03				
GA	0.72	0.43	0.55	0.59	0.55-0.15	0.26	0.64	0.65	0.65	1.00	0.10	0.51	0.49	0.68	0.19	0.62	0.12	0.63	0.26	0.04	
LA	-0.05	0.04	0.11	0.70-0.01-0.28	0.27-0.08-0.00-0.13	0.10	1.00-0.03	0.25-0.01	0.32-0.03	0.33-0.15	0.58	0.59									
MO	0.75	0.36	0.30	0.66	0.54-0.18	0.05	0.63	0.55	0.66	0.51-0.03	1.00	0.49	0.63	0.19	0.69-0.11	0.66	0.22	0.06			
NB	0.60	0.55	0.39	0.71	0.63-0.17	0.26	0.58	0.37	0.50	0.49	0.25	0.49	1.00	0.44	0.24	0.54	0.20	0.46	0.47	0.45	
NI	0.79	0.46	0.53	0.63	0.59-0.10	0.07	0.77	0.75	0.77	0.68-0.01	0.63	0.44	1.00	0.15	0.76-0.10	0.71	0.32	0.02			
PB	0.14	0.11	0.11	0.21	0.09-0.31	0.19	0.11	0.04	0.12	0.19	0.32	0.19	0.24	0.15	1.00	0.14	0.32	0.09	0.36	0.27	
SC	0.81	0.47	0.46	0.69	0.64-0.09	0.08	0.77	0.70	0.77	0.62-0.03	0.69	0.54	0.76	0.14	1.00-0.09	0.75	0.28	0.07			
SR	-0.09	0.40	0.24	0.05	0.13-0.28	0.81-0.01-0.24-0.15	0.12	0.33-0.11	0.20-0.10	0.32-0.09	1.00-0.12	0.10	0.30								
V	0.79	0.43	0.42	0.66	0.63-0.06	0.06	0.70	0.65	0.74	0.63-0.15	0.66	0.46	0.71	0.09	0.75-0.12	1.00	0.14-0.06				
Y	0.31	0.26	0.36	0.49	0.34-0.01	0.08	0.31	0.30	0.23	0.26	0.58	0.22	0.47	0.32	0.36	0.28	0.10	0.14	1.00	0.60	
ZR	0.07	0.17	0.15	0.36	0.19-0.30	0.22	0.07-0.00-0.03	0.04	0.59	0.06	0.45	0.02	0.27	0.07	0.30-0.06	0.60	1.00				

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) FILITOS S. ROQUE (FISR)

	FF	CA	MG	TI	MN	B	BA	CO	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	1.00	0.44	0.65	0.69	0.74	0.14	0.20	0.85	0.77	0.90	0.71-0.16	0.61	0.41	0.73	0.20	0.74-0.15	0.62	0.46-0.19			
CA	0.44	1.00	0.60	0.39	0.51	0.14	0.40	0.40	0.15	0.39	0.27-0.16	0.12	0.16	0.14	0.32	0.23	0.48	0.37	0.11-0.03		
MG	0.65	0.60	1.00	0.23	0.55-0.03	0.48	0.62	0.48	0.61	0.62-0.34	0.24	0.08	0.45	0.23	0.44	0.21	0.47	0.18-0.24			
TI	0.69	0.39	0.23	1.00	0.61	0.30-0.04	0.64	0.55	0.64	0.42	0.08	0.40	0.57	0.37	0.33	0.46-0.10	0.38	0.45	0.21		
MN	0.74	0.51	0.55	0.61	1.00	0.21	0.26	0.79	0.46	0.68	0.46-0.14	0.35	0.39	0.40	0.25	0.40-0.07	0.44	0.36-0.10			
B	0.14	0.14-0.03	0.30	0.21	1.00-0.22	0.07	0.25	0.22	0.06	0.03	0.05	0.20-0.02	0.10	0.04-0.14	0.13	0.10-0.09					
BA	0.20	0.40	0.48-0.04	0.26-0.22	1.00	0.16	0.02	0.07	0.39-0.08	0.03	0.07	0.04	0.24	0.02	0.63	0.20	0.03-0.10				
CO	0.85	0.40	0.62	0.64	0.79	0.07	0.16	1.00	0.67	0.76	0.60-0.05	0.43	0.32	0.61	0.26	0.59-0.13	0.43	0.44-0.06			
CR	0.77	0.15	0.48	0.55	0.46	0.25	0.02	0.67	1.00	0.80	0.64-0.19	0.46	0.28	0.63	0.17	0.58-0.27	0.42	0.42-0.23			
CU	0.90	0.39	0.61	0.64	0.68	0.22	0.07	0.76	0.80	1.00	0.64-0.29	0.57	0.38	0.70	0.26	0.66-0.19	0.66	0.41-0.23			
GA	0.71	0.27	0.62	0.42	0.46	0.06	0.39	0.60	0.64	0.64	1.00-0.12	0.39	0.22	0.53	0.31	0.60	0.06	0.42	0.25-0.17		
LA	-0.16-0.16-0.34	0.08-0.14	0.03-0.08-0.05-0.15-0.29-0.12	1.00-0.14	0.01-0.18-0.06-0.09-0.06-0.37	0.20	0.44														
MO	0.61	0.12	0.24	0.40	0.35	0.05	0.03	0.43	0.46	0.57	0.39-0.14	1.00	0.43	0.60	0.18	0.55-0.10	0.54	0.35-0.02			
NB	0.41	0.16	0.08	0.57	0.39	0.20	0.07	0.32	0.28	0.38	0.22	0.01	0.43	1.00	0.38	0.42	0.29	0.07	0.44	0.60	0.28
NI	0.73	0.14	0.45	0.37	0.40-0.02	0.04	0.61	0.63	0.70	0.53-0.18	0.60	0.38	1.00	0.11	0.76-0.25	0.68	0.46-0.22				
PB	0.20	0.32	0.23	0.33	0.25	0.10	0.24	0.26	0.17	0.26	0.31-0.06	0.18	0.42	0.11	1.00	0.10	0.34	0.24	0.29	0.16	
SC	0.74	0.23	0.44	0.46	0.40	0.04	0.02	0.59	0.58	0.66	0.60-0.09	0.55	0.29	0.76	0.10	1.00-0.17	0.56	0.43-0.11			
SR	-0.15	0.48	0.21-0.10-0.07-0.14	0.63-0.13-0.27-0.19	0.06-0.06-0.10	0.07-0.25	0.34-0.17	1.00	0.01-0.12	0.21											
V	0.62	0.37	0.47	0.38	0.44	0.13	0.20	0.43	0.42	0.66	0.42-0.37	0.54	0.44	0.68	0.24	0.56	0.01	1.00	0.35-0.29		
Y	0.46	0.11	0.18	0.45	0.36	0.10	0.03	0.44	0.42	0.41	0.25	0.20	0.35	0.60	0.46	0.29	0.43-0.12	0.35	1.00	0.39	
ZR	-0.18-0.03-0.24	0.21-0.10-0.09-0.10-0.06-0.23-0.23-0.17	0.44-0.02	0.28-0.22	0.16-0.11	0.21-0.29	0.39	1.00													

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) GRANITOS (GR)

	FE	CA	MG	TI	MN	B	BA	CO	CR	CU	GA	LA	MC	NB	NI	PB	SC	SF	V	Y	ZR
FE	1.00	0.56	0.57	0.65	0.60	-0.33	0.39	0.78	0.43	0.67	0.69	0.36	0.77	0.80	0.67	0.33	0.74	0.28	0.64	0.57	0.71
CA	0.56	1.00	0.74	0.52	0.56	-0.23	0.63	0.54	0.19	0.38	0.40	0.16	0.47	0.48	0.36	0.20	0.49	0.57	0.43	0.36	0.48
MG	0.57	0.74	1.00	0.44	0.50	-0.18	0.56	0.66	0.45	0.49	0.46	0.19	0.40	0.30	0.51	0.18	0.48	0.49	0.59	0.37	0.30
TI	0.65	0.52	0.44	1.00	0.23	-0.32	0.33	0.66	0.33	0.56	0.54	0.41	0.74	0.84	0.59	0.33	0.67	0.21	0.50	0.62	0.78
MN	0.60	0.56	0.50	0.63	1.00	-0.20	0.39	0.70	0.29	0.60	0.48	0.35	0.65	0.78	0.52	0.30	0.63	0.22	0.47	0.61	0.72
B	-0.33	-0.23	-0.18	-0.32	-0.20	1.00	-0.45	-0.22	-0.04	-0.16	-0.32	-0.26	-0.33	-0.34	-0.23	-0.22	-0.29	-0.41	-0.20	-0.12	-0.34
BA	0.39	0.63	0.56	0.33	0.39	-0.45	1.00	0.37	-0.02	0.18	0.38	0.09	0.29	0.30	0.17	0.22	0.27	0.65	0.33	0.12	0.35
CO	0.78	0.54	0.66	0.66	0.70	-0.22	0.37	1.00	0.55	0.64	0.52	0.35	0.59	0.57	0.68	0.21	0.69	0.28	0.63	0.54	0.50
CR	0.43	0.19	0.45	0.33	0.29	-0.04	-0.02	0.55	1.00	0.61	0.37	0.34	0.33	0.22	0.65	0.05	0.49	0.01	0.60	0.34	0.11
CU	0.67	0.38	0.49	0.56	0.60	-0.16	0.18	0.64	0.61	1.00	0.56	0.36	0.58	0.50	0.69	0.34	0.57	0.15	0.56	0.47	0.38
GA	0.69	0.40	0.46	0.54	0.48	-0.32	0.38	0.52	0.37	0.56	1.00	0.35	0.53	0.57	0.54	0.38	0.55	0.34	0.52	0.25	0.40
LA	0.36	0.16	0.19	0.41	0.35	-0.26	0.09	0.35	0.34	0.36	0.35	1.00	0.37	0.42	0.37	0.37	0.46	0.09	0.23	0.66	0.39
MC	0.77	0.47	0.40	0.74	0.65	-0.33	0.29	0.59	0.33	0.58	0.53	0.37	1.00	0.72	0.58	0.40	0.68	0.17	0.47	0.53	0.65
NB	0.80	0.48	0.30	0.84	0.73	-0.34	0.30	0.57	0.22	0.50	0.57	0.42	0.72	1.00	0.51	0.40	0.66	0.17	0.41	0.63	0.83
NI	0.67	0.36	0.51	0.59	0.52	-0.23	0.17	0.68	0.65	0.69	0.54	0.37	0.58	0.51	1.00	0.27	0.60	0.12	0.62	0.48	0.43
PB	0.33	0.20	0.18	0.33	0.30	-0.22	0.22	0.21	0.05	0.34	0.38	0.37	0.40	0.40	0.27	1.00	0.25	0.20	0.22	0.40	0.32
SC	0.74	0.49	0.48	0.67	0.63	-0.29	0.27	0.69	0.49	0.57	0.55	0.46	0.68	0.66	0.60	0.25	1.00	0.15	0.54	0.59	0.60
SF	0.28	0.57	0.49	0.21	0.22	-0.41	0.85	0.28	0.01	0.15	0.34	0.09	0.17	0.17	0.12	0.20	0.15	1.00	0.27	0.00	0.18
V	0.64	0.43	0.59	0.50	0.47	-0.20	0.33	0.63	0.60	0.56	0.52	0.23	0.47	0.41	0.62	0.22	0.54	0.27	1.00	0.28	0.34
Y	0.57	0.36	0.37	0.62	0.61	-0.12	0.12	0.54	0.34	0.47	0.35	0.66	0.53	0.63	0.48	0.40	0.59	0.00	0.28	1.00	0.64
ZR	0.71	0.48	0.30	0.78	0.72	-0.34	0.35	0.50	0.11	0.38	0.40	0.39	0.66	0.83	0.43	0.32	0.60	0.15	0.34	0.64	1.00

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) GNAISSES (GN)

	FE	CA	MG	TI	MN	B	BA	CC	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	1.00	0.28	0.31	0.81	0.73-0.12	0.18	0.75	0.54	0.75	0.70	0.24	0.63	0.68	0.63	0.24	0.56	0.20	0.69	0.30	0.44	
CA	0.28	1.00	0.55	0.24	0.45-0.14	0.50	0.33	0.13	0.18	0.25	0.15	0.24	0.37	0.25	0.17	0.18	0.52	0.25	0.15	0.31	
MG	0.31	0.55	1.00	0.10	0.35-0.10	0.48	0.48	0.40	0.37	0.35	0.20	0.18	0.22	0.44	0.25	0.27	0.36	0.23	0.23	0.02	
TI	0.81	0.24	0.10	1.00	0.71-0.05	0.19	0.54	0.31	0.57	0.48	0.35	0.59	0.76	0.41	0.22	0.37	0.24	0.57	0.37	0.61	
MN	0.73	0.45	0.35	0.71	1.00-0.00	0.29	0.65	0.24	0.60	0.42	0.28	0.47	0.60	0.41	0.18	0.34	0.24	0.42	0.32	0.41	
B	-0.12-0.14-0.10-0.05-0.00	1.00-0.27-0.15-0.18-0.08-0.22-0.06-0.18-0.18-0.17-0.09-0.21-0.24-0.20	0.10-0.21																		
BA	0.13	0.50	0.48	0.19	0.29-0.27	1.00	0.17-0.05	0.06	0.18	0.06	0.15	0.23	0.07	0.20	0.06	0.83	0.19-0.03	0.30			
CC	0.75	0.33	0.48	0.54	0.55-0.15	0.17	1.00	0.57	0.73	0.60	0.22	0.52	0.54	0.64	0.26	0.59	0.16	0.58	0.26	0.25	
CR	0.54	0.13	0.40	0.31	0.24-0.18-0.05	0.57	1.00	0.60	0.59	0.30	0.41	0.36	0.70	0.24	0.62-0.03	0.55	0.32	0.16			
CU	0.75	0.13	0.37	0.57	0.60-0.08	0.06	0.73	0.60	1.00	0.62	0.27	0.51	0.53	0.68	0.27	0.51	0.04	0.52	0.23	0.17	
GA	0.70	0.25	0.35	0.48	0.42-0.22	0.13	0.60	0.59	0.62	1.00	0.13	0.47	0.53	0.66	0.36	0.52	0.23	0.62	0.17	0.14	
LA	0.24	0.15	0.20	0.55	0.28-0.06	0.06	0.22	0.30	0.27	0.13	1.00	0.27	0.36	0.24	0.34	0.28	0.10	0.18	0.67	0.28	
MO	0.63	0.24	0.18	0.59	0.47-0.18	0.15	0.52	0.41	0.51	0.47	0.27	1.00	0.62	0.51	0.34	0.48	0.21	0.54	0.35	0.44	
NB	0.68	0.37	0.22	0.76	0.60-0.18	0.23	0.54	0.36	0.53	0.53	0.36	0.62	1.00	0.50	0.31	0.51	0.27	0.51	0.45	0.61	
NI	0.63	0.25	0.44	0.41	0.41-0.17	0.07	0.64	0.70	0.68	0.66	0.24	0.51	0.50	1.00	0.37	0.60	0.08	0.58	0.31	0.18	
PB	0.24	0.17	0.25	0.22	0.18-0.09	0.20	0.26	0.24	0.27	0.36	0.34	0.34	0.31	0.37	1.00	0.26	0.23	0.23	0.33	0.15	
SC	0.56	0.18	0.27	0.37	0.34-0.21	0.06	0.59	0.62	0.51	0.52	0.28	0.48	0.51	0.60	0.26	1.00	0.07	0.56	0.52	0.29	
SR	0.20	0.52	0.38	0.24	0.24-0.24	0.83	0.16-0.03	0.04	0.23	0.10	0.21	0.27	0.08	0.23	0.07	1.00	0.28	0.00	0.30		
V	0.69	0.25	0.23	0.57	0.42-0.20	0.19	0.58	0.55	0.52	0.62	0.18	0.54	0.51	0.58	0.23	0.56	0.28	1.00	0.14	0.33	
Y	0.30	0.15	0.23	0.37	0.32	0.10-0.03	0.26	0.32	0.28	0.17	0.57	0.35	0.45	0.31	0.33	0.32	0.00	0.14	1.00	0.44	
ZR	0.44	0.31	0.02	0.61	0.41-0.21	0.30	0.25	0.16	0.17	0.14	0.28	0.44	0.61	0.18	0.15	0.29	0.30	0.33	0.44	1.00	

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) MIGMATITOS (MG)

	FE	CA	MG	TI	MN	B	BA	CO	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR			
FE	1.00	0.48	0.41	0.82	0.78-0.10	0.22	0.72	0.57	0.73	0.69	0.23	0.71	0.78	0.70	0.33	0.52	0.32	0.69	0.42	0.66				
CA	0.48	1.00	0.69	0.48	0.57-0.15	0.61	0.42	0.32	0.25	0.42	0.06	0.34	0.39	0.38	0.17	0.29	0.65	0.41	0.13	0.39				
MG	0.41	0.69	1.00	0.30	0.44-0.18	0.66	0.55	0.37	0.29	0.41	0.07	0.25	0.19	0.40	0.12	0.29	0.57	0.40	0.10	0.21				
TI	0.82	0.48	0.30	1.00	0.79-0.02	0.23	0.57	0.35	0.59	0.52	0.30	0.64	0.86	0.51	0.36	0.47	0.32	0.53	0.49	0.75				
MN	0.78	0.57	0.44	0.79	1.00-0.03	0.30	0.64	0.29	0.59	0.44	0.32	0.59	0.75	0.50	0.28	0.43	0.33	0.51	0.50	0.69				
B	-0.10-0.15-0.18-0.02-0.03					1.00-0.09-0.06-0.12-0.12					0.05-0.00-0.07					0.03-0.17					0.14-0.02-0.05-0.12			0.01-0.13
BA	0.22	0.61	0.66	0.23	0.30-0.09	1.00	0.27	0.11	0.04	0.33-0.09	0.10	0.14	0.17	0.13	0.10	0.89	0.24-0.14					0.09		
CO	0.72	0.42	0.55	0.57	0.64-0.06	0.27	1.00	0.55	0.64	0.59	0.28	0.50	0.54	0.68	0.19	0.57	0.30	0.58	0.41			0.45		
CR	0.57	0.32	0.37	0.35	0.29-0.12	0.11	0.55	1.00	0.50	0.49	0.30	0.35	0.27	0.61	0.14	0.51	0.17	0.58	0.30			0.30		
CU	0.73	0.25	0.29	0.59	0.59-0.12	0.04	0.64	0.50	1.00	0.52	0.24	0.56	0.55	0.71	0.22	0.51	0.09	0.56	0.40			0.51		
GA	0.69	0.42	0.41	0.52	0.44	0.05	0.33	0.59	0.49	0.52	1.00	0.08	0.53	0.52	0.69	0.43	0.41	0.44	0.52	0.18			0.24	
LA	0.23	0.06	0.07	0.30	0.32-0.00-0.09			0.28	0.30	0.24	0.08	1.00	0.21	0.30	0.21	0.17	0.38-0.06					0.22	0.73	0.48
MO	0.71	0.34	0.25	0.64	0.59-0.07	0.10	0.50	0.35	0.56	0.53	0.21	1.00	0.69	0.57	0.35	0.44	0.20	0.50	0.35			0.50		
NB	0.78	0.39	0.19	0.86	0.75	0.03	0.14	0.54	0.27	0.55	0.52	0.30	0.69	1.00	0.55	0.37	0.49	0.23	0.41	0.57			0.78	
NI	0.70	0.38	0.40	0.51	0.50-0.17	0.17	0.68	0.61	0.71	0.69	0.21	0.57	0.55	1.00	0.26	0.50	0.24	0.54	0.37			0.42		
PB	0.33	0.17	0.12	0.36	0.28	0.14	0.13	0.19	0.14	0.22	0.43	0.17	0.35	0.37	0.26	1.00	0.11	0.25	0.17	0.28			0.14	
SC	0.52	0.29	0.29	0.47	0.43-0.02	0.10	0.57	0.51	0.51	0.41	0.38	0.44	0.49	0.50	0.11	1.00	0.16	0.43	0.42			0.43		
SR	0.32	0.65	0.57	0.32	0.33-0.05	0.89	0.30	0.17	0.09	0.44-0.06	0.20	0.23	0.24	0.25	0.16	1.00	0.32-0.17					0.10		
V	0.69	0.41	0.40	0.53	0.51-0.12	0.24	0.58	0.58	0.56	0.52	0.22	0.50	0.41	0.54	0.17	0.43	0.32	1.00	0.27			0.42		
Y	0.42	0.13	0.10	0.49	0.50	0.01-0.14	0.41	0.30	0.40	0.18	0.73	0.35	0.57	0.37	0.28	0.42-0.17					0.27	1.00	0.66	
ZR	0.66	0.39	0.21	0.75	0.69-0.13	0.09	0.45	0.30	0.51	0.24	0.48	0.50	0.78	0.42	0.14	0.43	0.10	0.42	0.66			1.00		

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) CHARNOCKITOS (HGAJ)

FE	CA	MG	TI	MN	B	BA	CO	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
1.00	0.61	0.37	0.95	0.84	0.16	0.32	0.70	0.37	0.71	0.86	-0.04	0.79	0.84	0.55	0.43	0.76	0.02	0.54	0.60	0.65
0.61	1.00	0.66	0.59	0.68	-0.06	0.66	0.44	0.02	0.41	0.53	-0.16	0.58	0.60	0.44	0.37	0.45	0.55	0.27	0.48	0.50
0.37	0.66	1.00	0.26	0.39	-0.35	0.55	0.37	-0.01	0.35	0.39	-0.18	0.30	0.22	0.37	0.37	0.25	0.61	0.15	0.30	0.13
0.95	0.59	0.26	1.00	0.88	1.00	0.14	0.44	0.65	0.25	0.73	0.70	0.04	0.68	0.77	0.51	0.47	0.67	0.16	0.53	0.80
0.84	0.68	0.39	0.88	1.00	0.14	0.44	0.65	0.25	0.73	0.70	0.04	0.68	0.77	0.51	0.47	0.67	0.16	0.53	0.80	0.80
0.16	-0.06	-0.35	0.33	0.14	1.00	-0.16	0.13	0.26	0.07	0.06	0.07	0.26	0.32	0.12	0.02	0.20	-0.28	0.16	0.19	0.32
0.32	0.66	0.55	0.35	0.33	0.14	0.44	0.65	0.25	0.73	0.70	0.04	0.68	0.77	0.51	0.47	0.67	0.16	0.53	0.80	0.80
0.32	0.66	0.55	0.35	0.33	0.14	0.44	0.65	0.25	0.73	0.70	0.04	0.68	0.77	0.51	0.47	0.67	0.16	0.53	0.80	0.80
0.70	0.44	0.37	0.58	0.65	0.13	0.22	1.00	0.47	0.65	0.73	0.11	0.56	0.53	0.51	0.32	0.68	-0.00	0.68	0.45	0.43
0.37	0.02	-0.01	0.32	0.29	-0.26	-0.32	0.47	1.00	0.57	0.46	0.31	0.27	0.34	0.48	0.02	0.55	-0.52	0.62	0.32	0.16
0.71	0.41	0.35	0.61	0.73	0.07	0.04	0.65	0.57	1.00	0.72	-0.01	0.59	0.59	0.68	0.39	0.60	-0.15	0.67	0.57	0.40
0.86	0.53	0.39	0.67	0.70	0.06	0.25	0.73	0.46	0.72	1.00	0.00	0.75	0.73	0.68	0.50	0.81	-0.01	0.61	0.56	0.51
-0.04	-0.16	-0.19	0.05	0.04	0.07	-0.23	0.11	0.31	-0.01	0.00	1.00	-0.07	0.10	-0.03	0.10	0.17	-0.19	0.14	0.27	0.16
0.79	0.58	0.30	0.76	0.68	0.26	0.28	0.56	0.27	0.59	0.75	-0.07	1.00	0.81	1.00	0.60	0.44	0.69	0.37	0.68	0.80
0.84	0.60	0.22	0.87	0.77	0.32	0.25	0.53	0.34	0.59	0.73	0.10	0.81	1.00	0.60	0.44	0.69	0.37	0.68	0.80	0.80
0.55	0.44	0.37	0.48	0.51	0.12	0.15	0.51	0.48	0.68	0.68	-0.03	0.59	0.60	1.00	0.39	0.61	-0.00	0.61	0.41	0.37
0.43	0.37	0.37	0.49	0.47	0.02	0.31	0.32	0.02	0.39	0.50	0.10	0.57	0.44	0.39	1.00	0.37	0.30	0.19	0.40	0.34
0.76	0.45	0.25	0.71	0.67	0.20	0.23	0.68	0.55	0.60	0.81	0.17	0.64	0.69	0.61	0.37	1.00	-0.04	0.58	0.65	0.61
0.02	0.55	0.61	0.13	0.16	-0.28	0.79	-0.00	-0.52	-0.15	-0.01	-0.19	0.12	0.03	-0.00	0.30	-0.04	1.00	-0.26	-0.02	0.12
0.54	0.27	0.15	0.39	0.53	0.16	0.06	0.68	0.62	0.67	0.61	0.14	0.39	0.37	0.61	0.19	0.58	-0.26	1.00	0.33	0.28
0.60	0.48	0.30	0.65	0.68	0.15	0.17	0.45	0.32	0.57	0.56	0.27	0.54	0.68	0.41	0.40	0.65	-0.02	0.33	1.00	0.71
0.65	0.50	0.13	0.80	0.70	0.32	0.33	0.43	0.16	0.40	0.51	0.16	0.63	0.80	0.37	0.34	0.61	0.12	0.28	0.71	1.00

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) XISTOS (XISP)

	FF	CA	MG	TI	MN	B	BA	CD	CR	CU	GA	LA	MO	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	1.00	0.09	0.33	0.57	0.57-0.15-0.05	0.71	0.61	0.78	0.67	0.22	0.15	0.43	0.68	0.32	0.56-0.08	0.67	0.34	0.07			
CA	0.09	1.00	0.48	0.13	0.42-0.08	0.36	0.14	0.09	0.12	0.13	0.03-0.22	0.13	0.11-0.05	0.01	0.44	0.08-0.10	0.15				
MG	0.33	0.48	1.00	0.06	0.44-0.18	0.35	0.52	0.34	0.37	0.41	0.11-0.04	0.10	0.40	0.19	0.27	0.31	0.25	0.16-0.05			
TI	0.57	0.13	0.06	1.00	0.40-0.19	0.03	0.40	0.35	0.52	0.35	0.60	0.13	0.79	0.45	0.20	0.22	0.07	0.45	0.50	0.34	
MN	0.57	0.42	0.44	0.40	1.00-0.11	0.23	0.56	0.24	0.49	0.31	0.19	0.00	0.22	0.40	0.16	0.20	0.06	0.26	0.13	0.03	
B	-0.15-0.08-0.18-0.19-0.11	1.00-0.16-0.27-0.26-0.15-0.32-0.25-0.13-0.13-0.17-0.16-0.30-0.24-0.39-0.11	0.00																		
BA	-0.05	0.36	0.35	0.03	0.23-0.16	1.00	0.08-0.33-0.08	0.05	0.12-0.18	0.09-0.12	0.26-0.29	0.85-0.20-0.07	0.16								
CD	0.71	0.14	0.52	0.40	0.56-0.27	0.08	1.00	0.67	0.79	0.65	0.30	0.34	0.35	0.77	0.40	0.64-0.01	0.67	0.35	0.08		
CR	0.61	0.09	0.34	0.35	0.24-0.26-0.33	0.67	1.00	0.65	0.71	0.25	0.31	0.41	0.82	0.22	0.68-0.31	0.72	0.48	0.02			
CU	0.78	0.12	0.37	0.52	0.49-0.15-0.08	0.79	0.65	1.00	0.68	0.21	0.22	0.33	0.78	0.19	0.59-0.10	0.64	0.27	0.05			
GA	0.67	0.13	0.41	0.35	0.31-0.32	0.05	0.65	0.71	0.68	1.00	0.12	0.26	0.38	0.75	0.32	0.53	0.05	0.65	0.22-0.10		
LA	0.22	0.03	0.11	0.60	0.19-0.25	0.12	0.30	0.25	0.21	0.12	1.00	0.24	0.62	0.22	0.48	0.10	0.16	0.22	0.75	0.49	
MO	0.15-0.22-0.04	0.13	0.00-0.13-0.18	0.34	0.31	0.22	0.26	0.24	1.00	0.19	0.30	0.32	0.36-0.14	0.36	0.24	0.03					
NB	0.43	0.13	0.10	0.75	0.22-0.13	0.09	0.35	0.41	0.33	0.38	0.62	0.19	1.00	0.48	0.38	0.27	0.13	0.42	0.62	0.41	
NI	0.68	0.11	0.40	0.45	0.40-0.17-0.12	0.77	0.82	0.78	0.75	0.22	0.30	0.48	1.00	0.24	0.66-0.15	0.71	0.42	0.10			
PB	0.32-0.05	0.19	0.20	0.16-0.16	0.26	0.40	0.22	0.19	0.32	0.48	0.32	0.38	0.24	1.00	0.18	0.26	0.34	0.46	0.32		
SC	0.56	0.01	0.27	0.22	0.20-0.30-0.29	0.64	0.68	0.59	0.53	0.10	0.36	0.27	0.66	0.18	1.00-0.27	0.73	0.31-0.10				
SR	-0.08	0.44	0.31	0.07	0.06-0.24	0.85-0.01-0.31-0.10	0.05	0.16-0.14	0.13-0.15	0.26-0.27	1.00-0.06-0.13	0.21									
V	0.67	0.08	0.25	0.45	0.26-0.39-0.20	0.67	0.72	0.64	0.65	0.22	0.36	0.42	0.71	0.34	0.73-0.08	1.00	0.37	0.10			
Y	0.34-0.10	0.16	0.50	0.13-0.11-0.07	0.35	0.48	0.27	0.22	0.75	0.24	0.62	0.42	0.46	0.31-0.13	0.37	1.00	0.43				
ZR	0.07	0.15-0.05	0.34	0.03	0.00	0.16	0.08	0.02	0.09-0.10	0.49	0.03	0.41	0.10	0.32-0.10	0.21	0.10	0.43	1.00			

MATRIZ DE CORRELAÇÃO (LOGARITMOS) GLOBAL

	FE	CA	MG	TI	MN	B	BA	CO	CR	CU	GA	LA	MC	NB	NI	PB	SC	SR	V	Y	ZR
FE	1.00	0.50	0.48	0.33	0.78	0.27	0.31	0.77	0.52	0.74	0.72	0.23	0.72	0.72	0.69	0.32	0.70	0.24	0.70	0.44	0.53
CA	0.50	1.00	0.65	0.48	0.57	0.25	0.56	0.47	0.18	0.34	0.40	0.13	0.39	0.49	0.36	0.23	0.39	0.56	0.39	0.25	0.41
MG	0.48	0.65	1.00	0.33	0.47	0.21	0.52	0.57	0.42	0.43	0.47	0.16	0.31	0.31	0.48	0.23	0.41	0.43	0.42	0.30	0.21
TI	0.33	0.48	0.33	1.00	0.78	0.26	0.32	0.62	0.34	0.58	0.55	0.36	0.68	0.31	0.52	0.34	0.57	0.29	0.56	0.52	0.68
MN	0.78	0.57	0.47	0.78	1.00	0.16	0.37	0.72	0.33	0.63	0.50	0.22	0.56	0.67	0.50	0.26	0.54	0.25	0.51	0.44	0.51
B	0.27	0.25	0.21	0.26	0.16	1.00	0.48	0.18	0.05	0.13	0.33	0.38	0.30	0.38	0.23	0.31	0.24	0.46	0.21	0.14	0.44
BA	0.31	0.56	0.52	0.32	0.37	0.48	1.00	0.27	0.05	0.12	0.37	0.24	0.25	0.38	0.14	0.32	0.19	0.86	0.23	0.10	0.41
CO	0.77	0.47	0.57	0.62	0.72	0.18	0.27	1.00	0.58	0.73	0.59	0.19	0.54	0.53	0.69	0.24	0.68	0.18	0.63	0.40	0.31
CR	0.52	0.18	0.42	0.34	0.30	0.06	0.05	0.58	1.00	0.63	0.49	0.19	0.36	0.26	0.66	0.12	0.56	0.07	0.56	0.33	0.08
CU	0.74	0.34	0.43	0.58	0.63	0.13	0.12	0.73	0.63	1.00	0.61	0.15	0.54	0.48	0.71	0.26	0.62	0.05	0.62	0.35	0.21
GA	0.72	0.40	0.47	0.55	0.50	0.33	0.37	0.59	0.49	0.61	1.00	0.27	0.52	0.57	0.63	0.40	0.58	0.34	0.60	0.30	0.31
LA	0.23	0.13	0.16	0.36	0.22	0.38	0.24	0.19	0.19	0.15	0.27	1.00	0.25	0.40	0.20	0.38	0.26	0.27	0.10	0.62	0.47
MC	0.72	0.39	0.31	0.68	0.56	0.30	0.25	0.54	0.36	0.54	0.52	0.25	1.00	0.66	0.56	0.38	0.60	0.21	0.55	0.41	0.52
NB	0.72	0.49	0.31	0.81	0.67	0.38	0.38	0.53	0.26	0.48	0.57	0.40	0.66	1.00	0.49	0.42	0.56	0.34	0.47	0.55	0.73
NI	0.69	0.36	0.48	0.52	0.50	0.23	0.14	0.69	0.66	0.71	0.63	0.20	0.56	0.49	1.00	0.29	0.66	0.09	0.64	0.41	0.27
PB	0.32	0.23	0.23	0.34	0.26	0.31	0.32	0.24	0.12	0.26	0.40	0.38	0.38	0.42	0.29	1.00	0.25	0.36	0.23	0.39	0.34
SC	0.70	0.39	0.41	0.57	0.54	0.24	0.19	0.68	0.56	0.62	0.58	0.26	0.60	0.56	0.66	0.25	1.00	0.12	0.61	0.43	0.38
SR	0.24	0.56	0.43	0.29	0.25	0.46	0.86	0.18	0.07	0.05	0.34	0.27	0.21	0.34	0.09	0.36	0.12	1.00	0.20	0.07	0.38
V	0.70	0.39	0.42	0.56	0.51	0.21	0.23	0.63	0.56	0.62	0.60	0.10	0.55	0.47	0.64	0.23	0.61	0.20	1.00	0.24	0.28
Y	0.44	0.25	0.30	0.52	0.44	0.14	0.10	0.40	0.33	0.35	0.30	0.62	0.41	0.55	0.41	0.39	0.43	0.07	0.24	1.00	0.56
ZR	0.53	0.41	0.21	0.68	0.51	0.44	0.41	0.31	0.08	0.21	0.31	0.47	0.52	0.73	0.27	0.34	0.38	0.38	0.28	0.56	1.00

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVAS DO N° DE POPULAÇÕES DAS METABÁSICAS SÃO ROQUE (MBSR) ÁREA (N = 298 AMOSTRAS),

ELEMENTO	TESTE DO K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	2
Ca	Não	Não	Não	Não	3
Mg	Não	Não	Não	Sim (1%)	2
Ti	Não	Não	Não	Não	3
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Sim (5 e 1%)	Não	Não	2
Ba	Não	Não	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	2
Cr	Não	Sim (5 e 1%)	Não	Não	2
Cu	Não	Não	Não	Não	3
Ga	Não	Não	Não	Não	2
La	Não	Não	Não	Não	3
Mo	Não	Não	Não	Não	3
Nb	Não	Não	Não	Não	3
Ni	Não	Não	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	3
Sc	Não	Não	Não	Não	3
Sn	Não	Não	Não	Não	3
V	Não	Não	Não	Não	3
Y	Não	Não	Não	Não	2
Zr	Não	Não	Não	Não	2

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO N° DE POPULAÇÕES DOS FILITOS SÃO ROQUE (FISR) (N = 93 AMOSTRAS),

ELEMENTO	TESTE DO K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	2
Ca	Não	Não	Não	Não	2
Mg	Não	Não	Não	Não	1
Ti	Não	Não	Não	Não	2
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
Ba	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	1
Cr	Não	Não	Não	Não	3
Cu	Não	Não	Não	Sim (1%)	2
Ga	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
La	Não	Não	Não	Não	2
Mo	Não	Não	Não	Não	-
Nb	Não	Não	Não	Não	2
Ni	Não	Não	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	1
Sc	Não	Não	Não	Não	1
Sr	Não	Não	Não	Não	1
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Não	Não	Não	2
Zr	Não	Não	Não	Não	2

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO N° DE POPULAÇÕES DOS GRANITOS (GR)
(N = 417 AMOSTRAS).

ELEMENTO	TESTE DE K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	3
Ca	Não	Não	Não	Não	2
Mg	Não	Não	Não	Não	2
Ti	Não	Não	Não	Não	3
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Não	Não	Não	3
Ba	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	3
Cr	Não	Não	Não	Não	3
Cu	Não	Não	Não	Não	2
Ga	Não	Não	Não	Não	2
La	Não	Não	Não	Não	3
Mo	Não	Não	Não	Não	2
Nb	Não	Não	Não	Não	1
Ni	Não	Não	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	2
Sc	Não	Não	Não	Não	2
Sr	Não	Não	Não	Não	2
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Não	Não	Não	3
Zr	Não	Não	Não	Não	2

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO N° DE POPULAÇÕES DOS GNAISSE (GN)
(N = 434 AMOSTRAS).

ELEMENTO	TESTE DO K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	1
Ca	Não	Não	Não	Não	3
Mg	Não	Não	Não	Não	2
Ti	Não	Não	Não	Não	2
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Não	Não	Não	2
Ba	Não	Não	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	3
Cr	Não	Sim(5% e 1%)	Não	Não	1
Cu	Não	Sim(5% e 1%)	Não	Não	2
Ga	Não	Não	Não	Não	2
La	Não	Não	Não	Não	2
Mo	Não	Não	Não	Não	2
Nb	Não	Não	Não	Não	2
Ni	Não	Sim(5% e 1%)	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	2
Sc	Não	Não	Não	Não	2
Sr	Não	Não	Não	Não	3
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Não	Não	Não	3
Zr	Não	Não	Não	Não	

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO N° DE POPULAÇÕES DOS MIGMATITOS
(MG) (N = 240 AMOSTRAS).

ELEMENTO	TESTE DE K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	3
Ca	Não	Não	Não	Não	3
Mg	Não	Não	Não	Não	2
Ti	Não	Não	Não	Não	3
Mn	Não	Não	Não	Não	3
B	Não	Não	Não	Não	3
Ba	Não	Não	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	2
Cr	Não	Não	Não	Não	2
Cu	Não	Não	Não	Não	2
Ga	Não	Não	Não	Não	2
La	Não	Sim (1%)	Não	Não	2
Mo	Não	Não	Não	Não	1
Nb	Não	Não	Não	Não	2
Ni	Não	Não	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	2
Sc	Não	Não	Não	Não	3
Sr	Não	Sim (1%)	Não	Não	2
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Não	Não	Não	2
Zr	Não	Não	Não	Não	2

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO N° DE POPULAÇÕES DOS CHARNOKITOS (HG)
(N = 59 AMOSTRAS).

ELEMENTO	TESTE DO K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	2
Ca	Não	Sim (1%)	Não	Não	2
Mg	Não	Não	Não	Não	1
Ti	Não	Não	Não	Não	2
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Não	Não	Não	2
Ba	Não	Não	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	1
Cr	Não	Não	Não	Não	2
Cu	Não	Não	Não	Não	2
Ga	Não	Não	Não	Não	3
La	Não	Não	Não	Não	3
Mo	Não	Não	Não	Não	1
Nb	Não	Não	Não	Não	3
Ni	Não	Não	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	2
Sc	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
Sr	Não	Não	Não	Não	2
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
Zr	Não	Não	Não	Não	2

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVAS DO N° DE POPULAÇÕES DO TOTAL DE AMOSTRAS DA ÁREA (N = 1650).

ELEMENTO	TESTE DO K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	2
Ca	Não	Não	Não	Não	2
Mg	Não	Não	Não	Não	2
Ti	Não	Não	Não	Não	3
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Não	Não	Não	2
Ba	Não	Não	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	2
Cr	Não	Não	Não	Não	2
Cu	Não	Não	Não	Não	2
Ga	Não	Não	Não	Não	3
La	Não	Não	Não	Não	2
Mo	Não	Não	Não	Não	3
Nb	Não	Não	Não	Não	2
Ni	Não	Não	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	3
Sc	Não	Não	Não	Não	2
Sr	Não	Não	Não	Não	2
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Não	Não	Não	2
Zr	Não	Não	Não	Não	2

SUMÁRIO DA DISTRIBUIÇÃO E ESTIMATIVA DO N° DE POPULAÇÕES DOS XISTOS (XS)
(N = 86 AMOSTRAS).

ELEMENTO	TESTE DO K-S		TESTE DO χ^2		Nº DE POPULAÇÕES SUPOST. PRESENTES
	NORMAL	LOG	NORMAL	LOG	
Fe	Não	Não	Não	Não	1
Ca	Não	Não	Não	Não	1
Mg	Não	Não	Não	Não	2
Ti	Não	Não	Não	Não	2
Mn	Não	Não	Não	Não	2
B	Não	Não	Não	Não	2
Ba	Não	Não	Não	Não	2
Co	Não	Não	Não	Não	2
Cr	Não	Não	Não	Não	2
Cu	Não	Sim (5% e 1%)	Não	Não	2
Ga	Não	Não	Não	Não	2
La	Não	Não	Não	Não	3
Mo	Não	Não	Não	Não	2
Nb	Não	Sim (1%)	Não	Não	2
Ni	Não	Sim (1%)	Não	Não	2
Pb	Não	Não	Não	Não	2
Sc	Não	Não	Não	Não	3
Sr	Não	Não	Não	Não	2
V	Não	Não	Não	Não	2
Y	Não	Não	Não	Sim (5% e 1%)	1
Zr	Não	Não	Não	Não	2

ANEXO D

AS EQUAÇÕES DA KRIGAGEM

A krigagem é uma técnica de estimação local que fornece o melhor estimador linear não vizado, fruto das combinações lineares de n in formações disponíveis da área a ser estimada. No caso da exploração geoquímica esta área pode ser reduzida a um ponto. A limita ção imposta pelos estimadores lineares, permite o cálculo da va riância de estimação através do momento de segunda ordem, a sa ber o variograma (ou covariância), cuja a inferência pode-se fa cilmente calcular.

Em prospecção geoquímica ou em outras aplicações semelhantes tem-se N teores $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_N)$ medidos nos pontos x_i , $i = 1, 2 \dots N$. Deseja-se estimar a quantidade y_0 , que pode ter qualquer relação linear com a variável estudada $z(x)$. Por exemplo:

(i) $y_0 = z(x_0)$: valor tomado por z em $x = x_0$

(ii) $y_0 = \frac{1}{V} \int_{V_0} z(x) dx$: média de $z(x)$ sobre a célula V_0 de volume V e centrado em $x = x_0$.

(iii) $y_0 = \frac{1}{V} \int_V z(x) dx$: valor médio de $z(x)$ sobre uma área V .

iv) $y_0 = \int z(x_0+u) p(u) du$: média ponderada de $z(x)$

Simplificando, pode-se restringir a um único caso, estabelecendo y_0 como o valor médio sobre o domínio V , admitindo que se V for reduzido ao ponto x_0 , o valor médio de z no ponto x_0 será $z(x_0)$:

$$y_0 = \frac{1}{V} \int_V z(x) dx$$

Para estimar y_0 , consideramos a média ponderada dos dados:

$$y_0^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

O problema consiste na escolha dos ponderadores λ_i da melhor

$$E[Y_0^2] = \frac{1}{V^2} \int_V dx \int_V E[Z(x) Z(x')] dx' = \bar{C}(V, V) + m^2$$

$$E[Y_0 Y_0^*] = \sum_{i=1}^N \lambda_i \frac{1}{V v_i} \int_V dx \int_{v_i} E[Z(x) Z(x')] dx' =$$

$$= \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{C}(V, v_i) + m^2$$

$$E[Y_0^{*2}] = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \frac{1}{v_i v_j} \int_{v_i} dx \int_{v_j} E[Z(x) Z(x')] dx' =$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \bar{C}(v_i, v_j) + m^2$$

Resta então:

$$E[Y_0 - Y_0^*]^2 = \bar{C}(V, V) - 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{C}(V, v_i) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \bar{C}(v_i, v_j)$$

Em termos de variograma podemos representar da seguinte forma:

$$= 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) - \bar{\gamma}(V, V)$$

onde:

$\bar{\gamma}(x_i, V)$ é o valor médio do variograma entre x_i e o volume V , i.e.

$$\bar{\gamma}(x_i, V) = \frac{1}{V} \int_V \gamma(x_i - x) dx$$

$\gamma(V, V)$ é a média do variograma entre dois pontos x e x' percorrendo independentemente o volume V

$$\bar{\gamma}(V, V) = \frac{1}{V^2} \int_V \int_V \gamma(x - x') dx dx'$$

A variância de estimação deve ser minimizada sob a condição de não viés (2) de tal modo que:

forma possível. Utiliza-se o asterisco como convenção para os estimadores da krigagem. O conceito chave aqui definido por Matheron (1971) é entender $z(x)$ como uma realização da função aleatória $Z(x)$. Tomemos então o estimador:

$$Y_0^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

Os ponderadores λ_i são calculados de tal modo que Y_0^* :

1) não tenha viés: $E[Y_0 - Y_0^*] = 0$

2) e que a variância de estimação seja mínima: $E[Y_0^* - Y_0]^2$ mínima

Para encontrar valores de λ_i que satisfaçam a primeira e a segunda condição, pode-se distinguir dois casos: o caso estacionário onde a média de $z(x)$ é constante, e o caso não-estacionário onde existe uma deriva e a média não permanece constante. Para facilitar a compreensão das equações de krigagem, restringiremo-nos ao caso estacionário, detalhes sobre a não-estacionaridade podem ser encontrados nos trabalhos de Matheron (1971), Journel & Huijbregts (1978) e Delfiner (1979).

No caso estacionário temos então:

$$\begin{cases} E[Z(x_i)] = m, & \text{constante} \\ E[Y_0] = m \end{cases}$$

$$\begin{cases} E[Z(x+h) - Z(x)] - m^2 = C(h) & \text{covariância} \\ E[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(x) & \text{variograma} \end{cases}$$

A condição 1 impõe que:

$$E\left[\sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) - Y_0\right] = \sum_{i=1}^N \lambda_i m - m = m \left(\sum_{i=1}^N \lambda_i - 1\right) = 0$$

A variância do erro ou de estimação pode ser expressa em termos de covariância da seguinte forma:

$$E[Y_0 - Y_0^*]^2 = \text{Var}(Y_0 - Y_0^*) = E[Y_0^2] - 2E[Y_0^* Y_0] + E[Y_0^{*2}] =$$

onde:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

O formalismo clássico de Lagrange permite que os ponderadores λ_i sejam obtidos, anulando-se as derivadas parciais $\frac{\partial \Psi}{\partial \lambda_i}$, $i = 1, 2, \dots, N$ da seguinte expressão:

$$\Psi = \text{VAR} (Y_0 - Y_0^*) - 2\mu \left(\sum_{i=1}^N \lambda_i - 1 \right)$$

Deste modo, obtêm-se assim um sistema linear conhecido como o sistema de krigagem.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + u = \gamma(x_i, V) & i = 1, 2, \dots, N \\ \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \end{cases}$$

A variância de krigagem é dada por:

$$\sigma_K^2 = \text{VAR}(Y_0 - Y_0^*) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + u$$

Para resolver numericamente o sistema é conveniente escrevê-lo sob a forma matricial:

$$[\Gamma] \cdot [X] = [B]$$

$$\begin{array}{c|c|c} \begin{array}{cccccc} 0 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & 0 & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2N} & 1 \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & 0 & \dots & \gamma_{3N} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \gamma_{N3} & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{array} & X & \begin{array}{c} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ u \end{array} = \begin{array}{c} \bar{\gamma}(x_1, V) \\ \bar{\gamma}(x_2, V) \\ \bar{\gamma}(x_3, V) \\ \vdots \\ \bar{\gamma}(x_N, V) \\ 1 \end{array} \\ \Gamma & & X & & B \end{array}$$

Se γ é um modelo adequado de variograma, Γ será sempre uma matriz não singular de solução igual a:

$$X = \Gamma^{-1} B$$

e variância:

$$\sigma_k^2 = X^T B - \bar{\gamma} (V, V) \quad (X^T = X \text{ transposta})$$

• Propriedades da krigagem

a) Pode-se observar que o sistema de krigagem leva em consideração os seguintes elementos:

- posição relativa do domínio (ou do ponto) a ser estimado e dos pontos experimentais:

- posição relativa dos pontos experimentais entre si: por intermédio dos variogramas γ_{is} (ou γ_{io}) e γ_{ij} .

- estrutura do fenômeno através do variograma γ

b) Quando o ponto x_0 coincide com o ponto experimental x_i , verifica-se que a solução do sistema $\lambda_i = 1$, $\lambda_j = 0$ para $j \neq i$. Neste caso, tem-se $z_0 = z(x_0)$, e a krigagem se transforma numa interpolação exata e conseqüentemente o valor $\sigma_k^2 = 0$.

c) No sistema de krigagem intervêm a estrutura, a configuração geométrica dos dados e o domínio a ser estimado.

ANEXO E

Ajustes dos variogramas experimentais globais e das unidades lito
lógicas.

No eixo das abscissas estão representados a diferença dos pares de pontos em metros e nas ordenadas o valor da função $\gamma(h)$.

TITULO: TOTAL - ELEMENTO FE (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1650

UNIDADE: %

MEDIA: 4.25

VARIANCIA: 11.94

EFEITO DE PEPITA: 5

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 5.

A1: 4600

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO MG (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1650

UNIDADE: %

MEDIA: 0.255

VARIANCIA: 0.0782

EFEITO DE PEPITA: 0.015

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.05

A1: 3400

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO MN (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1650

UNIDADE: PPM

MEDIA: 810.5

VARIANCIA: 715.1

EFEITO DE PEPITA: 400×10^3

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 320×10^3

A1: 5000

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO B (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1650

UNIDADE: PPM

MEDIA: 105.634

VARIANCIA: 25066

EFEITO DE PEPITA: 77000

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 81000

A1: 5500

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO CO (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1050

MEDIA: 10.67

UNIDADE: PP

VARIANCIA: 120.15

EFEITO DE PEPITA: 50

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

CI: 45.

AI: 5500

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO CR (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1050

MEDIA: 43.79

UNIDADE: PPM

VARIANCIA: 2526.9

EFEITO DE PEPITA: 900

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

CI: 700.

AI: 2400

L: 1

TITULO: TOTAL-ELEMENTO CU (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1050

MEDIA: 23.31

UNIDADE: PPM

VARIANCIA: 75.0

EFEITO DE PEPITA: 350

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

CI: 42.0

AI: 6000

L: 1

TITULO: TOTAL-ELEMENTO LA (S/TRANSF.)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1050

MEDIA: 351.16

UNIDADE: PPM

VARIANCIA: 271.1

EFEITO DE PEPITA: 130×10^3

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

CI: 110×10^3

AI: 2100

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO V (DADOS BRUTOS)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1650

UNIDADE: PPM

MEDIA: 88.39

VARIANCIA: 2793.1

EFEITO DE PEPITA: 1150

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 950.

A1: 4000

L: 1

TITULO: TOTAL - ELEMENTO ZR (S/TRANSF.)

NUMERO DE AMOSTRAS: 1650

UNIDADE:

MEDIA: 1791.27

VARIANCIA: 453.33

EFEITO DE PEPITA: 220×10^4

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 178×10^4

A1: 7500

L: 1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO FE (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 408

UNIDADE: X

MEDIA: 1.39

VARIANCIA: 0.49

EFEITO DE PEPITA: 0.1

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.3

A1: 6000

L: 1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO Mg (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 417

UNIDADE: X

MEDIA: 5.29

VARIANCIA: 0.74

EFEITO DE PEPITA: 0.25

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.35

A1: 5000

L: 1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO MN (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 417

UNIDADE: PPM

MEDIA: 0.52

VARIANCIA: 0.72

EFEITO DE PEPITA: 0.15

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.4

A1: 6000

L: 1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO B (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 417

UNIDADE: PPM

MEDIA: 3.36

VARIANCIA: 1.55

EFEITO DE PEPITA: 0.2

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.6

A1: 2500

L: 1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO CO (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:362

UNIDADE: PPM

MEDIA:2

VARIANCIA:0.52

EFEITO DE PEPITA:0.1

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.25

A1: 3500

L:1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO CR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:417

UNIDADE: PPM

MEDIA:3.29

VARIANCIA:0.6

EFEITO DE PEPITA:0.15

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.5

A1: 3500

L:1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO CU (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:401

UNIDADE: PPM

MEDIA:2.76

VARIANCIA:0.52

EFEITO DE PEPITA:0.2

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.2

A1: 3000

L:1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO LA (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:417

UNIDADE: PPM

MEDIA:4.97

VARIANCIA:2.23

EFEITO DE PEPITA:0.5

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.7

A1: 3000

L:1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO V (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 417

UNIDADE: PPM

MEDIA: 4.38

VARIANCIA: 0.3

EFEITO DE PEPITA: 0.1

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.13

A1: 3000

L: 1

TITULO: GRANITO - ELEMENTO ZR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 417

UNIDADE: PPM

MEDIA: 7.38

VARIANCIA: 1.18

EFEITO DE PEPITA: 0

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 1.

A1: 7000

L: 1

TITULO:GNAISSE - ELEMENTO FE (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:420

UNIDADE: %

MEDIA:1.22

VARIANCIA:0.33

EFEITO DE PEPITA:0.13

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.12

A1: 2500

L:1

TITULO: GNAISSE - ELEMENTO MG (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:434

UNIDADE: %

MEDIA:5.19

VARIANCIA:0.56

EFEITO DE PEPITA:0.25

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.2

A1: 2500

L:1

TITULO:GNAISSE - ELEMENTO MN (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:434

UNIDADE: PPM

MEDIA:0.36

VARIANCIA:0.45

EFEITO DE PEPITA:0.2

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.12

A1: 2800

L:1

TITULO:GNAISSE - ELEMENTO B (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:434

UNIDADE: PPM

MEDIA:3.7

VARIANCIA:1.23

EFEITO DE PEPITA:0.45

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.4

A1: 4000

L:1

TITULO: GNAISSE - ELEMENTO CO (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:398

UNIDADE: PPM

MEDIA:2.22

VARIANCIA:0.32

EFEITO DE PEPITA:0.18

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.88

A1: 4800

L:1

TITULO: GNAISSE - ELEMENTO CR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:434

UNIDADE: PPM

MEDIA:3.56

VARIANCIA:0.47

EFEITO DE PEPITA:0.15

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.17

A1: 4000

L:1

TITULO:GNAISSE - ELEMENTO CU (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:434

UNIDADE:PPM

MEDIA:2.67

VARIANCIA:0.38

EFEITO DE PEPITA:0.16

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.12

A1: 3000

L:1

TITULO: GNAISSE - ELEMENTO LA (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:434

UNIDADE: PPM

MEDIA:5.03

VARIANCIA:1.12

EFEITO DE PEPITA:0.5

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.45

A1: 3200

L:1

TITULO: GNAISSE - ELEMENTO V (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 434

UNIDADE: PPM

MEDIA: 4.32

VARIANCIA: 0.3

EFEITO DE PEPITA: 0.15

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.05

A1: 2400

L: 1

TITULO: GNAISSE - ELEMENTO ZR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 434

UNIDADE: PPM

MEDIA: 0.9

VARIANCIA: 0.77

EFEITO DE PEPITA: 0.3

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.42

A1: 4200

L: 1

TITULO:MIGMATITO - ELEMENTO - FE (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: %

MEDIA:1.27

VARIANCIA:0.34

EFEITO DE PEPITA:0.14

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.07

A1: 2500

L:1

TITULO: MIGMATITO - ELEMENTO Mg (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: %

MEDIA:5.51

VARIANCIA:0.57

EFEITO DE PEPITA:0.2

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.2

A1: 2000

L:1

TITULO:MIGMATITO - ELEMENTO MN (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: PPM

MEDIA:6.41

VARIANCIA:0.38

EFEITO DE PEPITA:0.15

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.13

A1: 3000

L:1

TITULO:MIGMATITO - ELEMENTO B (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: PPM

MEDIA:2.62

VARIANCIA:0.87

EFEITO DE PEPITA:0.35

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.47

A1: 5000

L:1

TITULO:MISMATITO - ELEMENTO CO (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: PPM

MEDIA:2.21

VARIANCIA:0.29

EFEITO DE PEPITA:0.145

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.08

A1: 3000

L:1

TITULO:MISMATITO - ELEMENTO CR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: PPM

MEDIA:3.7

VARIANCIA:0.32

EFEITO DE PEPITA:0.17

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.13

A1: 3000

L:1

TITULO:MISMATITO - ELEMENTO CU (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: PPM

MEDIA:2.94

VARIANCIA:0.34

EFEITO DE PEPITA:0.18

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.14

A1: 3000

L:1

TITULO:MISMATITO - ELEMENTO LA (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:240

UNIDADE: PPM

MEDIA:5.81

VARIANCIA:0.82

EFEITO DE PEPITA:0.4

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.36

A1: 4200

L:1

TITULO: MIGMATITO - ELEMENTO V (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 240

UNIDADE: PPM

MEDIA: 4.4

VARIANCIA: 0.19

EFEITO DE PEPITA: 0.00

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.08

A1: 3500

L: 1

TITULO: MIGMATITO - ELEMENTO ZR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS: 240

UNIDADE: PPM

MEDIA: 7.23

VARIANCIA: 0.61

EFEITO DE PEPITA: 0.35

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S): 1

C1: 0.21

A1: 3500

L: 1

TITULO: HS - ELEMENTO FE (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

MEDIA:1.73

UNIDADE: %

VARIANCIA:0.47

CI: 0.17

A1: 2200

L:1

TITULO:GRANODIORITOS - ELEMENTO MG (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

MEDIA:5.5

UNIDADE: %

VARIANCIA:0.19

CI: 0.24

A1: 3500

L:1

TITULO:GRANODIORITOS - ELEMENTO MN (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

MEDIA:0.69

UNIDADE: PPM

VARIANCIA:0.49

CI: 0.21

A1: 4200

L:1

TITULO:GRANODIORITOS - ELEMENTO B (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

MEDIA:2.73

UNIDADE: PPM

VARIANCIA:0.76

CI: 0.

A1: 3000

L:1

TITULO:GRANODIORITOS - ELEMENTO CO (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

UNIDADE: PPM

MEDIA:2.52

VARIANCIA:0.43

EFEITO DE PEPITA:0

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.35

A1: 3000

L:1

TITULO:GRANODIORITOS - ELEMENTO CR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

UNIDADE: PPM

MEDIA:3.75

VARIANCIA:0.26

EFEITO DE PEPITA:0

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.3

A1: 2000

L:1

TITULO:GRANODIORITOS - ELEMENTO CU (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

UNIDADE: PPM

MEDIA:3.32

VARIANCIA:0.46

EFEITO DE PEPITA:0.05

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.4

A1: 3000

L:1

TITULO:GRANODIORITO - ELEMENTO LA (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

UNIDADE: PPM

MEDIA:5.59

VARIANCIA:0.25

EFEITO DE PEPITA:0.1

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.14

A1: 3000

L:1

TITULO:GRANODIORITO - ELEMENTO V (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

UNIDADE: PPM

MEDIA:4.81

VARIANCIA:0.15

CI: 0.1

A1: 3000

L:1

TITULO:GRANODIORITO - ELEMENTO ZR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:59

UNIDADE: PPM

MEDIA:7.84

VARIANCIA:0.78

CI: 0.66

A1: 3100

L:1

TITULO:S.ROQUE - ELEMENTO FE (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:358

UNIDADE: X

MEDIA:1.01

VARIANCIA:0.45

EFEITO DE PEPITA:0.1

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.3

A1: 5100

L:1

TITULO:S.ROQUE - ELEMENTO MG (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:391

UNIDADE: X

MEDIA:5.06

VARIANCIA:0.529

EFEITO DE PEPITA:0.23

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.3

A1: 4600

L:1

TITULO:S.ROQUE - ELEMENTO MN (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:391

UNIDADE: PPM

MEDIA:0.15

VARIANCIA:0.792

EFEITO DE PEPITA:0.15

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.43

A1: 5000

L:1

TITULO:S.ROQUE - ELEMENTO B (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:391

UNIDADE:PPM

MEDIA:5.17

VARIANCIA:0.92

EFEITO DE PEPITA:0.35

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

C1: 0.2

A1: 5200

L:1

TITULO:S.ROQUE - ELEMENTO V(LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:391

UNIDADE:PPM

MEDIA:4.2

VARIANCIA:0.456

EFEITO DE PEPITA:0.17

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.23

AI: 6300

L:1

TITULO:S.ROQUE - ELEMENTO ZR (LOG)

NUMERO DE AMOSTRAS:391

UNIDADE: PPM

MEDIA:6.14

VARIANCIA:0.6

EFEITO DE PEPITA:0.36

ESTRUTURA(S) EMBRICADA(S):1

CI: 0.14

AI: 5200

L:1

ANEXO F

MAPAS DE ANOMALIAS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ATRAVÉS DO MÉTODO DE KRIGAGEM

LEGENDA

$$\text{Anomalia} = (Z^* - Z) / \sigma_K > 2,5$$

Z^* = Valor Krigado

Z = Valor no ponto de amostragem

σ_K = Erro (Krigagem)

$$-10 < 1 \leq -20$$

$$-2,5 < 2 \leq -10$$

$$2,5 < A \leq 10$$

$$10 < B \leq 20$$

MAPA DE ANOMALIAS DO FERRO (Fe) PELO MÉTODO DE KRIGAGEM

LEGENDA

$$\text{Anomalia} = (Z^* - Z) / \sqrt{V_K} > 2,5$$

Z^* = Valor Krigado

Z = Valor no ponto de amostragem

$\sqrt{V_K}$ = Erro (Krigagem)

$$-60 < 7 \leq -70$$

$$-50 < 6 \leq -60$$

$$-40 < 5 \leq -50$$

$$-30 < 4 \leq -40$$

$$-20 < 3 \leq -30$$

$$-10 < 2 \leq -20$$

$$-2,5 < 1 \leq -10$$

$$2,5 < A \leq 10$$

$$10 < B \leq 20$$

$$20 < C \leq 30$$

$$30 < D \leq 40$$

$$40 < E \leq 50$$

$$50 < F \leq 60$$

$$60 < G \leq 70$$

MAPA DE ANOMALIAS DO BORO (B) PELO MÉTODO DE KRIGAGEM

LEGENDA

Anomalia = $(Z^* - Z) / \nabla_K > 2,5$

Z^* = Valor Krigado

Z = Valor no ponto de amostragem

∇_K = Erro (Krigagem)

- 20 < 3 ≤ - 30

- 10 < 2 ≤ - 20

- 2,5 < 1 ≤ 10

2,5 < A ≤ 10

10 < B ≤ 20

20 < C ≤ 30

30 < D ≤ 40

MAPA DE ANOMALIAS DO COBALTO (Co) PELO MÉTODO DE KRIGAGEM

LEGENDA

$$\text{Anomalia} = (Z^* - Z) / \sigma_K > 2,5$$

Z^* = Valor Krigado

Z = Valor no ponto de amostragem

σ_K = Erro (Krigagem)

$$-30 < 4 \leq -40$$

$$-20 < 3 \leq -30$$

$$-10 < 2 \leq -20$$

$$-2,5 < 1 \leq -10$$

$$2,5 < A \leq 10$$

$$10 < B \leq 20$$

$$20 < C \leq 30$$

$$30 < D \leq 40$$

MAPA DE ANOMALIAS DO COBRE (Cu) PELO MÉTODO DE KRIGAGEM

LEGENDA

Anomalia = $(Z^* - Z) / \sigma_K > 2,5$

Z^* = Valor Krigado

Z = Valor no ponto de amostragem

σ_K = Erro (Krigagem)

- 2,5 < 1 ≤ -10

- 2,5 < A ≤ 10

10 < B ≤ 20

20 < C ≤ 30

MAPA DE ANOMALIAS DO CROMO (Cr) PELO MÉTODO DE KRIGAGEM