

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL - ALEMANHA

PHL
007561
2006

COORDENADOR GERAL: YVAN BARRETTO DE CARVALHO
COORDENADOR ADJUNTO: BENEDITO PAULO ALVES

F 3	SUREMI
CPR 4	SEBOTE
I. 96	ARQUIVO TÉCNICO
Feitório n.º	128.5
N.º de Volumes:	2 V.: 1
OSTENSIVO	



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
DIRETORIA DE OPERAÇÕES

1974

CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL - ALEMANHA

SUPERINTENDENTE DE EXECUÇÃO
ROBERTO BREVES VIANNA

CHEFE DA MISSÃO ALEMÃ
GEORGE BLUMEL

RELATÓRIO DE PROSPECÇÃO GEOFÍSICA EXPERIMENTAL

ÁREA DE NOVA LIMA - MINAS GERAIS

SUPERVISÃO GEOFÍSICA : WILHELM BOSUM
SUPERVISÃO GEOLÓGICA ; SIGURD PAULSEN
SUPERVISÃO GEOQUÍMICA: DEDDO HAGEN
ORGANIZADOR E COORDENADOR DO TEXTO :
ARNALDO BOHN VIEIRA

C. P. R. M.

ARNALDO BOHN VIEIRA
JAIME PAULINO
KOJI JINNO

B. f. B.

DEDDO HAGEN
GUNTER BRASS
HANS JÜRGEN ULRICH
KARL MÄKLER
KLAUS PETER SENGPIEL
PAUL JÜRGEN OSTWALD
SIGURD PAULSEN

MISSÃO GEOLÓGICA - GEOFÍSICA ALEMÃ



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
DIRETORIA DE OPERAÇÕES

1974

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL - ALEMANHA

COORDENADOR GERAL: YVAN BARRETTO DE CARVALHO
COORDENADOR ADJUNTO: BENEDITO PAULO ALVES



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
DIRETORIA DE OPERAÇÕES

1974

CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL - ALEMANHA

SUPERINTENDENTE DE EXECUÇÃO
ROBERTO BREVES VIANNA

CHEFE DA MISSÃO ALEMÃ
GEORGE BLUMEL

RELATÓRIO DE PROSPECÇÃO GEOFÍSICA EXPERIMENTAL ÁREA DE NOVA LIMA - MINAS GERAIS

SUPERVISÃO GEOFÍSICA : WILHELM BOSUM
SUPERVISÃO GEOLÓGICA ; SIGURD PAULSEN
SUPERVISÃO GEOQUÍMICA: DEDDO HAGEN
ORGANIZADOR E COORDENADOR DO TEXTO :
ARNALDO BOHN VIEIRA

C. P. R. M.

ARNALDO BOHN VIEIRA
JAIME PAULINO
KOJI JINNO

B. f. B.

DEDDO HAGEN
GUNTER BRASS
HANS JÜRGEN ULRICH
KARL MÄKLER
KLAUS PETER SENGPIEL
PAUL JÜRGEN OSTWALD
SIGURD PAULSEN

MISSÃO GEOLÓGICA - GEOFÍSICA ALEMÃ



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
DIRETORIA DE OPERAÇÕES

1974

SUMÁRIO
VOLUME I (texto)

RESUMO	pag.
1. <u>GENERALIDADES</u>	1
1.1. FISIOGRAFIA.....	2
1.2. OPERAÇÕES PRELIMINARES.....	3
2. <u>GEOLOGIA</u>	5
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. TRABALHOS ANTERIORES.....	6
2.3. SITUAÇÃO GEOLÓGICA.....	7
2.3.1. Litologia.....	7
2.3.2. Mineralização e Paragênese.....	11
2.4. GEOQUÍMICA.....	13
2.4.1. Operações.....	13
2.4.2. Resultados.....	14
2.4.3. Conclusões.....	16
BIBLIOGRAFIA.....	18
3. <u>GEOFÍSICA</u>	19
3.1. MAGNETOMETRIA.....	21
3.1.1. Introdução.....	21
3.1.2. Instrumentos de Medida.....	21
3.1.3. Redução dos Dados.....	22
3.1.4. Símbolos e Abreviações.....	23
3.1.5. Resultado das Medições e sua Interpretação.....	25

	pag.
3.1.6. Conclusões.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	32
3.2. CINTILOMETRIA.....	33
3.2.1. Introdução ao Método.....	33
3.2.2. Operações.....	35
3.2.3. Interpretação.....	36
3.2.4. Considerações Finais.....	37
BIBLIOGRAFIA.....	38
3.3. POTENCIAL ESPONTÂNEO.....	39
3.3.1. Introdução ao Método.....	39
3.3.2. Operações.....	40
3.3.3. Apresentação e Interpretação.....	40
3.3.4. Interpretação Quantitativa.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	46
3.4. SLINGRAM.....	47
3.4.1. Introdução.....	47
3.4.2. Princípio do Método.....	47
3.4.3. Execução do Levantamento.....	48
3.4.4. Resultados.....	48
3.4.5. Conclusões.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	53
3.5. TURAM.....	54
3.5.1. Princípio de Funcionamento.....	54
3.5.2. Operações.....	56

	pag.
3.5.3. Interpretação.....	56
3.5.4. Considerações Finais.....	57
BIBLIOGRAFIA.....	59
3.6. POLARIZAÇÃO INDUZIDA.....	60
3.6.1. Introdução.....	60
3.6.2. Princípio do Método.....	60
3.6.3. Operações.....	62
3.6.4. Resultados.....	63
3.6.5. Conclusões.....	64
BIBLIOGRAFIA.....	66
3.7. ELETRORESISTIVIDADE.....	67
3.7.1. Princípio de Funcionamento.....	67
3.7.2. Operações.....	69
3.7.3. Interpretação.....	70
3.7.4. Conclusões.....	72
BIBLIOGRAFIA.....	73
3.8. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	74
3.8.1. Perfis 2 e 3.....	74
3.8.2. Perfil 4.....	76
3.8.3. Perfil 5.....	77
3.8.4. Perfil 1.....	78
4. <u>COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS GEOQUÍMICOS E GEOFÍSICOS</u>	79
4.1. PERFIL 2.....	79

	pag.
4.2. PERFIL 3.....	79
4.3. PERFIL 4.....	80
5. <u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	81

VOLUME II (Anexos)

1. GENERALIDADES

Anexo 1.1 - Esboço Geológico e amostragem geoquímica:
Morro da Glória, Nova Lima - MG

2. GEOLOGIA

Anexo 2.4-1 - Gráfico de probabilidades:
amostras de solo Fração < 80 mesh

Anexo 2.4-2 - Gráfico de probabilidades:
amostras de solo Fração > 80 mesh

Anexo 2.4-3 - Geoquímica: amostragem de solo
Mina Esperança IV
Perfil 2 Fração > 80 mesh

Anexo 2.4-4 - Geoquímica: amostragem de solo
Mina Esperança IV
Perfil 3 Fração > 80 mesh

Anexo 2.4-5 - Geoquímica: amostragem de solo
Mina Esperança IV
Perfil 4 Fração > 80 mesh

Anexo 2.4-6 - Geoquímica: amostragem de solo
Mina Esperança IV
Perfil 2 Fração < 80 mesh

Anexo 2.4-7 - Geoquímica: amostragem de solo
Mina Esperança IV
Perfil 3 Fração < 80 mesh

Anexo 2.4-8 - Geoquímica: amostragem de solo
Mina Esperança IV
Perfil 4 Fração < 80 mesh

3. GEOFÍSICA

3.1. Magnetometria

Anexo 3.1-1 - Magnetometria Perfil 1

Anexo 3.1-2 - Magnetometria Perfil 2

Anexo 3.1-3 - Magnetometria Perfil 3

Anexo 3.1-4 - Magnetometria Perfil 4

Anexo 3.1-5 - Magnetometria Perfil 5

3.2. Cintilometria

Anexo 3.2-1 - Cintilometria Perfil 1

Anexo 3.2-2 - Cintilometria Perfil 2

Anexo 3.2-3 - Cintilometria Perfil 3

Anexo 3.2-4 - Cintilometria Perfil 4

Anexo 3.2-5 - Cintilometria Perfil 5

Anexo 3.2-6/7 - Cintilometria Perfis 1 e 2

3.3. Potencial Espontâneo

Anexo 3.3-1 - Potencial Espontâneo Perfil 2

Anexo 3.3-2 - Potencial Espontâneo Perfil 3

Anexo 3.3-3 - Potencial Espontâneo Perfil 4

Anexo 3.3-4 - Potencial Espontâneo Perfil 5

Anexo 3.3-5 - Potencial Espontâneo Perfil 1

Anexo 3.3-6 - Potencial Espontâneo

Mapa de Contorno

3.4. Slingram

Anexo 3.4-1 - Slingram Interpretação Perfil 2

Anexo 3.4-2 - Slingram Interpretação Perfil 3

Anexo 3.4-3 - Slingram Perfil 1

Anexo 3.4-4 - Slingram Perfil 2

Anexo 3.4-5 - Slingram Perfil 3

Anexo 3.4-6 - Slingram Perfil 4

Anexo 3.4-7 - Slingram Perfil 5

3.5. Turam

Anexo 3.5-1 - Turam - Disposição da Espira Transmissora Perfis 2,3,4 e 5

Anexo 3.5-2 - Turam Perfis 2,3 e 4

3.6. Polarização Induzida

Anexo 3.6-1 - Polarização Induzida Perfil 2

Anexo 3.6-2 - Polarização Induzida Perfil 3

3.7. Eletroresistividade

Anexo 3.7-1 - Eletroresistividade Perfil 2

Anexo 3.7-2 - Eletroresistividade Perfil 3

Anexo 3.7-3 - Eletroresistividade Perfil 4

3.8. Considerações Gerais

Anexo 3.8-1 - Perfil 2 Resultados Comparativos Magnetometria, Cintilome

tria, Slingram, Potencial Espontâneo, Turam

Anexo 3.8-2 - Perfil 2 Resultados Comparativos Polarização Induzida, E
letroresistividade

Anexo 3.8-3 - Perfil 3 Resultados Comparativos Magnetometria, Cintilo-
metria, Slingram, Potencial Espontâneo, Turam

Anexo 3.8-4 - Perfil 3 Resultados Comparativos Polarização Induzida, E
letroresistividade

Anexo 3.8-5 - Perfil 4 Resultados Comparativos Magnetometria, Cintilo-
metria, Slingram, Potencial Espontâneo, Turam

Anexo 3.8-6 - Perfil 5 Resultados Comparativos Magnetometria, Cintilo-
metria, Slingram, Potencial Espontâneo

Anexo 3.8-7 - Perfil 1 Resultados Comparativos Magnetometria, Cintilo-
metria, Slingram, Potencial Espontâneo

RESUMO

Técnicos do Convênio Geofísica Brasil - Alemanha (CGBA) realizaram levantamentos experimentais em região reconhecidamente mineralizada, investigando a aplicabilidade de métodos geofísicos em condições de temperaturas elevadas e zonas de espesso manto de intemperismo. Buscou-se determinar o comportamento da aparelhagem e determinar os parâmetros geofísicos adequados para a aplicabilidade do equipamento geofísico disponível. O emprego dos métodos geofísicos foi combinado a levantamentos geológicos e geoquímicos para possibilitar a elaboração de um relatório integrado.

A utilização da geofísica exige condições especiais para assegurar a resposta adequada aos métodos, como a variação da intensidade de magnetização de rochas e/ou as diferenças de condutibilidade elétrica entre encaixante e zona mineralizada, bem como possível diferença do "back-ground" radiométrico. Assim, escolheu-se Nova Lima, tradicional centro de mineração aurífera, onde foi delimitada uma área de 2 km² e executados cinco perfis, numa extensão total de 3.100m. A área situa-se no Morro da Glória, flanco E de um sinclínório de direção aproximada N30°E, constituído por xistos do Grupo Nova Lima, parte inferior da Série Rio das Velhas.

O ouro encontra-se associado a sulfetos, todavia não se limita a um tipo determinado, podendo ocorrer com pirita, pirrotita, calcopirita e arsenopirita. A encaixante do minério no local é um quartzo-carbonato-xisto, rico em magnetita e denominado regionalmente "formação ferrífera". As condições geológicas propiciam condições favoráveis à aplicação da geofísica.

Os métodos empregados foram magnéticos, elétricos e radiométricos, tendo o equipamento funcionado a contento sob as condições climáticas reinantes. Em geoquímica foram amostrados 68 pontos, colhendo-se por ponto, no mínimo duas amostras a profundidades diferentes. As análises foram realizadas em laboratório, por meio de um espectrômetro de absorção atômica, tendo-se investigado os elementos Ni, Co, Cu, Pb, Zn e Li. Paralelamente efetuou-se um reconhecimento geológico, buscando complementar os dados fornecidos pela Mineração Morro Velho.

Como resultado, verificou-se que as ocorrências da "formação ferrífera" são acusados através de anomalias. Não existe, no entanto, um único método cuja aplicação evidencia a ocorrência de mineralizações. Recomenda-se a utilização de diferentes métodos, correlacionando-se as diferentes interpretações para um resultado mais seguro. Para indicação de zona de ocorrência, os métodos de Slingram, Potencial Espontâneo e Magnetometria se impõem pelo baixo custo e rapidez de operação. Entretanto numa pesquisa detalhada, em área mais ampla, recomenda-se utilizar inclusive métodos geofísicos aerotransportados para selecionamento de zonas promissoras. Em locais mais propícios a aplicação de Polarização Induzida e Turam, combinada aos métodos expeditos, deverá apresentar bons resultados. O método radiométrico não revelou qualquer anomalia interessante, sendo desaconselhado.

A pesquisa geoquímica revelou concentrações dos elementos investigados em apenas um perfil, sobre afloramento da "formação ferrífera". Interessante notar que as amostras coletadas a menor profundidade deram melhor resultado. Numa prospecção mais ampla, os levantamentos geofísicos devem ser complementados por uma amostragem geoquímica numa rede mais densa e um levantamento geológico de detalhe deve ser conduzido de maneira a possibilitar uma perfeita integração de dados.

Conclui-se pela indicação de locais para sondagens e abertura de trincheiras e/ou poços, onde a geologia não explica as anomalias detectadas.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Arbeiten des Convênio Geofísica Brasil - Alemanha (CGBA) wurden in einem geologisch bekannten Gebiet des Gold-Bergbaudistriktes von Nova Lima/MG geophysikalische Test-Untersuchungen durchgeführt. Diese wurden durch geologische und geochemische Arbeiten ergänzt.

Das Hauptziel war, die geophysikalischen Geräte, die in Brasilien eingesetzt werden, auf ihre Zuverlässigkeit unter den hiesigen klimatischen Verhältnissen zu prüfen, die Einsatzmöglichkeit der Verfahren zu erproben und die Messmethodik den Gegebenheiten anzupassen.

Da magnetische, elektrische und radiometrische Messgeräte zum Einsatz kommen, deren Anwendbarkeit auf der Änderung physikalischer Parameter wie Magnetisierung, elektronische und elektrolytische Leitfähigkeit und radioaktive Strahlungseigenschaften beruht, war ein Testgebiet erforderlich, das für alle Methoden gleichermaßen geeignet erschien.

Es wurde das Gebiet von Nova Lima ausgewählt, in dem schon seit fast zwei Jahrhunderten Goldvorkommen ausgebeutet werden. Eine der bekanntesten Minen ist die Mine Morro da Glória. Sie liegt an der Ostflanke einer etwa N 30° E streichenden Synklinale, die überwiegend aus metamorphen Schiefen (Phyllit, Serizit- und Graphitschiefern) der präkambrischen Nova Lima Gruppe besteht. In diesen tritt das Gold feinverteilt in gefalteten Schichten der sogenannten "Formação Ferrífera" (Quarz-Karbonat-Schiefer mit Magnetit) auf. Es ist an die sulfidischen Minerale Arsenkies, Pyrit, Magnetkies und Chalkopyrit gebunden. Dieser Vererzungstyp bietet also günstige Voraussetzungen zur Erprobung der verschiedenen Methoden.

In diesem Gebiet von 2 km² wurden fünf Profile von insgesamt 3100 m Länge über bekannten Ausbissen der Formação Ferrífera geophysikalisch vermessen.

Für die geochemischen Untersuchungen wurden auf drei Profilen 68 Bodenproben aus zwei verschiedenen Tiefen (0,20 m und 0,50 m) entnommen, die im

Laboratorium auf ihren Gehalt an Ni, Co, Cu, Pb, Zn und Li analysiert wurden.

Die Resultate der geophysikalischen Vermessung zeigen, dass nach den bisher vorliegenden Ergebnissen keine geophysikalische Messmethode empfohlen werden kann, die allein sichere und eindeutige Hinweise auf die Formação Ferrífera gibt.

Hieraus laesst sich ableiten, dass eine Kombination mehrerer Methoden sinnvoll ist und einfache Korrelationsbetrachtungen den Ansatz von Schuerf- oder Bohrarbeiten bestimmen sollten. Es empfiehlt sich zunaechst der Einsatz der schnellen Methoden Magnetik, Slingram und Eigenpotential (die beiden ersteren koennten auch kombiniert vom Hubschrauber aus eingesetzt werden). In interessanten Gebieten sollten dann Untersuchungen mit der Methode der Induzierten Polarisation, der Widerstandsgeoelektrik und Turam folgen.

Die geochemischen Untersuchungen wiesen nur auf einem Profil die Formação Ferrífera nach. Um eine bessere geochemische Aussage und Korrelation mit den geophysikalischen Anomalien zu erreichen, waere daher fuer geochemische Folgearbeiten ein engeres Beprobungsnetz zu empfehlen.

Diejenigen geophysikalischen Anomalien, fuer die es bisher keine eindeutige Erklaerung gibt, sollten durch Schuerfe, Schaechte und gegebenenfalls auch furch Flachbohrungen naeher untersucht werden.

1. GENERALIDADES

No âmbito das técnicas de prospecção mineral, tem especial destaque os métodos geofísicos terrestres. De eficácia comprovada em vários países, o emprego intensivo desses métodos está sendo implantado no Brasil pelo Convênio Geofísica Brasil/Alemanha, CGBA.

Não obstante, sentiu-se a necessidade de aferir seu desempenho face as nossas condições de intemperismo, cujos espessos mantos se distribuem conspicuamente. Indagava-se, também, como se comportaria o delicado instrumental eletrônico quando submetido a temperaturas superiores a 30°C.

As respostas a tais indagações só se obtêm de levantamentos experimentais, conduzidos em áreas reconhecidamente mineralizadas.

Para tanto, selecionaram-se locações de mineralização sulfídica bem determinada, onde a resposta individual de cada método permitiria eleger os mais adequados ao tipo de ocorrência. Dentre as várias possibilidades escolheu-se Nova Lima, por sua maior proximidade a Belo Horizonte.

Nova Lima é um centro de mineração aurífera cujas atividades se iniciam com Fernão Dias Paes Leme. Foi entre esta cidade e a de Rio Acima que o bandeirante estabeleceu sua sesmaria. Esta gleba corresponde a parte da Fazenda Morro Velho, ora pertencente à Mineração Morro Velho S.A., MMV.

Nesta fazenda, a MMV tem lavrado ouro de alto teor nas minas próximas ao Morro da Glória. Essas minas, de par com velhas galerias e fornos primitivos largamente espalhados pelas vizinhanças, são um atestado de exploração ininterrupta por quase 200 anos.

A ampla distribuição geográfica da rocha matriz, cuja mensuração só é economicamente viável com o emprego de métodos geofísicos, sugere um potencial metálico apreciável.

A consideração desses fatos levou o Coordenador Adjunto do CGBA e a Direção da MMV a estabelecerem um acordo de cooperação entre ambas organizações. Delimitou-se, então, uma faixa de 2 x 1 km circunscrita ao Morro da Glória, onde se realizaram os levantamentos geofísicos experimentais.

1.1. FISIOGRAFIA

O Morro da Glória situa-se cerca de 9 km ao sul de Nova Lima, à margem esquerda do Rio das Velhas, nas coordenadas $43^{\circ} 50'$ longitude W e $20^{\circ} 02' 30''$ latitude S. (Ver fig. 1, abaixo.)

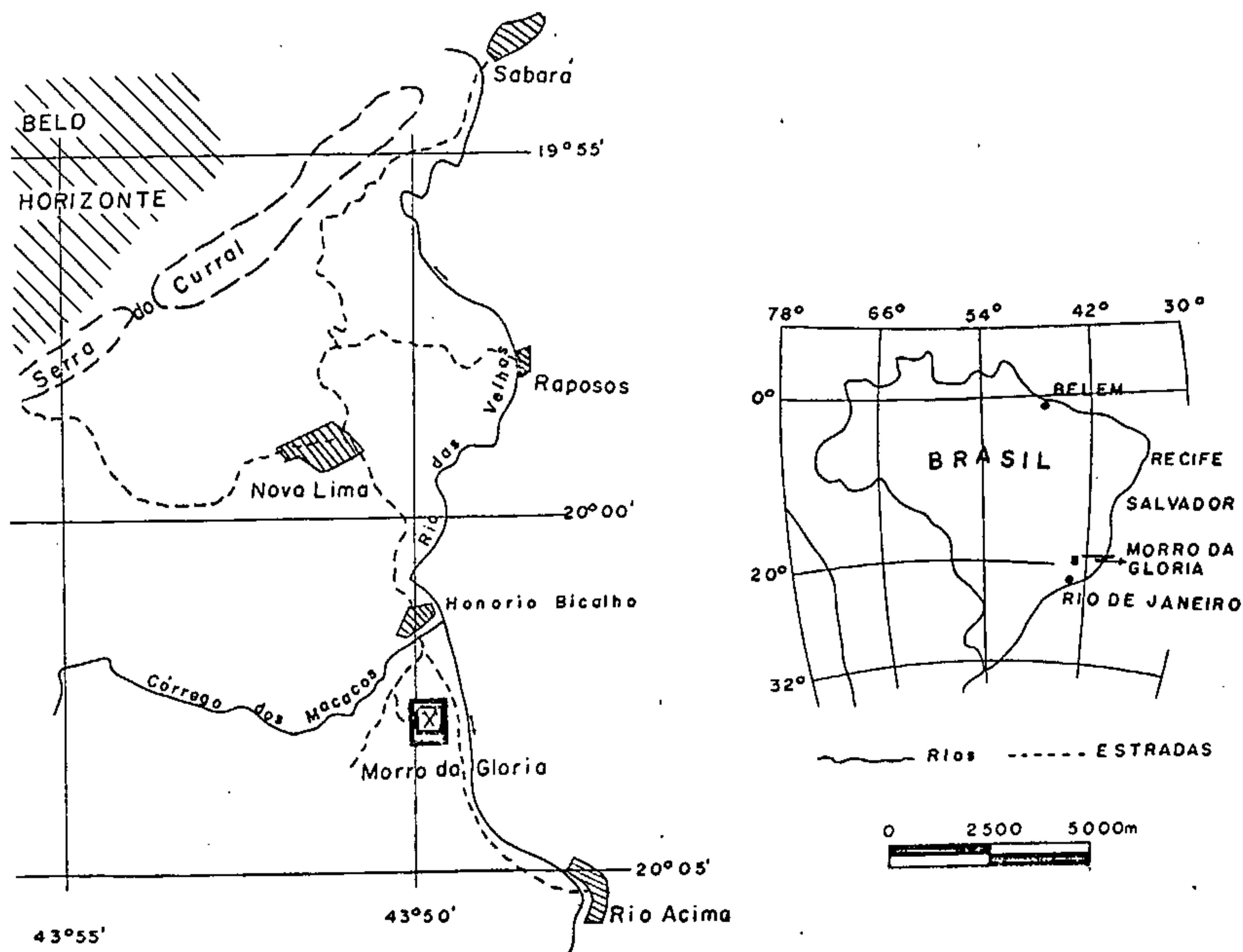


Fig. 1

A área dos trabalhos é uma crista alongada segundo N-S, que constitui o divisor de águas entre o Rio das Velhas, a E, e o Córrego dos Macacos, a W. Esta cumeeira tem cota média de 1.000 m acima do nível do mar, e valores extremos de 1.027 m, no Morro da Glória, e 860 m na encosta ocidental.

A encosta ocidental é uma escarpa (até 45%) coberta por vegetação arbustiva, em cujo sopé se desenvolve espesso manto de intemperismo, recoberto de gramineas. A vertente oriental já é mais suave; os arbustos de sua flora nativa são, em parte, substituídos por eucaliptos.

1.2. OPERAÇÕES PRELIMINARES

A base para o planejamento dos trabalhos foi o mapa topográfico e geológico elaborado pela MMV na escala 1:2.000. Aí se traçaram 5 perfis, 4 dos quais perpendicularmente à direção geral NS das camadas da formação ferrífera e o último paralelo àquela direção. (Anexo 1.1)

Por meio de poligonal, os topógrafos da MMV materializaram esses perfis no terreno, estaqueando-os a cada 20 m, medidos na horizontal. Seus comprimentos variam entre 400 e 800 m, perfazendo um total de 3.100 m. As maiores diferenças de elevação são próximas de 100 m no flanco ocidental e, entre 20 e 80 m no oriental. Os afastamentos laterais entre perfis contíguos são:

80 m entre 2 e 3

280 m entre 3 e 4

720 m entre 4 e 1

Dada a escassez de estações topográficas acuradas para controle, o registro dos perfis em mapa não corresponde bem à situação no terreno: no mapa, os perfis E-W estão deslocados 20 m para E. Como feliz compensação, os afloramentos da formação ferrífera são rigorosamente cartografados.

Para ajustar a topografia se deslocou, na carta, a numeração dos piquetes

20 m para E.

As medidas geofísicas e as amostras de solo são referidas aos números dos piquetes, podendo, então, apresentar um deslocamento de ± 10 m.

ABV/mcdl.

2. GEOLOGIA

2.1. INTRODUÇÃO

Na região de Nova Lima encontram-se várias minas de ouro em produção, além de se batear também no Rio das Velhas. A única produtora importante da área é a Mineração Morro Velho S.A., sucessora da St. John d'El Rey Mining Co. inglesa.

Dalí se extraíram, nos anos '50, entre 250 e 300 kg de Au por mês, a partir de rochas com teores auríferos de 9 a 16 g/t. Como sub-produtos se recuperaram ainda 50 a 60 kg de Ag e cerca de 100 t de As_2O_3 , obtido da Arsenopirita (cf. Gair, 1962). Nos últimos anos, todavia, a produção tem crescido, chegando hoje a 450 kg Au/mês, retirado de 45.000 t de rocha com teor médio de 10 g/t.

O ouro ocorre disseminado, junto com Arsenopirita, Pirita, Pirrotita e Calcopirita, em camadas delgadas ou concentrado em fraturas nos bancos de rocha quartzo-dolomítica e quartzo-anquerítica, denominada "lapa seca". As espessuras variam de metros até dezenas de metros. Ocorre ainda em quartzo-carbonato xistos ricos em Magnetita, a chamada "formação ferrífera". Estes xistos pertencem ao Grupo Nova Lima, parte inferior da Série Rio das Velhas, do pré- ϵ .

Inicialmente voltada para as camadas enriquecidas da lapa seca, desde 1834 na mina de Morro Velho, a mineração se intensifica, atualmente, nas camadas da formação ferrífera, em geral mais pobres mas de maior distribuição geográfica.

A formação ferrífera ocorre predominantemente ao sul de Nova Lima, intercalada a filitos, em espessuras variáveis desde metros a dezenas de metros, nos afloramentos. Nas adjacências do Morro da Glória o metal é lavrado subterraneamente, nas minas Esperança I - IV, que penetram camadas isoladas daquelas rochas. Na Esperança IV são registrados teores de até 40 g/t.

Como a MMV aí planejasse uma prospecção em superfície e subsuperfície, a

rea foi recomendada para as experiências geofísicas e geoquímicas do CGBA.

A finalidade da prospecção geoquímica piloto era responder às seguintes questões:

1. Que valores absolutos e qual paragenese da faixa dos elementos determinados (Pb, Zn, Cr, Co, Ni, Li) seriam revelados pela formação ferrífera?
2. Como varia a distribuição dos elementos com a profundidade?
3. Existem outras zonas mineralizadas nas vizinhanças das jazidas conhecidas?
4. Qual a correlação com os resultados geofísicos?

Em 16/10/72 os geólogos P. G. Ferrari, D. Hagen e S. Paulsen, fizeram um reconhecimento geológico. Em 24/04/73, H. Mollat, S. Paulsen e C. I. Ribeiro, a acompanhados pelo Geólogo G. I. de Oliveira, completaram aquele levantamento.

A amostragem de solo foi realizada por H. Stampe, entre 20/10/72 e 23/10 / 72.

2.2. TRABALHOS ANTERIORES

A área do Morro da Glória foi mapeada geologicamente por Phillips, em 1935, na escala 1:2.000, que é o mapa base já citado.

Durante o levantamento geológico do quadrilátero ferrífero, encetado pelo USGS na década de '50, a área foi incluída na Folha de Rio Acima, de escala ... 1:25.000, publicada por J. E. Gair em 1962.

A tese de doutoramento de J. B. Moreschi, de 1972, versa sobre a Mina de Faria, situada imediatamente a WNW do Morro da Glória. Dado que a encaixante de Faria também é a formação ferrífera, essa mina pode ser tomada como padrão de comparações e orientação.

2.3. SITUAÇÃO GEOLÓGICA

A região dos trabalhos situa-se no flanco E de um sinclínório de direção N 20° E a N 30° E. Constitui-se de xistos do Grupo Nova Lima, parte inferior da Série Rio das Velhas, do pré C. Esse Grupo se compõe de xistos e metavulcanicos, com intercalações de xistos quartzo-carbonáticos ricos em Fe e quartzitos, impro priamente chamados formação ferrífera.

Nessa região foi exposta uma sequência de filitos com Fe, xistos grafitosos e quartzo-carbonáticos até quartzitos. Essa sequência se limita a W com um con junto de rochas, arroladas no mapa sob a designação geral de rochas básicas, que compreende metadiabásios, filitos e metavulcanitos folheados e profundamente in temperizados. (Anexo 1.1)

Os contatos geológicos mapeados são identificados no terreno com certa di ficuldade, face a densa vegetação e colúvio que recobrem as encostas. São, em contrapartida, facilmente comprovados nas exposições das minas Esperança III e IV, conforme observação na MMV.

A direção das camadas é N 20° E ou N 30° E, com mergulhos de, em geral, 35° a 40° para SE. Nesse conjunto, Gair identifica uma nítida estrutura dobrada, com plano axial mergulhando para E, reconhecível por empurrões e cizalhamentos iso orientados.

2.3.1. Litologia

As diversas unidades litológicas mapeadas serão, a seguir, brevemente comentadas.

2.3.1.1. Xistos - representados por filitos, sericita-xistos e gra fita-xistos. Sua estrutura predominante é a xistosidade, nem sempre observável nos afloramentos. É cruzada, às vezes, por lâminas de mi ca e camadas de quartzo.

Os filitos e sericita-xistos são os tipos mais abundantes, dificilmente separáveis entre si, no campo. Quando intemperizados têm cor roxa-avermelhada e destacam-se em folhas. Devido a Fe e Mn primários podem exibir cor ocre, crostas de limonita e leitos milimétricos a centimétricos de Psilomelana. Quando frescos contêm geralmente Magnetita e Pirita, como se observa no corte da estrada, junto ao perfil 2 e na parte E dos perfis 2 e 3, sobre a encosta oriental.

Os xistos grafitosos são mascarados em superfície, todavia bem diferenciados nas galerias de Esperança III e IV, onde estão incluídos aos filitos e sericita-xistos, em espessuras de 1 a 10 m. Apresentam-se, de preferência, como capa e/ou lapa da formação ferrífera. Macroscopicamente, diferem dos outros xistos pela abundância em grafita, que lhes confere cor brilhante preta ou cinza-chumbo.

Gair e Moreschi classificam petrograficamente os xistos, conforme o conteúdo de: Quartzo, Feldspato, Sericita-Fuchsite, Biotita, Clorita, Carbonatos e Grafita, conforme abaixo:

- Quartzo-feldspato-xisto
- Quartzo-sericita-xisto e filito
- Quartzo-clorita-sericita-xisto
- Quartzo-biotita-xisto
- Xisto rico em carbonatos
- Xisto rico em ferro
- Grafita-xisto

Segundo Moreschi, o sericita-xisto tem os seguintes acessórios (< 5%): Rutilo, Leucóxênio, carbonatos e minerais opacos (Pirita, Pirrotita, Magnetita, Calcopirita e, mais raro, Arsenopirita). Os filitos contêm: hidróxido de Fe, Rutilo e minerais opacos (Pirita e Magnetita). Os acessórios do quartzo-feldspato-xisto são: Leucóxênio, Rutilo, Pirita, hidróxido de Fe e Magnetita.

Por estar associado à formação ferrífera e seus sulfetos, o grafita-xisto apresenta uma fração de acessórios mais alta em relação aos outros xistos, o que o distingue destes. Seus acessórios são: Pirita, Blenda, Calcopirita e Pirrotita e, em menor parte, Cubanita, Arsenopirita, Hematita e Ilmenita.

2.3.1.2. Formação Ferrífera - constituída por faixas isoladas que se acunham, geralmente, na direção dos grafita-xistos e filitos.

Na encosta ocidental, onde os perfis 2, 3 e 4 cortam os 2 afloramentos da formação ferrífera, as espessuras máximas nas galerias são respectivamente, 4 e 18 m. As faixas atravessadas pelo perfil 1 medem, no máximo, 60 e 10 m. As duas ocorrências isoladas da formação ferrífera na encosta oriental são constituídas, provavelmente, de blocos falhados de uma mesma camada.

Os afloramentos da formação ferrífera compõem-se de leitos delgados e xistosos, cinza-esbranquiçados ou ferruginosos de quartzo de granulação fina, que reagem fracamente ao HCl. Nesses quartzos lixiviados encontram-se frequentemente moldes de Pirita. As amostras frescas das galerias mostram, em geral, acamamentos bem definidos, da ordem de mm, constituídos de: Quartzo, carbonatos, Magnetita, Clorita e Grafita (sic. Moreschi).

É típica a associação Quartzo-carbonatos-Magnetita, onde os carbonatos contribuem com 45% e a Magnetita com 35 a 45%. Seus acessórios opacos são Pirita e Pirrotita. Outra associação comum é: Quartzo-carbonatos-Clorita-Grafita, cujos acessórios são mais numerosos; Pirita com inclusões de Blenda, Calcopirita com inclusões de Arsenopirita, Cubanita e Pirrotita.

Segundo Gair, os carbonatos são Siderita-Anquerita e ferro-dolomitos, nos quais se concentra, quase sempre, Magnetita. Este



mineral é transformado em Hematita e Göthita na zona de intemperismo - os carbonatos de Fe são transformados a hidróxidos e os carbonatos são lavados, explicando assim o abaixamento do teor de carbonatos na zona intemperizada. O mesmo autor interpreta a estrutura em mosaico, fina e equigranular, principalmente das rochas quartzo-carbonáticas, ricas em Fe, como indício de recristalização de sedimentos sílico-carbonáticos finos, de origem química.

2.3.1.3. Rochas Básicas - caracterizado morfológicamente por declives mais suaves, com espesso manto de intemperismo castanho-amarelado a avermelhado e densa vegetação de arbustos e gramíneas.

O limite com os xistos, marcado no mapa, é bem assinalado no terreno. Em parte alguma dos perfis se encontrou rocha fresca. Nalguns cortes de estrada ou barrancos de córregos se pode ver um xisto altamente intemperizado, de cor roxo-avermelhada a verde-acinzentada, talvez metadiabásio ou metavulcanito e ainda xistos filitossos de cor avermelhada. Ao sul do Morro da Glória, na margem direita do mapa, foram mapeadas intercalações análogas de metadiabásios em filitos.

Essas rochas, mal identificadas por falta de bons afloramentos, constituem um pacote de mais de 100 m de espessura.

Nos arredores da mina de Faria, Moreschi descreveu diques de diabásio com alguns metros de espessura, intensamente folheados, cortando a sequência de xistos. Como acessórios foram identificados: Ilmenita, Pirrotita, Pirita, Calcopirita, Magnetita e Blenda. Ao norte daquela região ocorrem ainda xistos metavulcânicos. O papel que estas metavulcânicas desempenham no conjunto do complexo básico não pôde ser estimado. Nenhuma dessas rochas foi seguramente identificada na área do Morro da Glória.

2.3.1.4. Veios de Quartzo - encontrados atravessando a sequência de xistos, com espessuras desde decímetros até metros. Só os mais espessos (1 a 3 m) são mostrados no mapa.

Os grandes cristais de quartzo leitoso desses veios formam um colúvio que reveste as encaixantes. Poços e montes de quartzo levam a crer que o quartzo era daí retirado na cata do ouro. São conhecidos alguns veios auríferos cortando o xisto, mas seu valor econômico é insignificante.

2.3.2. Mineralização e Paragênese

Na opinião de Gair e Moreschi, as rochas hospedeiras das mineralizações auro-sulfetadas da formação ferrífera são os quartzo-carbonato-xistos e quartzo-carbonato-clorita-grafita-xistos.

Moreschi identifica, macro e microscopicamente, dois tipos de estrutura genética:

- Bandeado, no qual os sulfetos são finamente disseminados dentro das camadas de carbonato ou concentrados na zona de contato com camadas de quartzo;
- Maciço, onde os sulfetos enriquecem zonas de fraturamento por meio de substituição metassomática.

Este autor apresenta uma lista de sulfetos, por ordem de abundância, encontrados em Faria: Pirita - FeS_2 (50 - 90%), Pirrotita - FeS (50 - 95%), Arsenopirita - FeAsS (~50%), Cubanita - CuFe_2S_3 (5 - 50%), Calcopirita - CuFeS_2 (5 - 50%), Blenda - ZnS (< 5%), Galena - PbS (< 5%) e Tetraedrita - $\text{Cu}(\text{Zn}, \text{Fe})\text{Sb}$ (< 5%).

Essa sequência tem, sobretudo, um significado genético. Pirita, Pirrotita e Arsenopirita são os primeiros minerais a se formar e constituem a maioria dos sulfetos. Conforme ocorram em fraturas ou inclusões, são idio

morfos ou xenomorfos, e formam as seguintes associações: Pirrotita com Pirita, Pirita com Arsenopirita e ainda Pirita e Arsenopirita com Pirrotita. O ouro ocorre preferencialmente com Pirita e Pirrotita e, subordinadamente, com Arsenopirita, da qual é, provavelmente, contemporâneo. A forma do ouro é variável: grãos esféricos, prismáticos ou irregulares, com diâmetros de até 0,04 mm, podendo ser intergranular, intragranular ou em fraturas.

Blenda, Cubanita, Calcopirita, Galena e Tetraedrita são, parte, contemporâneos, parte posteriores aos três sulfetos e ouro. São muito comuns em inclusões ou fraturas mineralizadas com Pirrotita ou Pirita.

Enquanto em Faria o Au se associa principalmente à Pirita, em Morro Velho e Raposos a preferência é para Pirrotita e Arsenopirita. Nessas duas últimas localidades, um aumento no teor da Pirita significa abaixamento do teor de Au. (Essas generalizações não são, contudo, regras fixas; os diferentes corpos de minério da Mina de Faria apresentam variações de associações.) Os quartzo-carbonato-xistos ricos em Magnetita (~30% Fe) são pobres ou carentes de ouro. As camadas auríferas (9,8 g/t) da formação ferrífera apresentam, em Raposos, os seguintes sulfetos: Pirrotita (5,47%), Pirita (2,96%) e Arsenopirita (1,15%).

A paragênese das mineralizações sulfo-auríferas dos metasedimentos do Grupo Nova Lima é muito controvertida.

Na concepção de Gair, os minérios são epigenéticos, hidrotermais (> 250°C), e aparentemente relacionados aos granitos introduzidos numa fase de metamorfismo regional post-Minas. Os diques de diabásio devem, em parte, contribuir como fonte de Au, embora seu conteúdo seja muito baixo.

Tolbert (1964) conclui que a mineralização de Raposos é devida a percolação de soluções hidrotermais, posteriores ao estágio de dobramento e metamorfose, através de fraturas e planos de estratificação.

Guimarães (1970) explica a mineralização de Morro Velho e Raposos como sendo do tipo pneumatolítico, baseando-se na ocorrência de Scheelita e

Wolframita em Morro Velho.

Routier (1963) inclui a mineralização aurífera dos xistos da formação ferrífera entre as jazidas metamórficas, tipo periplutônico, isto é, sem relação estreita com rochas plutônicas.

Essas várias opiniões são compiladas por Moreschi em sua minuciosa tese, onde perfilha a idéia de origem singenética. Segundo esta, a mineralização auro-sulfetada de Faria se deu num fácies carbonático-grafítico. O vulcanismo básico contemporâneo, intimamente associado à sedimentação deve ter elevado o conteúdo metálico dos sedimentos. Subseqüentes de formações tectônicas e esforços devidos ao metamorfismo promoveram a remobilização, recristalização e enriquecimento de sulfetos auríferos nos quartzo-carbonato-grafita-xistos da formação ferrífera.

Essa última interpretação, comparada as acima mencionadas, parece ser a mais aceitável, atualmente.

2.4. GEOQUÍMICA

2.4.1. Operações

Sobre os perfis 2, 3 e 4 foi amostrado um total de 68 pontos (ver a nexa 1.1). O perfil 2 foi amostrado por inteiro, enquanto os 3 e 4 só a E do cruzamento com o perfil 5. Amostrou-se a cada 20 m, colhendo-se, no mínimo, duas amostras por ponto, nas profundidades 0,30 m e 0,50 m. Em 8 pontos se fez uma coleta adicional a 0,90 m - 1 ponto foi amostrado a 0,30 ; 0,50; 0,90; e 1,20 m - 5 pontos a 0,30; 0,50; 0,90; 1,20 e 1,50 m.

Foram recolhidas 163 amostras de solo, das quais 18 são duplas. Do número de amostras calculadas, 12 foram no duas vezes, o que perfaz 193 análises. Estas foram realizadas em laboratório, por meio de um AAS (espectrômetro de absorção atômica) Perkin Elmer 303, tendo-se investigado os elementos: Ni, Co, Cu, Pb, Zn e Li.

2.4.2. Resultados

As investigações geoquímicas experimentais tinham por fim responder às seguintes questões:

1. Qual dos elementos analisados representa a formação ferrífera?
2. Como varia a distribuição dos elementos com a profundidade?
3. Existem zonas mineralizadas próximo às jazidas conhecidas?

Os dados obtidos das análises fornecem, para cada elemento, os seguintes padrões e valores máximos:

e	FRAÇÃO < 80 MESH				FRAÇÃO > 80 MESH			
	b	t	vm	vi	b	t	vm	vi
Pb	24	76	95	370	15	117	190	420
Zn	24	69	100	290	41	195	250	350
Cu	36	63	100	310	45	170	230	350
Co	18	150	260	1100	66	813	1200	-
Ni	36	155	200	420	63	381	550	840
Li	2	12,9	22	110	3,9	55	130	-

onde:

- e = elemento
- b = "background"
- t = "threshold"
- vm = valor máximo
- vi = valor máximo isolado

Tabela 1: padrões e valores máximos em ppm de amostras de solo retiradas entre 0,20 e 0,50 m de profundidade, no Morro da Glória, Nova Lima, MG.

A curva de frequência cumulativa da fração < 80 mesh mostra distribuições fortemente anômala para Co e normal, com anomalia muito pequena, para Zn. As curvas de Cu, Pb e Ni são escalonadas entre 35 e 70 ppb e a de Li entre 1,5 e 4,5 ppm - a distribuição dos valores maiores e menores é normal, todavia os valores menores são subrepresentativos (anexo 2.4-1).

Se isto significa uma forma especial de distribuição (isto é, distribuição desarmônica causada por diferenças litológicas), ou erros na amostragem ou nas análises não se podia saber.

Para verificar aqueles resultados, analisou-se a fração > 80mesh - o material foi moído e aquecido com HNO_3 em banho-maria, como de hábito. Os valores absolutos resultam, em geral, muito mais elevados que os da fração < 80mesh, mas a forma das curvas de frequência cumulativa são muito semelhantes (anexo 2.4-2) e as regiões anômalas coincidem. O diagrama de correlação mostra que os resultados das análises de ambas frações são muito bons, para todos elementos considerados, o que constitui mais um indício da boa concordância dos resultados. Por causa desta coincidência, fica afastada a hipótese de erros na análise.

Em relação à primeira questão formulada no § 2.4.2.:

Todos diagramas (anexos 2.4-3 a 2.4-5) parecem indicar que as áreas anômalas são melhor representadas pelo elemento Li. Não obstante, o pequeno número de amostras não permite afirmar que este elemento seja o traçador ideal para as áreas mineralizadas. Passaremos a examinar os 3 perfis, seguindo os diagramas citados e sua situação geológica no mapa anexo 1-1:

Perfil 2 (anexo 2.4-3) - A formação ferrífera que aflora na encosta W não pode ser indicada através dos elementos analisados, talvez por causa da intensa erosão. Em contrapartida, são registrados valores anômalos de Li, Co e Ni na parte E do perfil, entre os piquetes A e D (amostras de profundidade 0,20m).

Perfil 3 (anexo 2.4-4) - À região de afloramentos da formação ferrífera correspondem valores elevados de Co na fração > 80mesh, todavia, não significativos. Os outros elementos têm distribuição normal, não anômala. Na área de ocorrência de xisto grafitoso e na parte E, entre os piquetes A e G, registraram-se valores elevados de Co, Li e Ni. Os valores observados na parte E parecem ser um prolongamento das anomalias existentes entre os piquetes A e D do perfil 2, constituindo uma provável área mineralizada.

Perfil 4 (anexo 2.4-5) - Aqui, a formação ferrífera é evidenciada por valores anômalos de todos elementos, particularmente Co, Ni e Li. Para ambas frações, as amostras retiradas a 0,20m fornecem anomalias mais nítidas; as anomalias da fração > 80mesh são mais características. Na parte E do perfil os valores são mais elevados do que na parte W, por causa de difusão da formação ferrífera na pequena cobertura de E (ver perfil geológico). Entre os valores elevados da parte E registra-se o mais alto nível de elementos-traço da formação ferrífera.

Os altos valores de Cu, Zn e Pb podem ser causados pela bem conhecida para gênese da formação ferrífera: calcopirita, cubanita, esfalerita e galena.

É interessante a ocorrência de Ni e Co, elementos-traço de arsenopirita (RAMDOHR, 1954) que é, depois de pirita e pirrotita, o sulfeto mais frequente nas mineralizações conhecidas e, sobretudo, o portador de Au mais importante. Disto resulta que existe a possibilidade de se rastrear o Au via Co e Ni. Além disso, a boa correlação entre Co e Li (anexos 2.4-3 a 2.4-5) leva a imaginar que o Li possa ser traçador de Au também. Face a pequena quantidade de amostras e a contradição entre os resultados dos três perfis, não se pode afirmá-lo com certeza.

Quanto à segunda questão:

As médias das amostras de 0,20 e 0,50m são mais ou menos idênticas. A 0,90 m os valores de Zn, Co e Ni passam a um nível um pouco mais elevado, que se mantém constante até 1,50m.

No mapa de símbolos (anexo 1.1) foram consideradas, em cada ponto, as amostras de 0,20 e 0,50m, de modo que os pontos são representados dobrados, totalizando uma população de 136 amostras para a avaliação. Já nos perfis geoquímicos (anexos 2.4-3 a 2.4-5) os valores de 0,20 e 0,50m são apresentados separadamente.

O que se infere daqueles perfis é que as amostras de 0,30m evidenciam melhor a formação ferrífera do que as de 0,50m, especialmente para Co e Li. Visto que a cobertura de solo é delgada, e por isso as amostras de 0,50m poderiam advir do horizonte C, os valores mais baixos para a profundidade 0,50m poderiam indicar que àquela profundidade a decomposição é incompleta.

No que se refere à terceira questão:

Entre os piquetes D e E do perfil 2 e no ponto E do perfil 3, onde os afloramentos são parcialmente capeados por material quartzítico proveniente das camadas superiores e por solo, ocorrem valores elevados de Ni, Co, Pb e Zn. Se tais valores anômalos devem ser considerados representativos ou se decorrem simplesmente de contaminação de minerais transportados na estrada, é assunto a ser investigado em trabalhos subsequentes, para os quais propomos uma rede de amostragem de 10m x 20m.

2.4.3. Conclusões e Recomendações

A formação ferrífera só pode ser detectada no perfil 4, onde a inclinação do terreno é menor. A anomalia geoquímica aí verificada é bem definida e mostra a paragénese dos sulfetos da formação ferrífera por meio de valores pouco elevados de Cu, Zn e Pb. É possível que Ni, Co e Li possam ser usados como elementos traçadores de arsenopirita, um dos portadores de Au mais importantes.

Segundo os resultados das análises, as amostras retiradas a 0,20 e 0,30m de profundidade são mais indicativas das áreas mineralizadas. Se existe relação entre o conteúdo em Au nas áreas mineralizadas e as anomalias geoquímicas encontradas, não se pode decidir com a quantidade de amostras (68) coletadas.

As anomalias das frações $<$ e $>$ 80mesh são coincidentes, mas os teores e valores máximos da fração mais grossa são muito mais elevados. As curvas de frequências acumuladas de ambas frações são muito parecidas.

BIBLIOGRAFIA

- Gair, J. E. (1962) - Geology and Ore Deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil, USGS Prof. Paper, 314-A.
- Guimarães, D. (1970) - Arqueogênese do ouro na região central de Minas Gerais, D.N.P.M. - D.F.P.M., Sol. 139.
- Hagen, D. (1973) - Bericht ueber Methoden und Ergebnisse von Probennahme und Verauswertung einer geochemischen Prospektion in den Staaten Minas Gerais und Espírito Santo/Brasilien, Unveroeff. Bericht der DGGM Belo Horizonte.
- Moreschi, J. B. (1972) - Geologia da Mina de Ouro do Faria - MG - Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Ramdohr, P. (1954) - Lehrbuch der Mineralogie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- Routier, P. (1963) - Les Gisements Métallíferes - Geologie et Principes de Recherche, Masson e Cie Editeurs, Paris.
- Tolbert, G. E. (1964) - Geology of the Raposos gold Mine, Minas Gerais, Brazil, Econ. Geology, V. 59.

Autoria: D.Hagen e S.Paulsen

3. GEOFÍSICA

O ouro ocorre, em a natureza, com teores da ordem de milésimos por cento, de modo que suas propriedades físicas são completamente mascaradas pelos minerais de rocha. Isto implica que o ouro, por si só, não pode ser rastreado por meios geofísicos. Sua prospecção, similarmente à do petróleo, é indireta.

Entende-se por prospecção indireta a determinação de estruturas favoráveis à acumulação do mineral e/ou de concentrações de minerais mais abundantes, a ele associados. Conseqüentemente, a escolha dos métodos geofísicos a empregar depende dessas associações mineralógicas.

Visto que tais associações variam muito de local para local, e os atuais conhecimentos geológicos sobre o Morro da Glória não descem a tais detalhes, foram utilizados métodos:

- | | |
|------------------|---|
| Magnéticos | - Magnetometria |
| Radiométricos | - Cintilometria |
| Elétricos | - Potencial Espontâneo, Polarização Induzida e Resis-
tividade |
| Eletromagnéticos | - Slingram e Turam. |

É oportuno frizar que a radiometria não é um método geofísico, mas antes geoquímico. Todavia, por ter sido desenvolvido e operado por geofísicos, é tradi-cionalmente considerado método geofísico.

A Magnetometria permite reconhecer rochas cujo conteúdo em minerais magnéticos (principalmente Magnetita) seja mais elevado que o das rochas circunjas-centes.

Desde que haja reconhecível diferença no nível de energia radiante das rochas, a Cintilometria pode ser utilizada como método de mapeamento.

Os métodos elétricos destinam-se a detectar condutores elétricos; sulfetos (com exceção de Blenda) e Grafita. Condutores maciços, com teores acima de 10 a

30% de sulfetos são bem indicados por Slingram e Turam. Já quando esses teores são da ordem de 1%, isto é, quando as partículas de sulfeto não têm contato físico entre si, a Polarização Induzida constitui o método por excelência. A Eletroresistividade é empregada, associada à Polarização Induzida, para determinações quantitativas de profundidade e atitude dos corpos.

Para cada um desses métodos coube verificar:

- se o instrumental funciona a contento sob as condições climáticas reinantes;
- até que ponto a topografia interfere nas operações de campo e na interpretação;
- se as ocorrências da formação ferrífera produzem anomalias definidas;
- se as eventuais anomalias permitem aquilatar a geometria e localização de corpos de minério;
- se há possibilidade de distinguir teores dentro de um corpo de minério.

O primeiro quesito pode ser imediatamente respondido: todos aparelhos funcionaram sem qualquer problema no que se refere à temperatura ou umidade. Quanto aos outros, serão analisados nos sub-capítulos seguintes.

3.1. MAGNETOMETRIA

3.1.1. Introdução

O levantamento magnetométrico na área de Morro da Glória foi realizado entre os dias 11 e 15 de setembro de 1972.

Com medições a cada 5 m, cobriu-se 3.100 m num total de 5 perfis.

Foram feitas medidas de susceptibilidade das rochas em afloramentos sobre os perfis, em exposições na Mina Esperança III e em testemunhos de sondagem.

3.1.2. Instrumentos de Medida

Os valores geomagnéticos foram medidos com um magnetômetro de torção Askania GFZ, fabricado pela Askania Werke AG (Berlim). Este magnetômetro é designado para levantamentos terrestres e mede a componente Vertical do Campo Magnético da Terra, por meio de um desvio em seu sistema magnético.

Este desvio é controlado externamente no instrumento, aplicando um torque a dois filamentos tensos co-axiais suportando um imã entre eles. O instrumento opera segundo o "Método Zero". O sistema estará na posição "Zero" quando seu eixo magnético repousar num plano horizontal.

O ângulo de torção, exigido para restaurar o desvio do sistema para uma posição perfeitamente horizontal ("ZERO") é uma medida da Componente Vertical do Campo Magnético da Terra.

No campo o operador nivela o instrumento em seu respectivo tripé, o orienta-o, libera o sistema magnético pressionando o botão apropriado, olha

através da ocular e traz o conjunto para a posição "Zero", girando o para_fuso de controle do torque até centralizar a linha que cruza a superfície refletida do espelho entre as duas linhas índices da ocular. Esta coincidência indica que o sistema está agora horizontal. Em seguida lê-se o ângulo de torção em uma escala circular de vidro, graduada até 360° . O ângulo de torção multiplicado pelo fator de escala do GFZ indica diretamente a intensidade da componente em gamas.

O processo de leitura toma menos de 30 segundos e as medições de ponto para ponto cerca de 2 minutos, a depender do espaçamento e do relevo do terreno.

As medidas de susceptibilidade magnética foram feitas utilizando o "Kappameter" modelo KT-3, fabricado pela ABEM (Suécia).

O Kappameter é um instrumento leve (1,25 kg), portátil e é muito utilizado para medidas seguras e rápidas nas rochas "in situ" ou em amostras.

3.1.3. Redução dos Dados

As observações magnéticas devem ser corrigidas das variações diurnas do campo magnético terrestre.

A medida da variação diurna pode se processar de duas maneiras:

- a. A intervalos de tempo iguais e usando o mesmo instrumento de medida, repete-se a leitura em um ponto denominado base, escolhido fora da anomalia;
- b. Com o auxílio de outro instrumento registra-se continuamente o valor do Campo no ponto base.

Neste levantamento adotou-se o primeiro procedimento. As correções são feitas repetindo depois de um tempo T (aproximadamente 2 horas), a leitura no "base". Se a leitura repetida mostra uma diferença \pm "d", todas as leituras medidas no intervalo serão corrigidas da quantidade \mp d. t/T, onde, t é o tempo em que ele foi obtido após a primeira medição no ponto base. Utilizando o mesmo aparelho de medida para as leituras no ponto base, significa que a variação "d" não indica somente a oscilação diurna mas reúne também todas as mudanças inerentes ao instrumento (drift e altura do tripé).

No caso de um instrumento auxiliar registrando continuamente o campo local, a menos que esteja livre do drift, a precisão que se esperava é meramente ilusória.

Obtêm-se os valores anômalos em cada ponto de medida subtraindo-se dos valores lidos aquele lido no ponto base no início de cada etapa do levantamento.

3.1.4. Símbolos e Abreviações

Para simplificação, tanto no texto como nos perfis de interpretação, anexos, são empregados símbolos e abreviações.

Na figura 1, a seguir, mostra-se os símbolos e abreviações empregados.

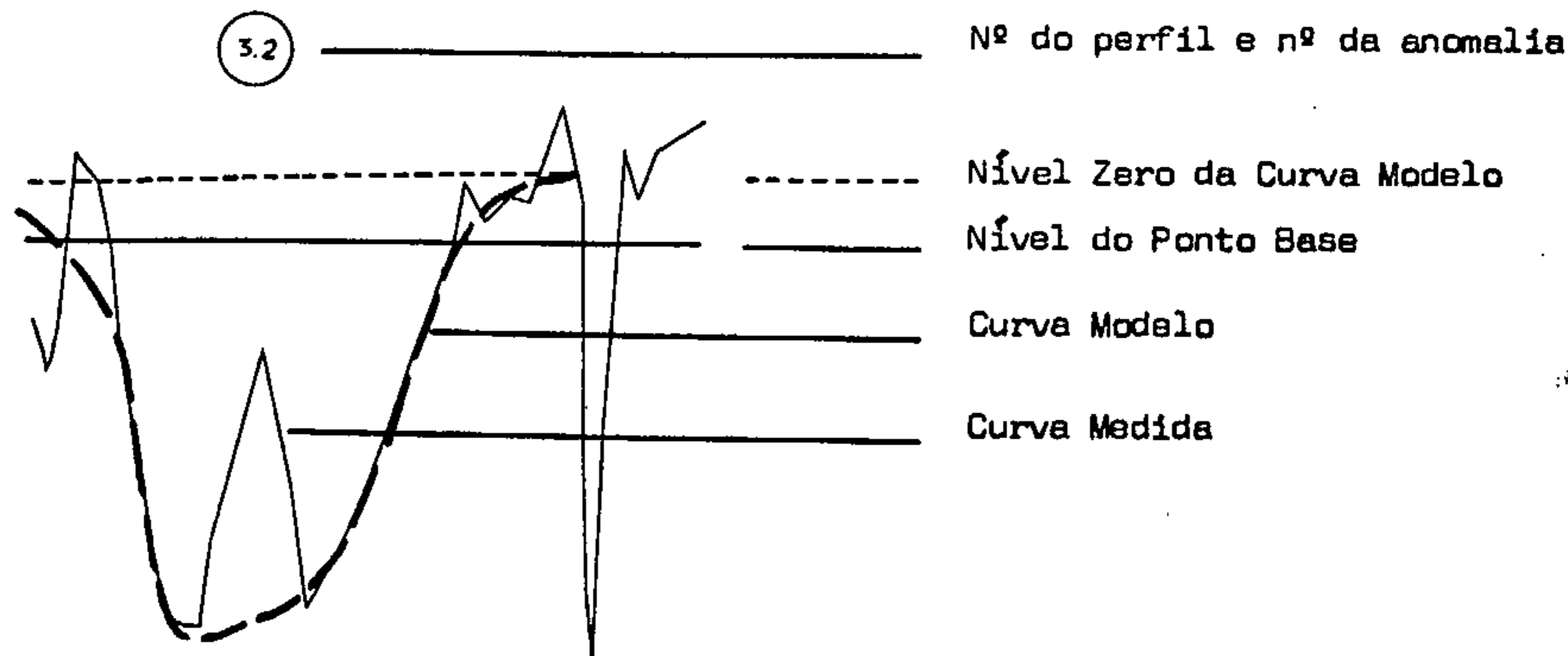


Fig. 1a

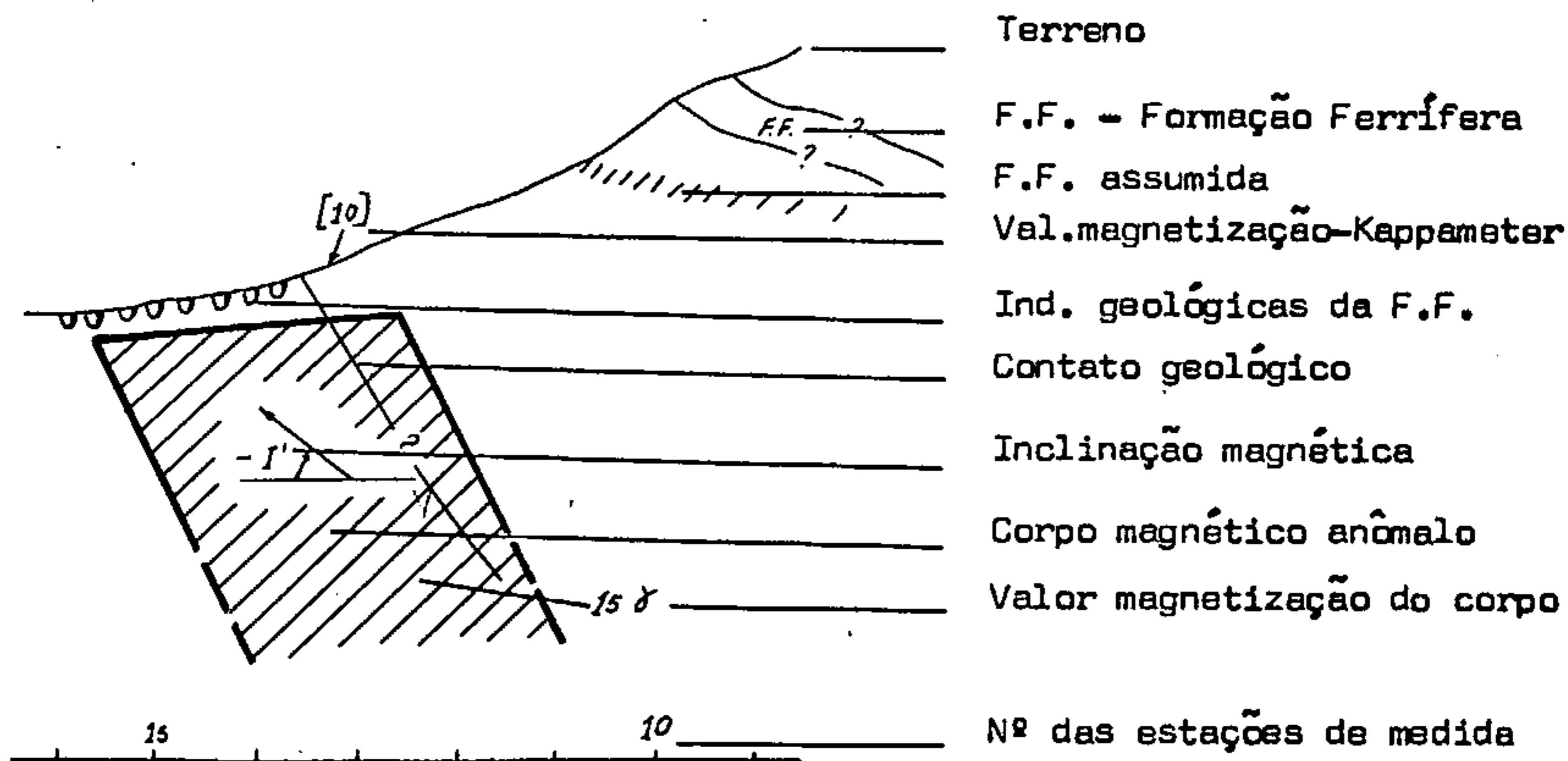


Fig. 1b

3.1.5. Resultado das Medições e sua Interpretação

3.1.5.1. Resultado das Medidas das Rochas Magnetizadas

As medidas de magnetização das rochas foram efetuadas, em afloramentos (em parte intemperizados) da F.F., em exposições frescas na Mina Esperança III e em testemunhos de sondagens. Foram obtidos valores de magnetização entre 10 e 1.000 gamas. Esta magnetização medida corresponde somente à parte induzida pelo campo geomagnético atual.

As rochas adjacentes a F.F. parecem ser não magnetizadas ou fracamente magnetizadas ($0 - 20 \chi$).

3.1.5.2. Considerações sobre os Modelos

Após uma primeira vista, sobre os perfis desenhados (Anexos 3.1 - 1 a 5), vê-se que existem anomalias de formas bem definidas e que se repetem.

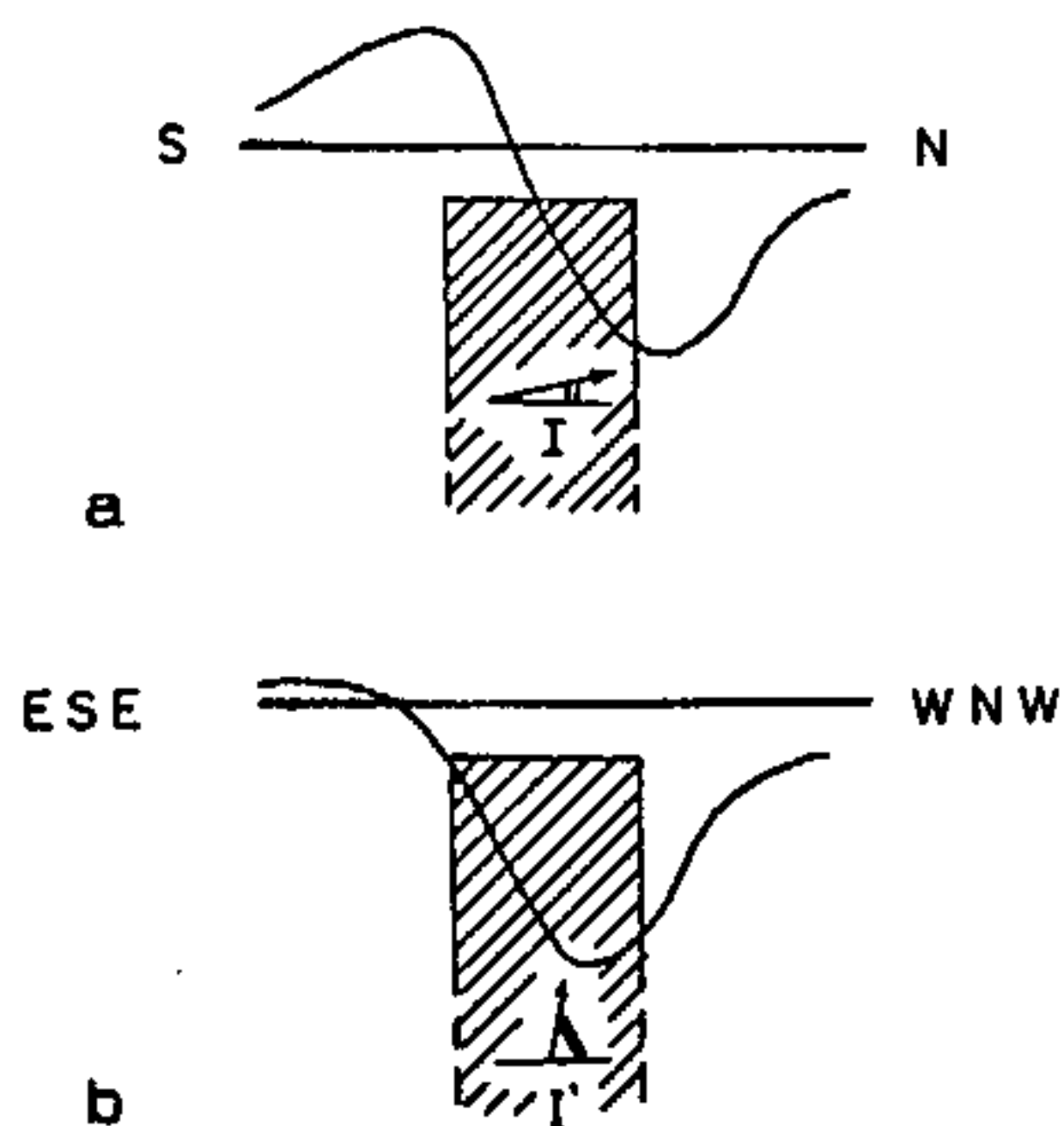


Fig. 2

A fig. 2 mostra a forma de uma anomalia sobre o contato entre as rochas básicas e os xistos não grafitosos da área.

Utilizando as informações geológicas (posição, direção e mergulho da zona de contato), este contato pode ser interpretado com um corpo magnético de inclinação "I" paralela à direção do Campo atual da Terra (fig. 2a)

No cálculo de um modelo para um perfil de direção, por exemplo, WSW-ESE, a inclinação I , é projetada no plano vertical que contém o perfil, referenciada pela letra "I" e determinada pela fórmula $\tan I' = \tan I / \cos \alpha$, onde α é o ângulo entre o norte magnético e a direção do perfil (fig. 2b).

Esta inclinação projetada é denominada inclinação aparente.

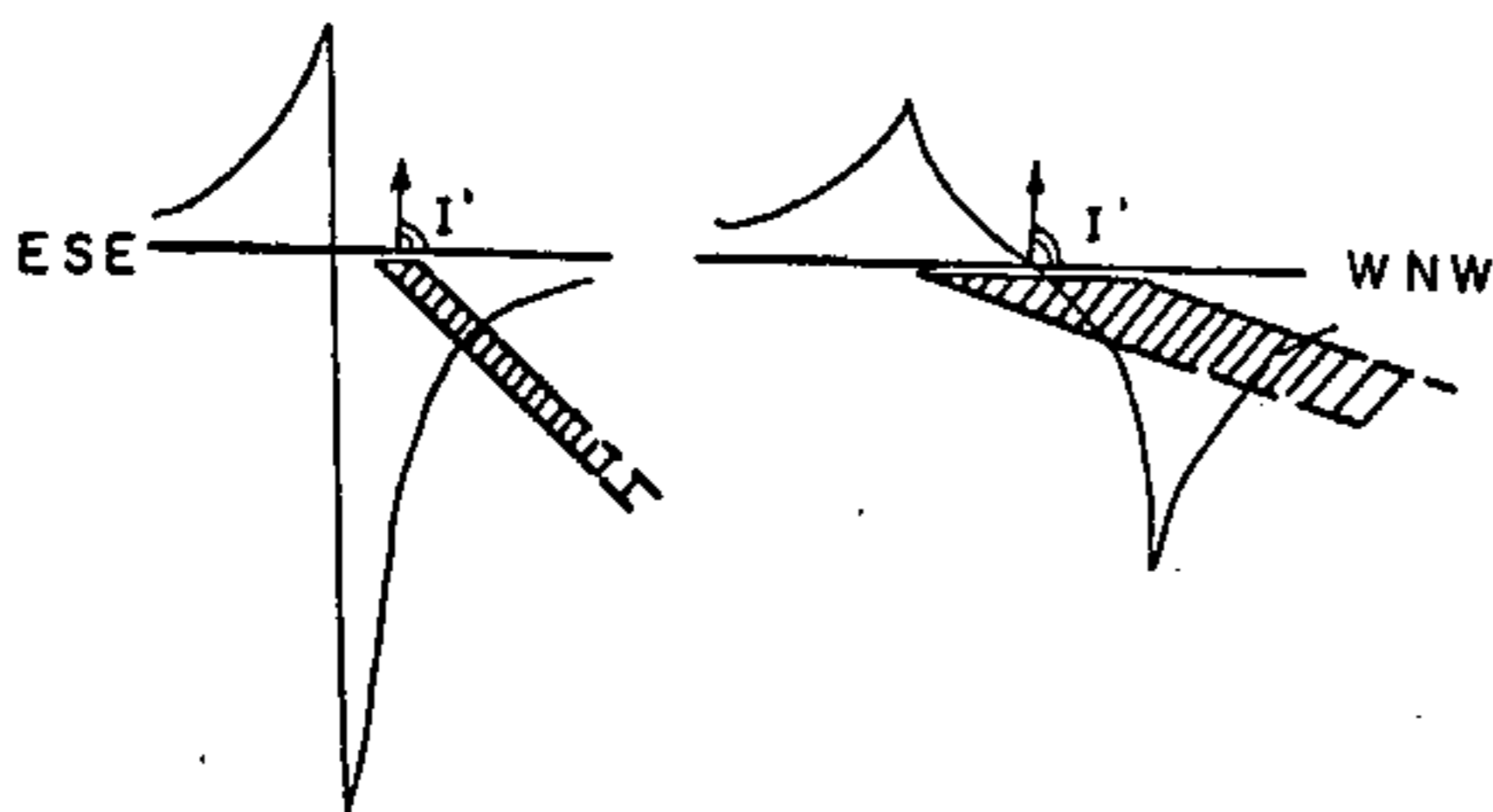


Fig. 3

A fig. 3 mostra as formas das anomalias observadas sobre os afloramentos da F.F. mapeados pela geologia. Considerando os dados geológicos estas anomalias não podem ser interpretadas usando a inclinação do campo atual da Terra.

Com base nos conhecimentos geológicos, assume-se para valor de I ou I' aproximadamente $-90^{\circ}N$, que é o ângulo de inclinação do vetor soma da magnetização induzida conhecida e da remanente desconhecida.

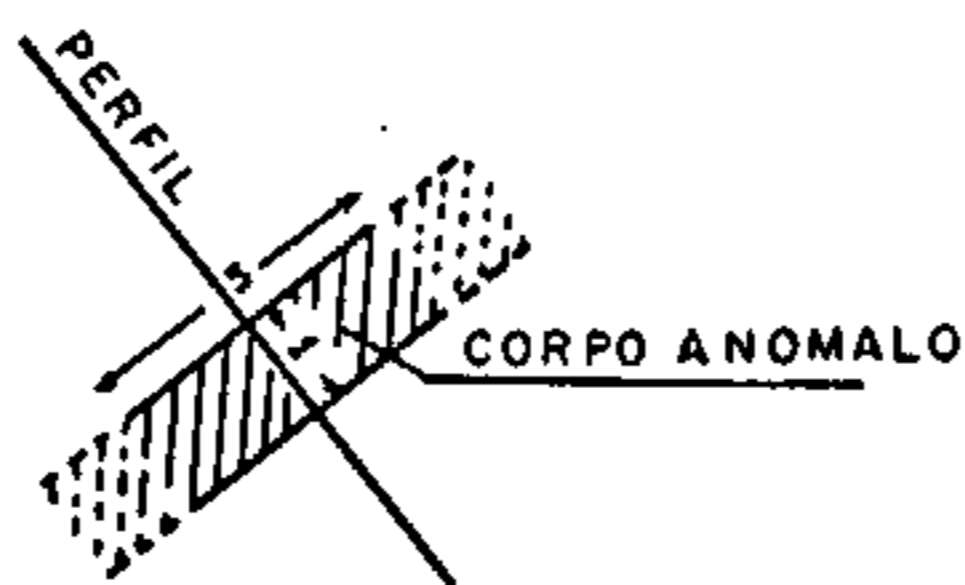


Fig. 4

Para a interpretação bidimensional de uma anomalia presume-se que o perfil intercepta o corpo perpendicularmente à sua direção (strike). Além dessa afirmativa, tratando-se de corpo bidimensional, sua extensão

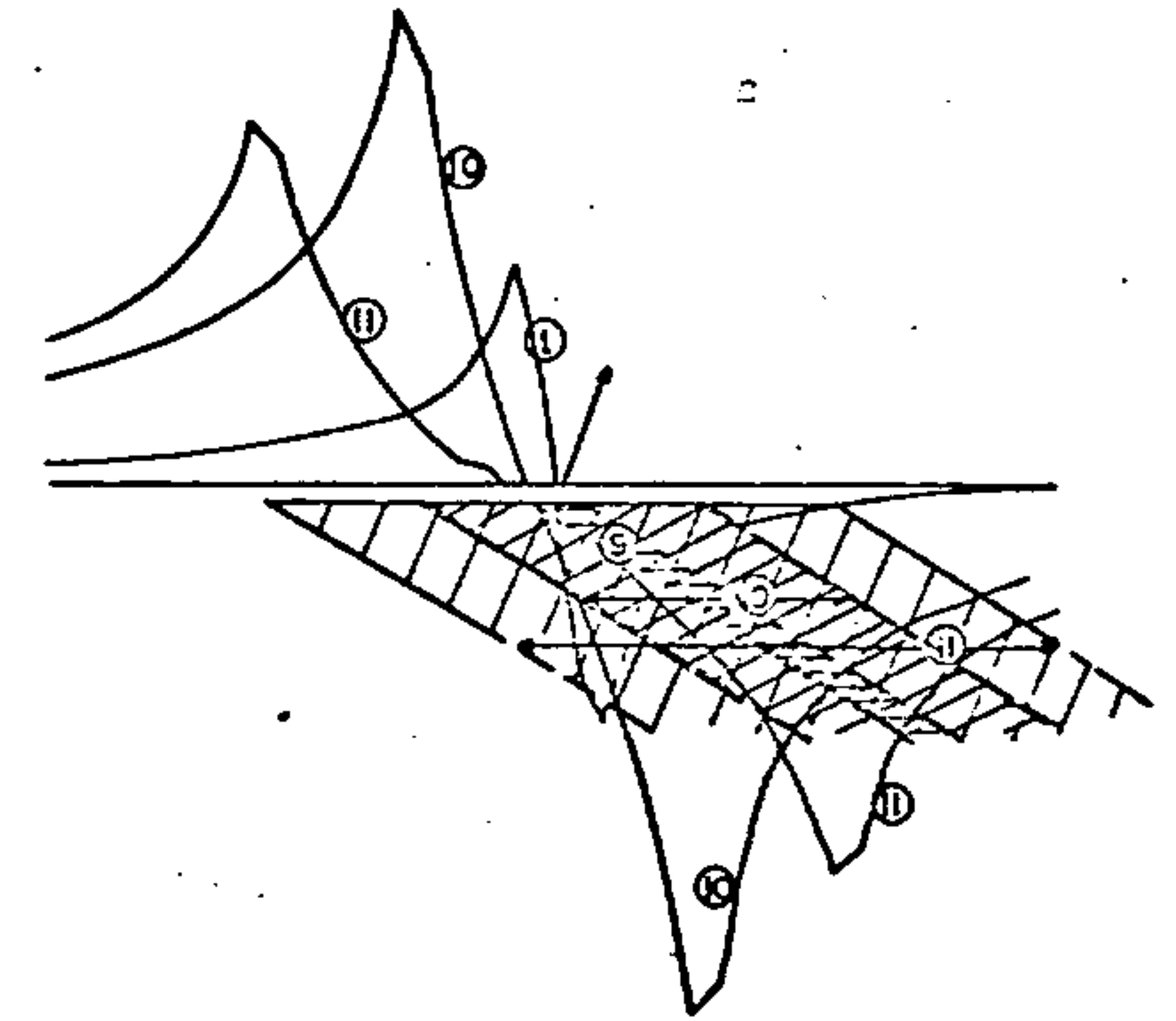
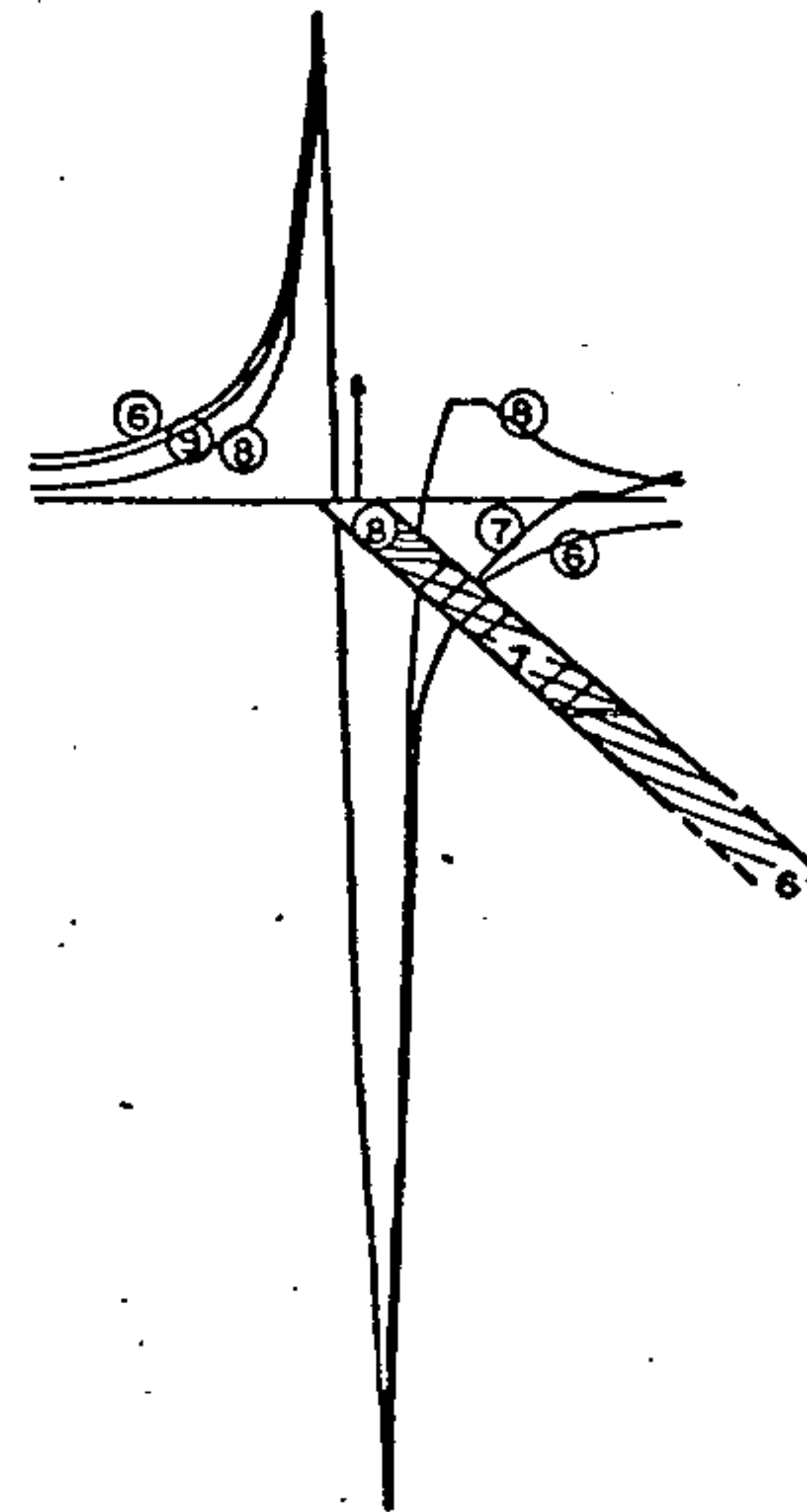
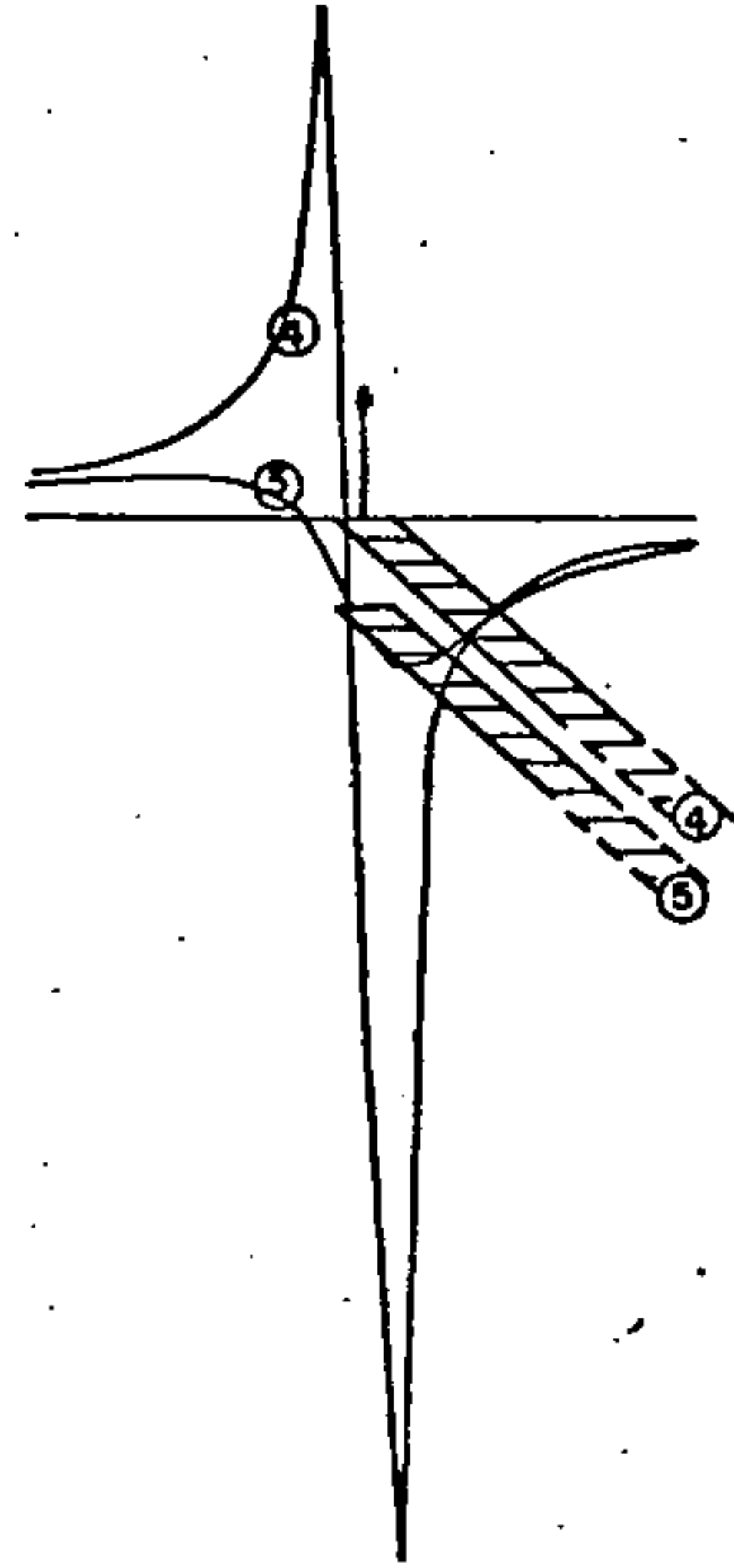
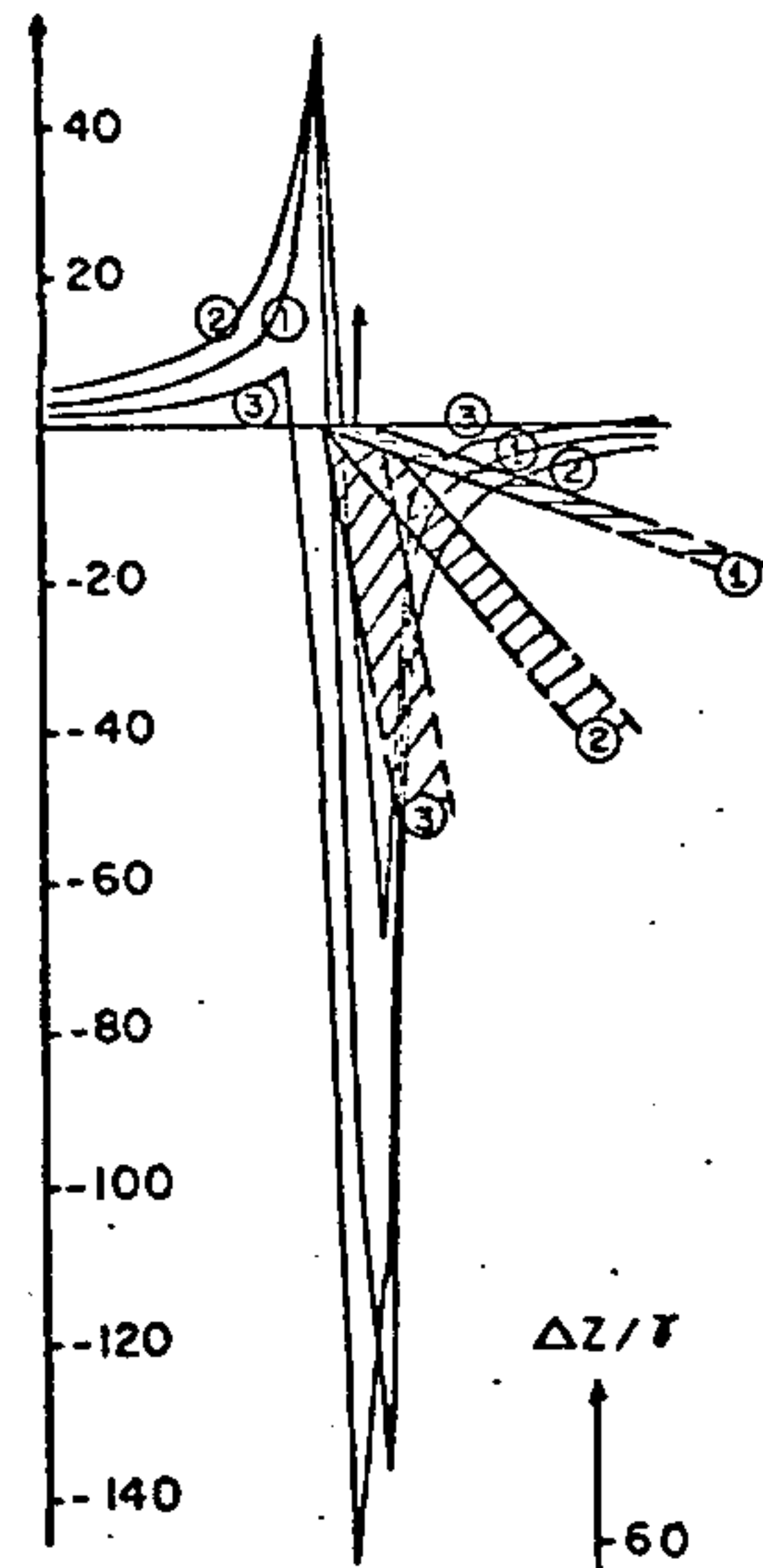
são alongada (sentido do strike) deve ser no mínimo três vezes sua dimensão na direção do perfil (fig. 4).

O comportamento da curva vai depender naturalmente da homogeneidade de magnetização do corpo.

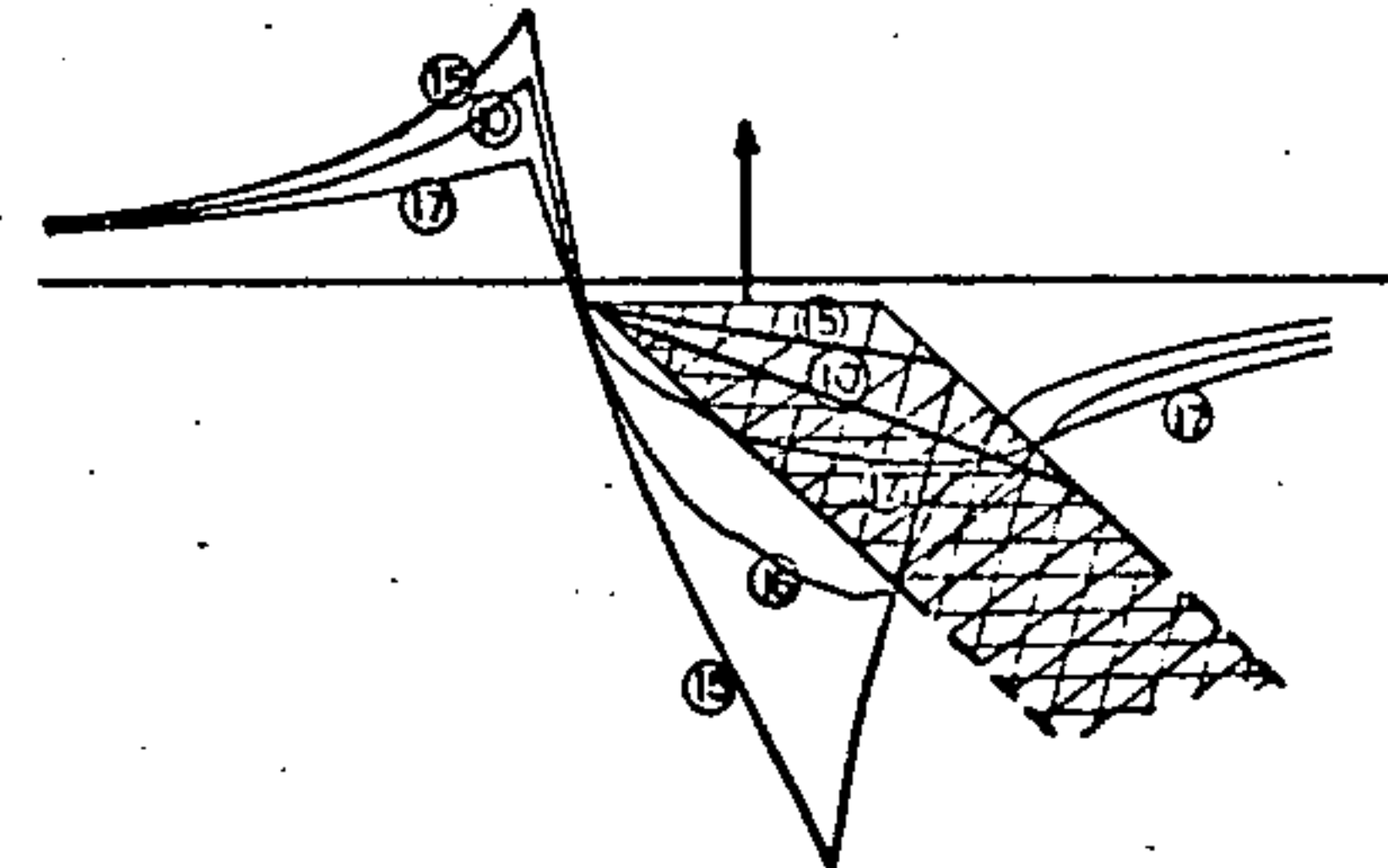
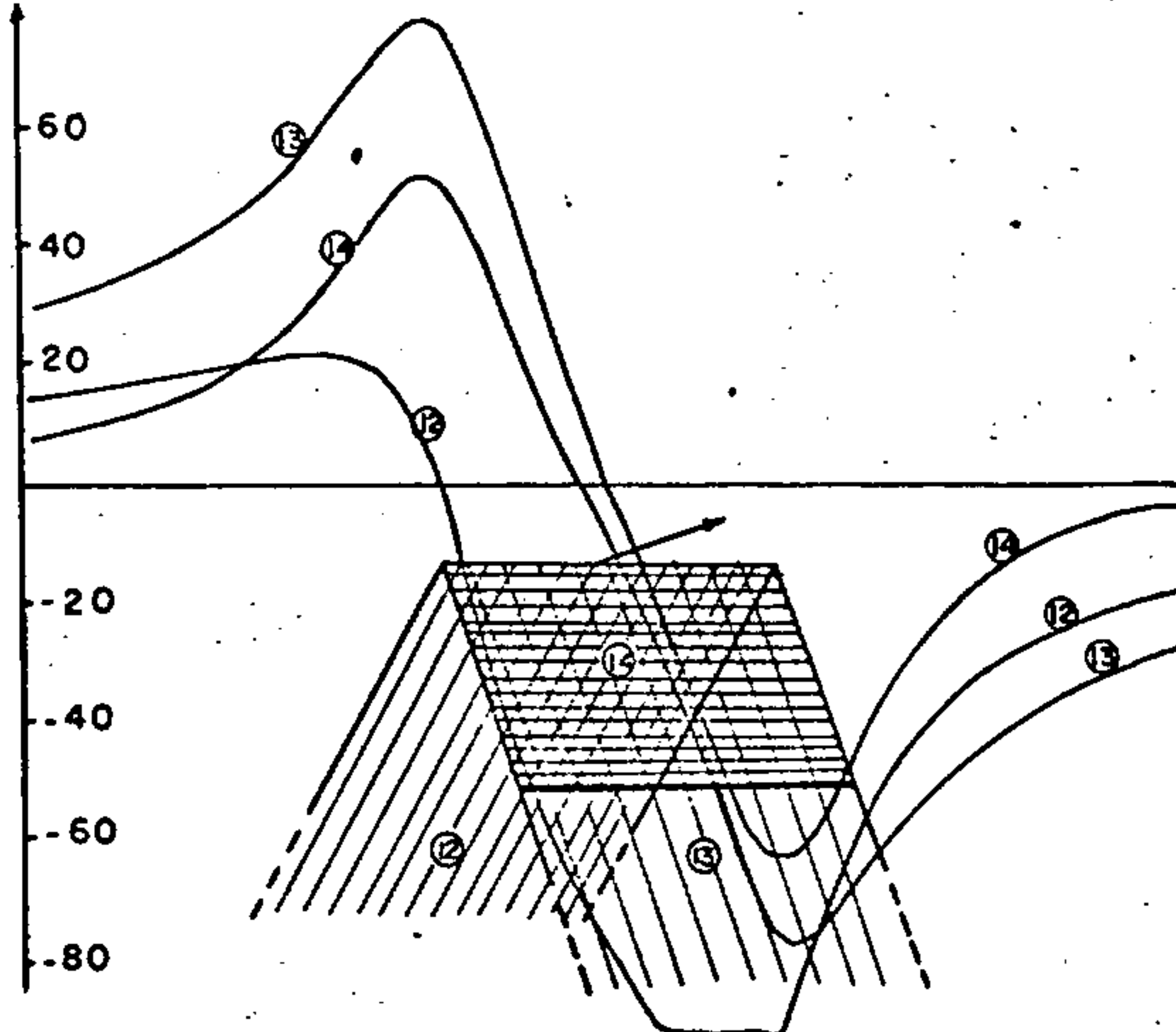
Para interpretação isolada das anomalias foram desenhados e calculados modelos e feita a escolha por comparação com as curvas medidas, para a representação dos corpos (fig. 6).

MODELOS E CURVAS

$\Delta Z/\gamma$



$\Delta Z/\gamma$



- ①-⑧ INCLINAÇÃO -90°; MAGNETIZAÇÃO 25γ
- ①-⑩ INCLINAÇÃO -70°; MAGNETIZAÇÃO 25γ
- ⑪ INCLINAÇÃO -70°; MAGNETIZAÇÃO 15γ
- ⑫-⑭ INCLINAÇÃO -20°; MAGNETIZAÇÃO 25γ
- ⑮-⑰ INCLINAÇÃO -90°; MAGNETIZAÇÃO 15γ

Especial atenção deve ser dada à diferença entre a curva causada por um corpo infinito e um finito.

A anomalia resultante da soma de curvas teóricas de corpos finitos com diferentes valores de magnetização, próximos a superfície, é o modelo que mais se aproxima daquela registrada sobre as ocorrências da F.F. (fig. 5)

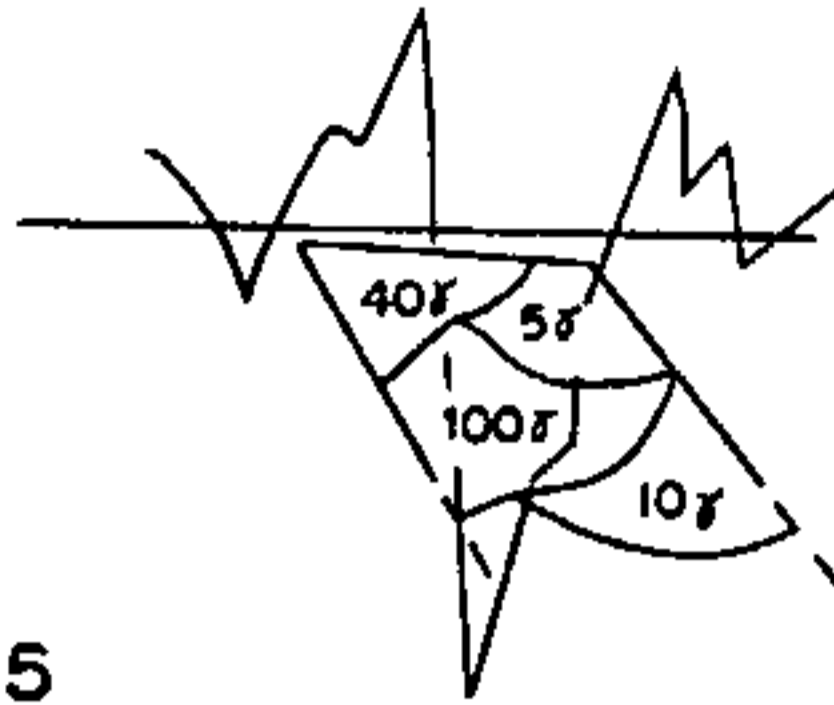


Fig. 5

3.1.5.3. Descrição dos perfis

A divergência entre a anomalia medida e a calculada é explicada principalmente pela inhomogeneidade na magnetização da F.F., como já foi referido. Esta inhomogeneidade é observada pelos diferentes valores de Magnetização (10 - 1.000 γ), conseguido através das leituras com Kappemeter nas galerias da Mina Esperança III.

A seguir far-se-á a descrição das anomalias e os corpos correspondentes na ordem de numeração dos perfis.

Perfil 1 (Anexo 3.1 - 1)

Entre as anomalias detectadas neste perfil destaca-se a identificada por (1.3), que corresponde ao afloramento da F.F., situado em sua parte oeste.

Foi interpretada através de um modelo de dique espesso mergulhando para leste com inclinação $I' = -90^\circ$ e magnetização de 1.000 gamas.

Entre os pontos 7 e 8 onde o mapeamento geológico registra outro afloramento da F.F. nenhuma anomalia significativa foi obser

vada. Isto, pode ser explicado pela provável intemperização da rocha e conseqüente empobrecimento em magnetita.

Outra anomalia bem definida, assinalada por (1.1), é encontrada na zona de afloramentos de rochas básicas.

Apesar de apresentar as mesmas características físicas da anomalia (1.3), é pouco provável que seja causada pela F.F. É mais aceitável que tenha sido provocada por dique basáltico rico em magnetita, como ocorre nas rochas básicas da Mina de Faria.

A anomalia (1.2), predominantemente um mínimo, coincide com o contato entre rochas básicas e xistos.

Entre os pontos 0 e 7 o perfil mostra valores variando abruptamente. Estas variações tem suas causas desconhecidas podendo ser atribuídas a um enriquecimento de magnetita nos filitos ou a seixos da F.F. aqui bastante magnetizados.

Perfil 2 (Anexo 3.1 - 2)

Das cinco anomalias observadas, apenas a anomalia (2.2) corresponde à F.F. mapeada.

A curva calculada para sua interpretação foi de um modelo tipo placa espessa mergulhando para leste, de inclinação magnética $I' = -90^{\circ}$ e magnetização entre 25 e 50 gamas.

O afloramento da F.F. mostrado entre os pontos 10 e 11 reflete apenas uma anomalia fraca, possivelmente devido às mesmas razões supostas para o perfil 1.

As anomalias (2.3) e (2.4), calculadas com os mesmos dados físicos que (2.2), podem ser relacionadas às intercalações de xistos grafitosos ricos em magnetita mostrados no mapa geológico.

As anomalias (2.1) e (2.5) apesar de serem interpretadas

pelo mesmo corpo modelo não podem ser explicadas através de correlação com o mapa geológico, podendo ser devidas tanto à F.F., como a xistos não mapeados.

Perfil 3 (Anexo 3.1 - 3)

A anomalia designada por (3.3) corresponde à faixa de afloramentos da F.F. Comparada às anomalias (1.3) do perfil 1 e (2.2) do perfil 2, que são semelhantes, a anomalia 3.3 tem um aspecto totalmente diferente. Isto pode ser explicado pela intemperização da F.F., onde a magnetita transformou-se parcialmente em hematita ou goetita. As medidas com kappameter nos afloramentos vêm corroborar esta idéia, desde que no perfil 1 foram obtidos valores da ordem de 700 gamas e no perfil 3 de apenas 1 gama.

A anomalia (3.2), constituída de um mínimo, corresponde à suposta zona de contato entre as rochas básicas e metamórficas.

Foi interpretada como uma placa espessa mergulhando para leste, inclinação aparente de -140° e magnetização de 20 gamas.

A anomalia (3.4), interpretada como resultante de duas placas finas paralelas mergulhando para leste ($I' = -90$ e $J = 10$ gamas) parece relacionada às camadas de xistos grafitosos exibidas pela geologia.

O comportamento desarmônico do perfil entre os pontos D e G, sem correspondência geológica visível, poderia ser explicado como no perfil 1, ou ainda atribuído à F.F. não aflorante.

A anomalia (3.5), semelhante à anomalia (2.5) do perfil 2, poderia ter a mesma hipótese geológica, ou seja ser causada por camadas da F.F. ou de xistos grafitosos não aflorantes.

Para a anomalia (3.1), até o momento não se encontrou correspondência com o mapa geológico.

Perfil 4 (Anexo 3.1 - 4)

A anomalia (4.2) ($I^* = -140$ e $J = 20 \gamma$) caracteriza mais uma vez a zona de contato entre as rochas básicas e as rochas metamórficas. A anomalia (4.3) que se sobrepõe à anomalia (4.2) pode ser explicada por um enriquecimento de magnetita na zona de contato.

A anomalia (4.4) semelhante às atribuídas aos xistos grafitosos aflorantes, presumivelmente tem a mesma correspondência geológica.

A anomalia (4.1) que aparece na faixa de ocorrência de rochas básicas, pelas suas características, poderia ser causada por dique basáltico. Já a anomalia (4.5) de mesma feição não tem conotação geológica.

Entre os pontos 21 e 33, onde o perfil é bastante perturbado, são encontrados na superfície seixos da F.F., podendo constituir indicações da mesma.

Perfil 5 (Anexo 3.1 - 5)

Nenhuma ocorrência da F.F. foi constatada na parte levantada do perfil. Sobre a rocha básica o perfil mostra-se bastante perturbado, com variações entre as medidas, superiores a 100 gamas. Pelas características magnéticas pode-se assumir ocorrências da F.F. Aspecto semelhante exhibe o perfil 4 que o intercepta no ponto 6.

A anomalia (5.1) possivelmente constituída de um máximo e mínimo situa-se na zona de contato de rocha básica com rocha metamórfica.

3.1.6. Conclusões

As medições com Kappameter em testemunho de sondagens revelaram que dentro da F.F. as zonas mais fracamente magnetizadas, apresentam teor mais elevado de minério sulfetado que as mais fortemente magnetizadas. Este resultado corresponde exatamente aos obtidos pelas pesquisas geológicas efetuadas na Mina de Faria.

As medições com magnetômetro não mostram sempre anomalias sobre os afloramentos da F.F. Este fato pode ter as seguintes explicações:

1. A F.F. é bastante intemperizada em profundidade e a magnetita transformou-se nos minerais não magnéticos hematita e goetita;
2. A F.F. não é intemperizada, mas pobre em magnetita. Neste caso, onde a magnetometria mostra uma zona não perturbada, outros métodos geofísicos indicam depósitos sulfetados. O método magnético por conseguinte pode indiretamente indicar estas zonas sulfetadas.

No contato entre as rochas básicas e metamórficas em parte apenas inferido pela geologia, detectou-se em todos os perfis anomalias magnéticas típicas (mínimo predominante) e de mesmas características físicas. Isto significa que a magnetometria pode determinar com certeza estes contatos geológicos.

Participantes: - operações de campo: J.P.Ostwald e J.T.A.Elias
- redação: J.P.Ostwald e J.Paulino

BIBLIOGRAFIA

ABEM (1971) - Field rock magnetic susceptibility measuring device - Kappameter KT-3, operating instruction, Institute of Applied Geophysics, Brno, Czechoslovakia.

Bosum, W. (1966) - Diagrams for the computation of magnetic field components, for their transformation into one another and for their upward continuation (two-dimensional case), Z. Geophys., V. 32, P. 1-25, Würzburg.

Haalck, F. (1956) - Ein Torsionsmagnetometer zur Messung der Vertikalkomponente des erdmagnetischen Feldes, Askania, Werke Berlin, n° 50.

Parasnis, D. S. (1966) - Mining Geophysics - Elsevier Publishing Company, Amsterdam/London/New York.

S.E.G. (1969) - Mining Geophysics, V. I e II.



3.2. CINTILOMETRIA

3.2.1. Introdução ao método

A prospecção radiométrica se faz, modernamente, através a medida de radiação γ , graças à ação ionizante que esta tem sobre a matéria.

Como se sabe, a energia da radiação γ incidente sobre um átomo é transferida a seus elétrons mais externos, que passam a orbitar em níveis de energia superiores e instáveis. Em consequência dessa instabilidade, os elétrons voltam às órbitas originais emitindo pulsos eletromagnéticos, proporcionalmente à energia γ recebida. Nas substâncias fosforescentes a emissão eletromagnética situa-se na faixa da luz visível e ultra-violeta. A energia luminosa, enviada a um transductor óptico-elétrico, é transformada em corrente elétrica e grandemente amplificada (ganho da ordem de 10^6 a 10^9).

Tais fenômenos constituem o princípio de funcionamento de todos os cintilômetros, sejam eles de uso terrestre ou aero-transportados.

Para levantamentos terrestres, o CGBA dispõe do modelo TV-5, da McPhar Geoph. Ltd., Toronto, cujos detalhes de construção analisaremos sucintamente.

3.2.1.1. Cristal de NaI ativado por Tl, com 1 3/4" de diâmetro e 2" de espessura. É um material transparente e fosforescente, que transforma a radiação γ em cintilações.

3.2.1.2. Célula fotomultiplicadora, em cujo fotocátodo as cintilações provocam emissão de elétrons. Esses elétrons são dirigidos para anodos especiais (dinodos) dispostos em cascata. Por efeito de emissão secundária o sinal é aí amplificado.

3.2.1.3. Analizador de nível de energia com 4 canais, cada qual com seu limiar mínimo específico (pelo fato de operar com limiares e não com janelas, o TV-5 é classificado como espectrômetro integral).

Esses limiares correspondem aos níveis de energia dos produtos de desintegração característicos dos elementos investigados. Em outras palavras: os elementos K, U e Th são detectados via seus produtos de desintegração K^{40} , Bi^{214} e Pb^{208} , respectivamente. Os canais, com seus correspondentes limiares e funções, são:

- T_0 (0,20 MeV) mede todo o espectro de radiação;
- T_1 (1,30 MeV) mede os elementos K, U e Th;
- T_2 (1,63 MeV) mede os elementos U e Th;
- T_3 (2,50 MeV) mede o elemento Th.

3.2.1.4. Contador: dispositivo para totalização dos pulsos recebidos do analisador. É acoplado a um galvanômetro, onde se lê o valor da contagem e a um alto-falante, para controle acústico. São disponíveis dois tipos de contagem "rate" (maior velocidade) e "scaler" - (maior precisão).

Na modalidade "rate" é tomada a média dos pulsos recebidos durante 1,3 ou 10 segundos (opcional), indicada automaticamente em contagem por minuto (c.p.m.). Para cada canal é feita uma contagem independente.

Em "scaler", é totalizado o número de pulsos durante 1,2 ou 5 minutos (opcional). O resultado deve ser dividido pelo tempo de integração para obtenção de c.p.m. A totalização é feita simultaneamente para os 3 canais T_1 , T_2 e T_3 .

Em função dos limiares considerados e dos valores de T_1 , T_2 e T_3 , é possível separar as contagens líquidas aproximadas de Th, U e K. A contagem líquida de Th é obtida diretamente de T_3 , em fun



ção da qual se determina a contagem líquida de U em T_2 . Ambas contagens líquidas são descontadas de T_1 , restando a contagem líquida de K.

Essas relações mútuas dependem do tamanho do cristal e, para o TV-5 são as seguintes:

$$\begin{array}{ll} C3_{Th} = C3 & \text{contagem líquida de Th} \\ C2_U = C2 - 3,5 C3_{Th} & \text{contagem líquida de U} \\ C1_K = C1 - 1,95 C2_U - 4,72 C3_{Th} & \text{contagem líquida de K} \end{array}$$

onde $C1$, $C2$ e $C3$ são os valores T_1 , T_2 e T_3 abatidos dos respectivos "back-grounds".

É preciso controlar essas constantes, aferindo diariamente a relação T_2/T_3 em presença de uma amostra de Th fornecida pela Mc Phar. Deve-se obter uma relação de 7000/2000, isto é, 3,5:1. Caso contrário calibra-se o galvanômetro, operação simples e rápida.

Quando a radiometria é empregada como meio auxiliar de mapeamento geológico, caso do CGBA, as contagens líquidas são consideradas valores finais. Para a investigação de minerais radioativos, todavia, se requer a determinação de teores, a partir daquelas contagens. Para tanto, são necessárias análises químicas, cujo resultado permitirá relacionar contagens a teores.

3.2.2. Operações

As medições se realizaram de 13 a 15, 21 a 22 e 25 a 27.09.72, cobrindo os 5 perfis. Naqueles 8 dias foram levantados 2.940m, ou seja, em média 367,5 m/dia. Essa média não é, absolutamente, representativa, face as inúmeras reiterações nas medições.

O espaçamento entre as medições foi, geralmente, 20m, reduzindo-se para 10m quando em zonas anômalas.

O controle de variação diurna e deriva instrumental se fez diariamente, por meio de leituras no ponto base, de manhã e à tarde. Esse ponto foi escolhido em zona não perturbada.

As medidas foram lidas em "scaler", com tempo de integração de 1 minuto. Entre uma estação e outra manteve-se o instrumento ligado em "rate" com tempo de 3 segundos, para controle acústico.

3.2.3. Interpretação

Os valores medidos, T_1 , T_2 e T_3 , são apresentados em forma de curva nos anexos 3.2 - 1 a 3.2 - 5.

Os perfis 1 e 2 apresentaram as contagens mais elevadas da área, mas, ainda assim, próximas do "back-ground". O maior valor medido de T_1 foi 240 c.p.m., correspondente a $Cl_K = 40$ c.p.m. Face a tais resultados, calculou-se as contagens líquidas somente para os perfis 1 e 2, cujos resultados são mostrados nos anexos 3.2 - 6 e 3.2 - 7.

A redução foi calculada segundo as fórmulas apresentadas no item 3.2.1, com um computador/plotador eletrônico de mesa, modelo Hewlett-Packard 9100A. Utilizou-se um programa elaborado por Mäkler (1972), que permite desenhar automaticamente os resultados.

A título de comprovação das medidas e melhor individualização das anomalias, reiterou-se o levantamento de alguns perfis até 4 vezes, com idênticos resultados. Constatou-se, então, que:

- as curvas são muito ruidosas;
- anomalias interessantes, por exemplo, da ordem de grandeza 5 x "back" -

- ground", só começam a ser registradas a poucos metros antes e depois dos afloramentos da formação ferrífera;
- aquelas anomalias são dúbias, pois se apresentam como mínimo entre 2/7 e 2/8 e como máximo entre 4/12 e 4/14;
 - o grande máximo entre 1/9 e 1/16 e 2/V e 2/6 não tem conotação geológica

3.2.4. Considerações finais

As curvas são ruidosas, o que recomendaria a elaboração de programa de cálculo (p. ex. filtragem) que eliminasse os desvios estatísticos, tornando as anomalias mais distintas.

Os resultados são ambíguos, o que desaconselha a utilização do método nessa área.

Participantes:

- operações de campo: K. Mäkler e G. A. D. de Aguiar
- redação: K. Mäkler e A. B. Vieira

BIBLIOGRAFIA

Barreto, P. M. C. (1969) - Aplicação da Espectrometria Gama na Prospecção aérea de Minerais Nucleares, CNEN, Publicação nº 7.

Gregory, A. F. (1972) - Geological Applications of Portable Gamma-Ray Spectrometers, McPhar Geophysics Ltd, Toronto.

McPhar - Model TV-5 SCINTILLOMETER, Manual, McPhar Geoph., Toronto.

Oliveira, G. S. de (1972) - Cintilometria - Operações de Campo, Pitangui - área norte, CPRM, Rel. Interno.

Pauling, L. (1958) - Química General (trad. J. I. Alonso), Aguilar Ediciones, Madrid.

3.3. POTENCIAL ESPONTÂNEO

3.3.1. Introdução ao método

Com o método do Potencial Espontâneo (SP) determina-se a distribuição de potenciais elétricos constantes na superfície do terreno. Utilizam-se, normalmente, dois eletrodos não polarizados, dos quais um permanece fixo em um ponto base durante a medição, enquanto o outro é deslocado segundo espaçamento constante, ao longo de um ou mais perfis. A diferença de potencial entre a base e o eletrodo móvel é medida através de um milivoltímetro de grande resistência interna (~ 10 Megohm).

Em geral, as diferenças de potencial medidas no terreno são da ordem de algumas dezenas de mV. Próximo a ocorrências de mineralizações compactas de sulfetos ou grafita são, no entanto, observáveis diferenças de até 1000 mV.

A origem desse potencial não foi ainda perfeitamente explicada, parecendo mais viável a teoria de Sato e Mooney (1960). Segundo esta, o corpo de minério ou grafita não provoca, motu próprio, diferenças de potencial através de reações eletroquímicas, mas atua tão somente como bom condutor entre zonas do subsolo que já apresentem diferenças de potencial entre si. Estas diferenças resultam de variações nos potenciais de oxidação-redução das soluções de percolação em profundidade, causadas por mudanças no teor de oxigênio.

Em terreno homogêneo, a superfície do solo é também uma superfície equipotencial. A presença de bons condutores afeta a distribuição do potencial, causando na superfície do solo uma anomalia no potencial espontâneo.

Admitindo que o potencial eletroquímico primário seja homogêneo, a configuração da anomalia dependerá de: forma, extensão e localização do con

dutor no subsolo. Em decorrência, pode-se determinar a dimensão e posição do corpo através da forma da anomalia.

Como modelo para interpretação das medições na região do Morro da Glória foi escolhida a placa delgada finita, cuja teoria correspondente é desenvolvida em trabalho ainda inédito de Sengpiel.

3.3.2. Operações

Os levantamentos se efetuaram de 11 a 15.09.72, compreendendo 5 perfis, totalizando cerca de 3 km.

Os pontos de medida foram espaçados de 20m. Em cada ponto realizaram-se, pelo menos, duas medições, afastadas de, mais ou menos 1m entre si.

3.3.3. Apresentação e interpretação

Os valores medidos, representados por pontos e ligados por curva média, são apresentados na parte superior das figuras 3.3 - 1 a 3.3 - 5. Como exceção, a figura 3.3 - 2 é proveniente de cálculo teórico (cf. 3.3.4).

Na parte inferior das figuras estão representados os cortes geológicos, compilados da figura - 1, onde constam as topografia e localização, conhecida ou suposta, da formação ferrífera e outros dados geológicos.

Medidas de amarração entre os perfis (com exceção do perfil 1, fig. 3.3 - 5) permitiram estabelecer um nível de potencial zero comum. Este nível fica situado, normalmente, fora das anomalias, em regiões não perturbadas (no caso, o meio do perfil 5, fig. 3.3 - 4).

Como se pode ver nas figuras, todos os perfis exibem nítidas anomalias de SP que, no entanto, não foram completamente abrangidas pelas medi

ções, como ilustra o perfil 5.

Os valores extremos das anomalias são negativos em relação à região circundante, fato geralmente observado na maioria das ocorrências de sulfeto. Contíguos a esses mínimos acham-se, frequentemente - como na Magnetometria - máximos de potencial, cujas amplitudes são essencialmente menores que as dos mínimos. Os máximo e mínimo pertencem, em geral, ao mesmo corpo perturbador.

Corpos verticais ou esféricos fornecem somente mínimos na superfície. Daí espera-se que, quando a superfície do terreno for plana, a parte superior daqueles corpos situe-se sob o mínimo.

3.3.3.1. Perfis de 2 a 5

A partir dos resultados dos perfis de 2 a 5, levados ao nível zero comum, elaborou-se um mapa de linhas equipotenciais, fig. 3.3 - 6, no qual ressalta a predominância de uma grande anomalia que se alarga de N para S. Na região fora da linha de - 100 mV (isto é, potenciais maiores que - 100 mV) não se deve esperar mineralizações rasas em volume economicamente interessante.

O centro da anomalia até então abrangida pela medição, apresenta - 545 mV e acha-se junto ao piquete 3/4 (isto é, perfil 3, piquete 4). O corpo correspondente tem, provavelmente, direção NNE/SSW, e sua parte superior sob os piquetes 4/10, 3/4 e 2/5. O acunhamento da anomalia para N, perto do perfil 4, indica que a profundidade de face inferior do dique é menor neste ponto do que no S.

O alargamento da anomalia ao S do perfil 2 pode ter duas causas:

- 1) Na vizinhança da extremidade S do perfil 5 e no piquete 2/0 encontram-se as partes superiores de mais dois corpos, ambos os



quais talvez continuem para S (?)

- 2) O corpo perturbador seja quase paralelo à superfície do terreno entre os piquetes 2/5 e 2/0, mergulhando a E do piquete 2/0.

Como não se fizeram cálculos de modelos, ambas possibilidades servem mais como indicações do que interpretação propriamente dita.

No mapa equipotencial da fig. 3.3 - 6 verifica-se que as linhas se juntam mais a W do que a E do centro da anomalia, do que se infere que o corpo perturbador mergulha para E ou ESE.

Além do mínimo da anomalia principal no piquete 10, o perfil 4 mostra outro mínimo no piquete 16 (- 195 mV). A linha de ... - 100 mV que circunda este mínimo indica que o mesmo pertence a uma anomalia cujo centro está possivelmente ao N. Não obstante, o traço do dessa linha de - 100 mV é incerto, porque há poucos pontos de controle perto do perfil 4.

Uma interpretação mais detalhada da distribuição do potencial, que a figura 3.3 - 6 mostra só aproximadamente, não é razoável pelo que se segue:

- a) A distância entre os perfis 3 e 4 é muito grande;
- b) A extensão dos máximos na margem E da região é desconhecida, pois o prolongamento dos perfis para E não foi suficiente. A continuação da anomalia para S também não se conhece.

Para o levantamento sistemático de uma região onde se veja nela empregar o método do SP, recomenda-se uma distância de 50 até 100 m entre os perfis.

As figuras 3.3 - 1 a 3.3 - 5 mostram que não há perfeita correlação entre as localizações dos mínimos e dos afloramentos da formação ferrífera. Várias são as possíveis causas para explicá-lo:

Evidentemente nem todas ocorrências da formação ferrífera contêm minerais sulfetados ou então os sulfetos foram oxidados próximo à superfície, resultando produtos não condutores.

Com grande probabilidade de acerto, pode-se afirmar que grandes anomalias de SP como as encontradas, não podem ser causadas por pequenas ocorrências de minério, as quais se comprovam, entretanto, pelo método Slingram. Para causar uma grande anomalia exige-se um condutor contínuo que atinja uma profundidade de algumas centenas de metros, podendo ser constituído também por grafita. A comparação de medidas de resistividade em amostras de grafita e minério indicou que a condutibilidade da grafita é substancialmente menor que a do minério. Com base nisto, as anomalias são atribuídas mais ao minério que a grafita.

3.3.3.2. Perfil 1

Este perfil não foi amarrado ao nível zero comum aos perfis de 2 a 5 porque está muito longe. Conforme a figura 3.3 - 5 o perfil 1 mostra uma anomalia muito intensa (~ 800 mV), o que leva a concluir:

- 1) A parte superior do corpo perturbador deverá estar mais rasa sob o piquete 12.
- 2) O corpo mergulha para E.
- 3) O corpo tem uma grande extensão - maior que 500 m.

Através de um levantamento bidimensional desta anomalia, abrangendo também o máximo, provavelmente situado a E, pode-se obter dados quantitativos mais precisos.



3.3.4. Interpretação quantitativa

A anomalia principal da fig. 3.3 - 6 é alongada segundo N-S. Por isso, o respectivo corpo perturbador foi admitido como bidimensional. Para a interpretação, é necessário que os valores de potencial medidos no perfil, passem pelo centro da anomalia e cortem, tanto quanto possível, ortogonalmente as linhas de equipotencial. Tais condições são satisfeitas pelo perfil 3. Infelizmente, contudo, o máximo de E não foi completamente levantado, tendo sido determinado por meio de extrapolação. Em vista disso, pode haver algum erro nos resultados.

A base para a avaliação quantitativa do potencial espontâneo de uma placa delgada, de comprimento L, é a fórmula seguinte:

$$V = E_0 (L + d) \operatorname{sen} \varphi e^{-\mu} \left(\cos \nu - \frac{d}{L} \operatorname{cotg} \varphi \operatorname{sen} \nu \right), \text{ onde}$$

E_0 = campo elétrico primário vertical em subsolo;

L = comprimento da placa;

d = espessura da placa;

φ = menor ângulo entre a placa e a superfície do terreno;

μ, ν = coordenadas elípticas com origem no ponto médio da placa.

Elaborou-se um diagrama do fator geométrico

$$f = e^{-\mu} \left(\cos \nu - \frac{d}{L} \operatorname{cotg} \varphi \operatorname{sen} \nu \right)$$

com o qual se calcula, relativamente rápido, a distribuição de potencial ao longo de um perfil arbitrário plano. Como primeira aproximação, pode-se utilizar este diagrama também para superfície do solo não plana.

O resultado da avaliação do perfil está na parte inferior da figura 3.3 - 2. A parte superior do corpo perturbador está mais ou menos a 8m sob o piquete 4. Segundo o cálculo, o corpo mergulha 43° ESE, tem 400m de comprimento (L) e espessura (d) $20 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$.

Nota-se de imediato que o corpo calculado não coincide com o da mina Esperança IV. Este deveria ter um mínimo de SP junto aos piquetes 6 e 7, o que não foi observado. Possivelmente a jazida Esperança IV é pequena e rasa demais para produzir uma anomalia intensa. Por outro lado, se se colocar a parte superior do corpo calculado mais profundamente, por exemplo, coincidente com a formação ferrífera, a curva resultante se alarga e não corresponde mais aos valores medidos. Destarte, é provável que a anomalia encontrada se refira a um corpo ainda desconhecido, sobreposto a Esperança IV, como mostra a figura 3.3 - 2. A linha tracejada indica uma possível variante da forma deste corpo. Para tal forma não existe, até agora, qualquer cálculo de modelo.

Participantes: - operações de campo: K. P. Sengpiel e A. B. Vieira
- redação: K. P. Sengpiel e A. B. Vieira



BIBLIOGRAFIA

Sato, M. e Mooney, H. M. (1960) - The electrochemical mechanism of sulfide self potentials, Geophysics, V. XXV, nº 1.

Sengpiel, K. P. (1973) - Eigenpotential - Anomalien einer dünnen Leitenden Platte
Inédito.

3.4. SLINGRAM

3.4.1. Introdução

Em setembro de 1972, um equipamento de Slingram da firma Geonics (modelo EM-17) foi também empregado durante a pesquisa geofísica experimental executada pelo CGBA na área do Morro da Glória, município de Nova Lima, MG. Foram levantados os perfis 1, 2, 3, 4, 5, cuja localização é apresentada no anexo 1.2.

3.4.2. Princípio do método

A aplicação de um campo eletromagnético na superfície do terreno produz correntes que se propagam no subsolo de acordo com as leis da indução eletromagnética. Estas correntes dão origem a um campo eletromagnético secundário que distorce o campo primário detectado em qualquer ponto da superfície. O campo resultante pode diferir do primário em intensidade, fase e direção, revelando a presença de condutores no subsolo.

Diversas técnicas são utilizadas para estudar o comportamento do subsolo com base nestes princípios.

O método de Slingram constitui uma das mais populares, devido à sua rapidez, facilidade de execução e baixo custo. Duas bobinas, mantendo uma separação constante, são deslocadas ao longo de perfis. Uma das bobinas emite um sinal eletromagnético de determinada frequência. A outra bobina detecta o sinal resultante e, através de uma comparação com o sinal primário, mede as componentes em fase (componente real) e fora de fase (componente imaginária) do campo secundário. Um cabo transmite diretamente da bobina transmissora para a receptora o sinal primário, que é compensado e utiliza

do como referência para a decomposição do sinal propagado através do subsolo. Os valores medidos são atribuídos ao ponto médio entre as bobinas e estudados geralmente sob a forma de curvas.

A interpretação dos resultados de Slingram é efetuada normalmente através de uma comparação das curvas medidas com curvas teóricas obtidas sobre modelos de laboratório. Uma análise teórica revela que sobre corpos condutores em geral obtemos anomalias negativas; a razão entre o maior valor da componente real e da componente imaginária dá uma idéia da condutibilidade do corpo - bons condutores apresentam razão superior a um, maus condutores menor que um.

3.4.3. Execução do levantamento

No equipamento Geonics, as componentes do campo secundário são medidas diretamente no receptor através de uma comparação automática com o campo primário e fornecidas sob forma porcentual. O transmissor emite um sinal de 1.600 hz e está capacitado a operar com afastamento entre as bobinas de 100, 200, 300 e 400 pés.

As estações de medida nos perfis levantados estão afastadas de 10m. Nas zonas de anomalias mais fortes, diminuiu-se o espaçamento para 5m, para obter a forma mais precisa das anomalias. No total, mediram-se cerca de 600 pontos, empregando uma separação das bobinas de 200 pés.

Com exceção do perfil nº 5, todos os outros foram estabelecidos de modo que estivessem normais à direção dos afloramentos das camadas.

3.4.4. Resultados

As curvas de Slingram obtidas sobre os perfis geológicos estão repre

sentadas nas figuras 3.4 - 3 a 3.4 - 7.

Nos perfis paralelos 2,3 e 4 os valores da componente imaginária de de crescem de E para W, correspondendo provavelmente a um aumento do parâmetro de indução W.

$$W = \sigma \cdot \mu \cdot \omega \cdot a \cdot d .$$

σ = condutividade

μ = permeabilidade magnética

ω = frequência angular

a = separação das bobinas

d = espessura do corpo

É muito difícil uma interpretação quantitativa dos resultados, por que há, por vezes, uma superposição de anomalias causadas por xistos e pela formação ferrífera - produzem-se anomalias complexas, que não podem ser interpretadas com os modelos bidimensionais simples comumente disponíveis. Duas tentativas, no entanto, são representadas pelas figuras 3.4 - 1 e 3.4 - 2.

3.4.4.1. Perfil nº 1 (fig. 3.4 - 3)

Devido ao relevo acidentado, não se mediu o trecho entre os pontos 13 e 17, local onde a geologia mapeia afloramento da formação ferrífera.

Entre os pontos 17 e 22 observa-se uma forte anomalia na componente real, sobre o provável contato entre rochas básicas e xistos.

A formação ferrífera que possivelmente ocorre entre os pontos 7 e 8, no entanto, não apresentou anomalia perceptível de Slingram. Neste local, o levantamento do Potencial Espontâneo registra uma anomalia positiva em relação às regiões vizinhas, dentro de um grande mínimo.

3.4.4.2 Perfil nº 2 (fig.3.4 - 4)

Este perfil apresenta um comportamento perturbado na componente real, entre os pontos 1 e 15. A parte positiva da componente imaginária, assim como a forma sinusoidal da anomalia na componente real até o ponto 11 indica um condutor horizontal profundo ou uma camada rasa com alta condutividade.

A interpretação da anomalia na componente real entre os pontos 7 e 11 resulta em um corpo laminar, com o topo a uma profundidade de cerca de 20m e mergulho de 75° para E (fig. 3.4 - 1). Parâmetro de indução obtido $W = 12,3$. Esta anomalia certamente é provocada pela formação ferrífera aí mapeada.

3.4.4.3. Perfil nº 3 (fig. 3.4 - 5)

Também neste perfil a componente real está mais perturbada que a componente imaginária.

A forte anomalia em torno do ponto 6 deve ser causada pela formação ferrífera. Esta anomalia mostrou semelhança com o modelo de uma placa delgada sob uma cobertura horizontal, com mergulho de 60° para E. O topo da placa fica a uma profundidade de aproximadamente 20m. Como parâmetro de indução obteve-se $W = 19,2$ (fig. 3.4 - 2).

Em torno do ponto 18 observa-se outra anomalia na componente real. Sua forma indica um dique transversal com material condutor ou sobreposição de diversos corpos.

3.4.4.4. Perfil nº 4 (fig. 3.4 - 6)

Como os anteriores, este perfil mostra que a componente real é bem mais perturbada que a componente imaginária. Sobressaem duas anomalias, em torno dos pontos 3 e 14.

A anomalia nas proximidades do ponto 3 é muito difícil de ser interpretada - ela não foi inteiramente delineada em sua parte leste. Podemos supor, contudo, com base em sua forma, que é provocada por um corpo que mergulha para E e tem a forma de uma placa delgada. O topo desta placa deve estar à mesma profundidade das outras anomalias, a cerca de 20m. Nesta região está mapeada uma falha geológica.

A interpretação da curva em torno do ponto 14 como anomalia isolada não foi possível. Uma comparação com curvas-modelo, suavizando a curva obtida, dá-nos a impressão de que a anomalia seria causada por uma camada semi-horizantal. Esta representação concorda com o perfil geológico: a formação ferrífera começa mais ou menos no mínimo da anomalia e estende-se para leste.

3.4.4.5. Perfil nº 5 (fig. 3.4 - 7)

O perfil mostra um quadro extremamente perturbado na compomente real. Aparecem fortes anomalias nos pontos 2, 12 e 21. Sua interpretação quantitativa é difícil, porque este perfil não é normal à direção das camadas geológicas. As anomalias apresentam-se com formas complexas e não são adequadas para interpretação com os modelos disponíveis.

Pode-se apenas assinalar que nas zonas de anomalias devem prevalecer condições geológicas específicas, isto é, as anomalias são indícios de falhas, de camadas condutoras ou de contatos entre

rochas de diferentes propriedades elétricas. A anomalia do ponto 21, por exemplo, se manifesta sobre a provável zona de contato entre rochas básicas e xistos.

3.4.5. Conclusões

A pesquisa mostra que a maioria dos afloramentos da formação ferrífera apresenta anomalias de Slingram. Além disso, com as medidas pode-se obter indicações sobre zonas de falhas ou de contato entre formações.

O baixo custo, assim como a rapidez deste método, torna-o bastante apropriado para obter informações a curto prazo sobre a distribuição da formação ferrífera.

Após levantamento detalhado da área talvez seja possível a confecção de mapas com os quais se obtenham informações sobre a atitude da formação ferrífera. Neste caso será possível uma interpretação mais precisa dos dados.

O acidentado relevo topográfico constitui por vezes uma dificuldade, devido à sua influência sobre as medidas com este método.

Participantes:

- operações de campo: H. Geipel e G. A. D. Aguiar
- redação: G. Brass e K. Jinno

BIBLIOGRAFIA

Frischknecht, F. C. e Mangan, G. B. (1960) - Preliminary report on electromagnetic model studies, USGS, Open File Report.

Geonics Ltd, (1970) - EM 17 Electromagnetic survey Unit for horizontal and coaxial loop Operation, Operating Instructions.

Keller, G. V. e Frischknecht, F. C. (1966) - Electrical Methods in Geophysical prospecting, New York, Pergamon Press.

Ketola, M. e Puranem, M. (1967) - Type curves for the interpretation of Slingram (horizontal loop) anomalies over tabular bodies, Geologinem Tutkimuslaitor, Report of Investigation nº 1, Finland.

Ketola, M. (1968) - The interpretation of Slingram (horizontal loop) anomalies' by small-scale model measurements, Geologinem Tutkimuslaitor, Report of Investigation nº 2, Finland.

Parasnis, D. S. (1966) - Mining Geophysics, New York, Elsevier Publishing Company.

3.5. TURAM

3.5.1. Princípio de funcionamento

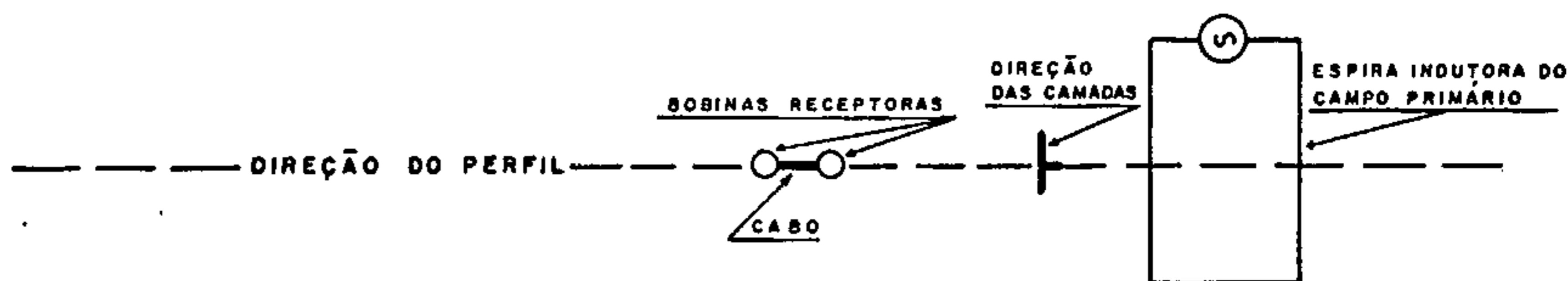
O Turam é um método elétrico indutivo, cujo princípio físico passamos a resumir em seguida.

A passagem de uma corrente elétrica alternada por um condutor produz, no entorno deste, um campo magnético também alternado.

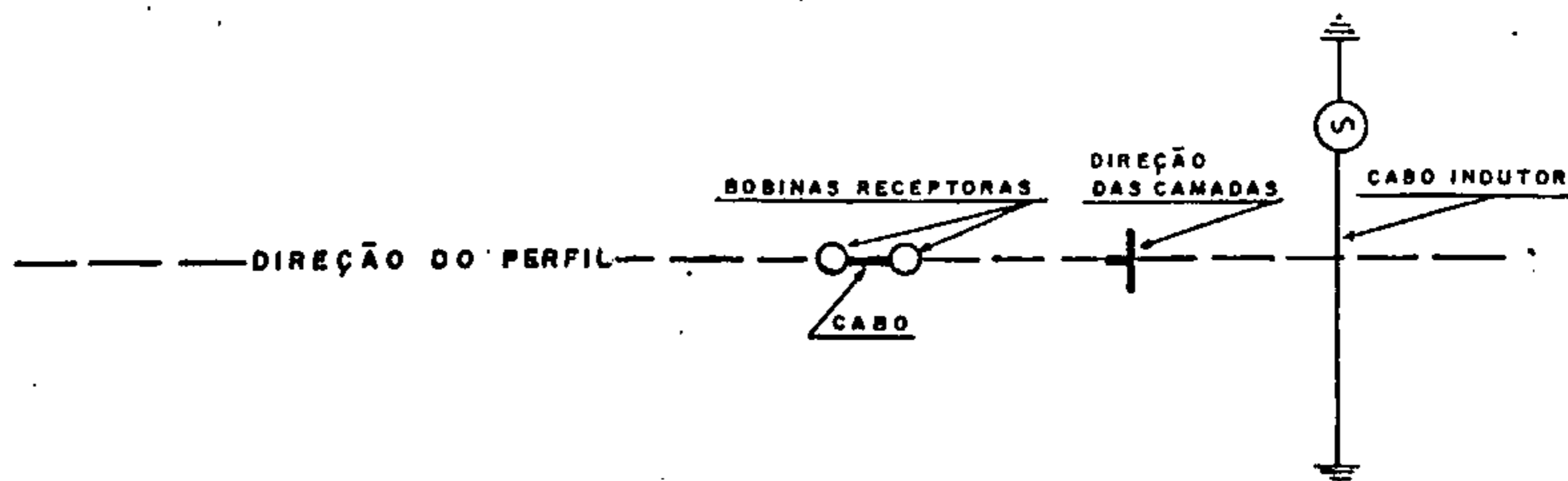
A corrente é produzida por um alternador, na faixa de frequência entre 100 e 700 Hz.

Quanto ao condutor, pode ser de dois tipos:

- Espira, geralmente retangular, disposta sobre o solo com sua maior dimensão paralela à direção das formações geológicas.



- Cabo aterrado em ambas extremidades (acoplamento galvânico) disposto ao longo da direção das camadas.



Esse campo primário vai induzir uma força eletromotriz em duas bobinas receptoras, que são interconectadas por um cabo de 20 a 40 m. A bobina mais afastada do condutor é ligada a um compensador, onde se lê

$$R_f = V_1/V_2 \quad - \quad \text{relação entre as f.e.m das bobinas}$$

$$P = \alpha_1 - \alpha_2 \quad - \quad \text{diferença de fase entre as bobinas}$$

Chamando R_n a relação V_1/V_2 teórica (simplesmente dada pela relação r_2/r_1 entre as distâncias das bobinas ao condutor) costuma-se normalizar R_f em relação a esse valor teórico:

$$R_d = \frac{R_f}{R_n} \quad - \quad \text{relação normalizada das amplitudes.}$$

Dessa maneira, em terreno eletricamente homogêneo, ter-se-á

$$R_d = 1$$

$$P = 0$$

Um condutor imerso nesse campo magnético gerará correntes parasitas (Foucault) que criam, por sua vez, um campo magnético próprio. Este campo magnético secundário induzirá nas bobinas receptoras uma f.e.m anômala, que é somada àquela oriunda do campo primário. Para as baixas frequências utilizadas, os campos primário e secundário, vale dizer as f.e.m, são defasadas de praticamente 90° .

$$\text{Neste caso: } R_d \neq 1$$

$$P \neq 0$$

Comparando as anomalias obtidas com modelos previamente calculados, é possível deduzir a forma e profundidade da zona de condutibilidade anômala.



3.5.2. Operações

Em 3 dias (21, 25 e 26.09.72) foram medidos 200 pontos ao longo de 3 perfis, o que dá, em média 66,6 pontos/dia.

Foi medida a componente vertical do campo magnético com instrumental Turam TS, ABEM, nas frequências de 220 e 660 Hz. A separação entre as bobinas receptoras foi 20 m e o espaçamento entre as medidas 10 m.

O campo primário foi, quase sempre, induzido através espira retangular de lados 300 e 700 m. Os perfis assim levantados têm de ser interrompidos quando as bobinas receptoras estão à cerca de 50m dos lados da espira, para evitar o acoplamento indutivo entre a espira e os receptores. Aqueles trechos foram, então, medidos pelo processo galvânico, graças à proximidade de córregos, o que diminuiu a resistência de contato solo-eletrodo. Fora daqueles locais úmidos, as resistências de contato eram elevadas, tornando a intensidade de corrente no cabo insuficiente para medições.

A disposição dos perfis, bem como a posição da espira e do cabo são ilustrados na fig. 3.5 - 1.

3.5.3. Interpretação

Os valores obtidos com frequência 660 Hz foram mais erráticos que os de 220 Hz. Por isto, doravante, serão considerados somente estes últimos.

As relações de amplitudes normalizadas, R_d , bem como as diferenças de fase P , são representadas na fig. 3,5 - 2. A curva de defasagens é traçada.

A região sombreada na fig. 3.5 - 2, que abrange os perfis 2 a 4, representa a formação ferrífera, conforme o mapa geológico.

Entre os piquetes 5 e 15, os perfis 2 e 3 apresentam anomalias correlacionáveis entre si, e que correspondem, aproximadamente aos afloramentos da formação ferrífera. Já as anomalias de 3/A e 3/25 carecem de apoio geológico. As anomalias do perfil 4, malgrado sua semelhança com as dos perfis 2 e 3 acima descritas, não devem ser correlacionáveis àquelas, em vista da grande distância.

Com respeito a amplitude e fase, as anomalias dos piquetes: 3/8 e 3/9, 2/7 - 2/9 e 2/10 pertencem todas ao mesmo grupo. Sua forma comum indica corpos com fortes mergulhos. Por outro lado, as anomalias em 2/9 e 2/12 exibem diferente padrão de amplitude e fase, sugerindo corpos mergulhando para E. Estes dados foram obtidos através comparação com curvas-modelo de Bosschart.

Uma interpretação quantitativa é inviável, posto que não existem medições bidimensionais mas só perfis isolados, além de as anomalias individuais se sobreporem frequentemente. Isto considerado, aquelas direções de mergulho acima referidas devem ser aceitas meramente como primeiras aproximações.

3.5.4. Considerações finais

A correlação entre anomalias próximas, perfis 2 e 3, é difícil; impossível será correlacioná-las àquelas mais distantes, perfil 4. São apresentadas inúmeras anomalias cuja causa geológica ainda se desconhece. Esse problema talvez só venha a ser resolvido com perfurações e/ou trincheiras.

Os resultados mostram que, com o atual espaçamento entre os perfis não é possível identificar a formação ferrífera por meio deste método geofísico. Por outro lado, a alta técnica e aparatosa operação do Turam não se

indicam para reconhecimentos ligeiros em tal ambiente geológico.

Determinações quantitativas rigorosas exigirão levantamento detalhado, com perfis mais juntos e diferentes espaçamentos entre as bobinas receptoras.

Participantes:

- operações de campo: G. Brass, H. Henning e G. S. de Oliveira
- computação: G. S. de Oliveira
- redação: G. Brass, H. J. Ulrich e A. B. Vieira

BIBLIOGRAFIA

ABEM Instrument Group, Turam TS, Instruction Manual, Stockholm.

Bosschart, R.A., (1964) - Analytical interpretation of fixed source electromagnetic prospecting data, Ph. D Thesis, University of Delft, Netherlands.

Keller, G. V. e Frischknecht, F. C. (1970) - Electrical Methods in Geophysical Prospecting, Pergamon Press, Oxford.

Parasnis, D. S. (1972) - Principles of Applied Geophysics, Chapman and Hall Ltd, London.

3.6. POLARIZAÇÃO INDUZIDA (I.P.)

3.6.1. Introdução

Dentre as pesquisas geofísicas programadas pelo Convênio Geofísica Brasil/Alemanha em Minas Gerais, foram executados, durante o período de 29/09/72 a 05/10/72, levantamentos de Polarização Induzida na área de Morro da Glória, em Nova Lima. Empregou-se um equipamento da firma McPhar Geophysics Ltd (modelo P660) sobre dois perfis geológicos parcialmente conhecidos, que estão assinalados no anexo 1.2 com os números 2 e 3.

3.6.2. Princípio do método

Durante a aplicação de um campo elétrico na superfície do terreno observam-se dois fenômenos interessantes:

- A diferença de potencial que se estabelece entre dois eletrodos imersos neste campo não atinge seu valor máximo logo após a criação do campo elétrico; ela aumenta progressivamente até se estabilizar;
- Por outro lado, a voltagem estabelecida não cai imediatamente a zero, após a interrupção da corrente, mas apresenta um decréscimo gradual perceptível.

Estes dois fatos estão diretamente relacionados ao efeito de polarização induzida. Literalmente, polarização induzida consiste numa separação de cargas para formar uma distribuição dipolar, provocada por um campo elétrico. Simplificadamente, o efeito de polarização induzida resulta de um acúmulo de cargas na interface entre materiais de diferente tipo de condução elétrica. Tanto o acúmulo de cargas como a descarga não se realizam instantaneamente, sendo função dos materiais envolvidos no processo.

Materiais condutores, como sulfetos em geral, grafita e alguns óxidos, principalmente quando disseminados, podem apresentar alto grau de efeito de polarização. Também argilas podem comportar-se de maneira semelhante.

Para detecção de materiais condutores no subsolo, o método de Polarização Induzida utiliza duas técnicas, dependendo do fenômeno observado.

A técnica do domínio de frequência se baseia no fato de que, sendo necessário um determinado tempo para se estabelecer uma voltagem entre os eletrodos, a resistividade dos materiais do subsolo varia com a frequência da corrente aplicada. Geralmente, ela é inversamente proporcional, ou seja, os efeitos de polarização serão maiores para frequências mais baixas. Determinam-se as resistividades para duas frequências diferentes, compreendidas geralmente entre 0,1 e 10 Hz. O efeito de frequência, F.E. definido como a diferença percentual entre as resistividades em relação à resistividade para a frequência mais alta, é adotado como um indicador do efeito I.P.

$$F.E. = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \times 100$$

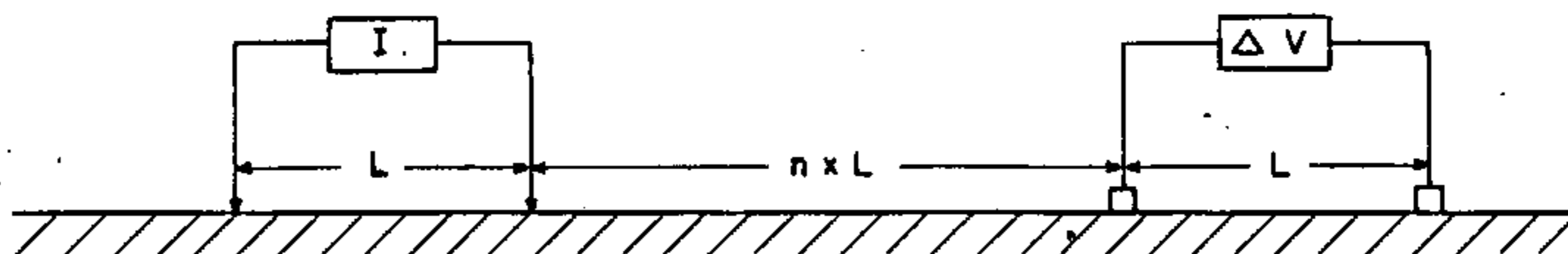
Um outro parâmetro, denominado de fator de condutibilidade de metal, M.C.F., é determinado pela relação entre o efeito de frequência e a resistividade.

$$M.C.F. = \frac{F.E.}{\rho_1} \times 10^3$$

A técnica do domínio de tempo se baseia no outro fenômeno - aplica-se uma corrente contínua ao solo e observa-se o comportamento da voltagem residual, após interrupção do campo elétrico. Não entraremos em detalhe sobre esta técnica; o equipamento empregado pelo CGBA opera no domínio da frequência.

3.6.3. Operações

Empregou-se o arranjo dipolo-dipolo, colinear à direção do perfil. Através de um dipolo (transmissor) injeta-se corrente ao solo; no outro dipolo (receptor), com o equipamento McPhar, mede-se a diferença de potencial para a frequência mais alta, enquanto o valor de F.E. é fornecido diretamente no aparelho. Como eletrodos de corrente (dipolo transmissor) utilizaram-se placas de cobre; eletrodos não polarizáveis (potes de cerâmica), constituiram o dipolo receptor.



Para distância básica entre os eletrodos adotou-se $L = 20m$. O afastamento entre os dipolos (distância entre os eletrodos internos do arranjo) é função da profundidade de pesquisa; seu valor foi sempre tomado de valores inteiros de L ($n \times L$). Para este levantamento, n foi utilizado dentro da total capacidade do equipamento, variando de 1 a 7, ou seja, o afastamento entre os dipolos foi de 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140m. Frequências utilizadas - $f_1 = 0,3 \text{ hz}$; $f_2 = 2,5 \text{ hz}$.

O cálculo da resistividade é efetuado através da fórmula:

$$\rho = m \cdot L \cdot G \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

G = fator geométrico = $n(n+1)(n+2)$

ΔV = diferença de potencial

I = intensidade de corrente

L = distância básica entre eletrodos

Mediram-se cerca de 60 pontos no perfil nº 2 e cerca de 100 no perfil nº 3, correspondendo a 0,74 km na superfície do terreno.

3.6.4. Resultados

Os resultados das medidas e dos cálculos são apresentados, como de costume, sob forma de perfis. Para cada afastamento dos dipolos, os valores são atribuídos ao ponto de cruzamento das linhas de 45° que partem do centro de cada dipolo. Obtém-se "mapas verticais" que representam, de maneira esquemática, a distribuição das grandezas tanto em profundidade como lateralmente.

Na parte superior, temos a resistividade aparente, o efeito de frequência está representado na parte média, e na parte inferior temos o fator de metal. Pouco mais abaixo apresentamos o perfil geológico. A formação ferrífera está hachurada.

3.6.4.1. Perfil nº 2 (fig. 3.6 - 1)

Observa-se que a distribuição de resistividades mostra valores relativamente baixos entre os pontos 10 e 12. Esta zona apresenta forte mergulho e está limitado pela linha de 50 ohm-m.

Na representação do Efeito de Frequência, sobressai uma zona de valores negativos, correspondente à de baixos valores de resistividade.

Os valores de M.C.F., em direta dependência dos valores de F.E., se dividem em duas zonas de altos valores, limitadas pela linha de 40 mho/m. Estas zonas ficam sob os pontos 6 e 8 (anomalia 1) e 10 e 12 (anomalia 2). A anomalia 1 corresponde ao afloramento da formação ferrífera, enquanto a anomalia 2 está sobre uma zona mapeada

da como xisto. A anomalia obtida nesta área com o Turam, no entanto, conduz-nos à hipótese da existência de material bem condutor no sub solo, possivelmente grafita.

Para a zona negativa de F.E. não foram encontradas explicações satisfatórias.

3.6.4.2. Perfil nº 3 (fig. 3.6 - 2)

Em geral, observam-se valores mais altos de resistividade que no perfil nº 2. Uma zona com valores relativamente baixos aparece entre os pontos 4 e 11.

Os valores de F.E. têm a mesma ordem de grandeza que no per fil 2.

Devido aos altos valores de resistividade, os valores de M.C.F. apresentam-se em geral baixos. Não é difícil, contudo, notar uma anomalia na distribuição de condutibilidade, limitada pela iso linha de 40 mho/m. Esta anomalia fica entre os pontos 4 e 11 que, no perfil geológico, abrange os afloramentos conhecidos da formação fer rífera.

3.6.5. Conclusões

Os resultados mostram que as zonas onde se mapeia a formação fer rífera são também indicadas pelo levantamento de I.P. Não se pode obter uma resolução melhor das anomalias causadas pela formação ferrífera, devido à ocorrência, na mesma área, de xistos grafitosos - uma distinção entre gra fita e corpos de sulfetos não é possível através de métodos elétricos.

A sofisticação do equipamento, assim como a morosidade de execução

dos levantamentos, torna o I.P. um método muito caro. Ele só deve ser empregado em uma fase bastante adiantada de uma pesquisa, para delimitar melhor a zona de ocorrência de corpos minerais detectados através de outros métodos.

Participantes: - operações de campo: G. Brass, H. J. Rehli, H. J. Ulrich, H. Henning, G. S. de Oliveira, J. Paulino
- redação: G. Brass e K. Jinno

BIBLIOGRAFIA

McPhar Geophysics Ltd - Induced Polarization System, model P 660, Instruction Manual, Canada.

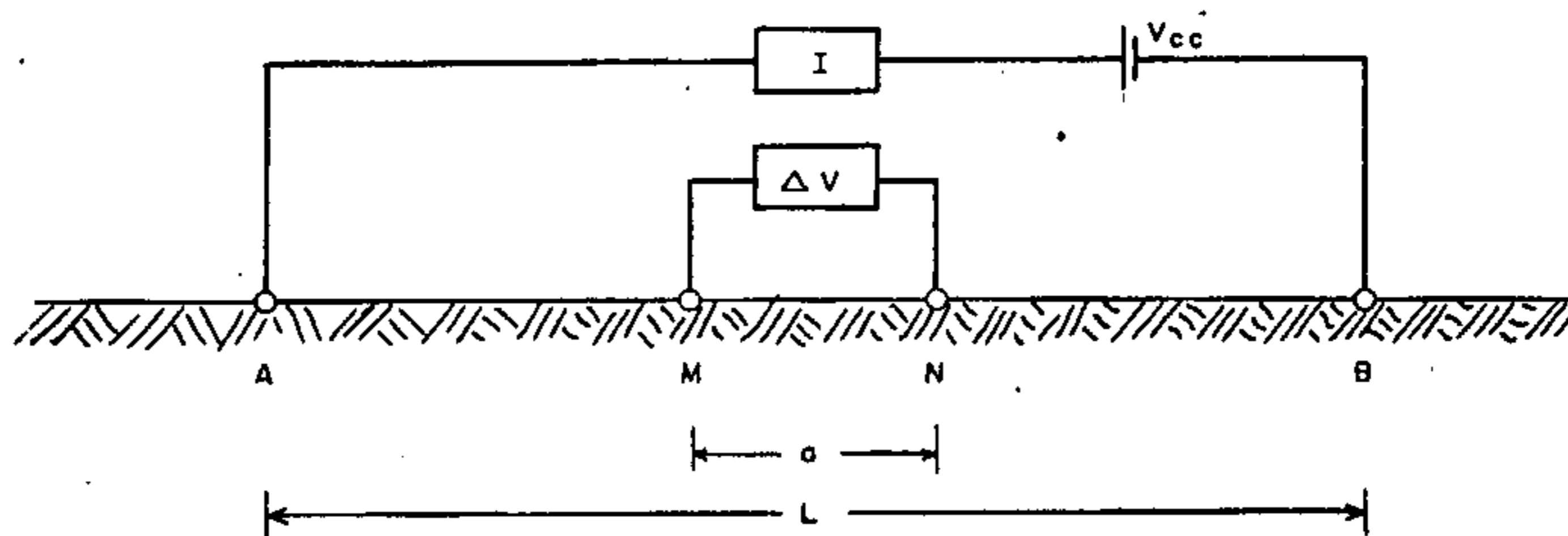
Morley, L. W. - Editor (1969) - Mining and Groundwater Geophysics/1967 - Geological Survey of Canada, Economic Geology Report nº 26, Canada.

Parasnis, D. S. (1972) - Principles of Applied Geophysics, Chapman and Hall Ltd, London.

3.7. ELETRORESISTIVIDADE

3.7.1. Princípio de funcionamento

O processo de sondagem elétrica consiste em injetar uma corrente contínua (ou alternada de apenas alguns Hz) no solo, através dois eletrodos A e B. A passagem dessa corrente cria um potencial, cuja distribuição é função da resistividade do sub-solo. Segundo o esquema de Schlumberger, mede-se o potencial no ponto médio de \overline{AB} , utilizando-se dois eletrodos M e N, próximos e equidistantes daquele ponto médio e alinhados com \overline{AB} .



Os eletrodos A, M, N, B devem, tanto quanto possível, estar alinhados com a direção das camadas.

A resistividade de um sub-solo eletricamente homogêneo é dada pela relação:

$$\rho = F \cdot \frac{V}{I}$$

onde: I = intensidade de corrente entre A e B

V = diferença de potencial entre M e N

F é um fator geométrico que depende das distâncias a e L e que, para o arranjo Schlumberger vale:

$$F = \frac{\pi}{4} \left(\frac{L^2 - a^2}{a} \right)$$

Esse fator é tabelado para distâncias a e L padronizadas, de modo que, injetando uma corrente I numericamente igual a F , o valor de Q é lido diretamente no voltímetro.

Evidentemente o modelo de um subsolo eletricamente homogêneo não satisfaz às condições vigentes em a natureza. Daí a necessidade de se criar modelos mais consoantes com a geologia, que fossem, ao mesmo tempo, passíveis de soluções elétricas simples. Como termo de compromisso imaginou-se um subsolo estratificado horizontalmente, sendo cada camada eletricamente homogênea.

Ora, um solo eletricamente estratificado acarretará refrações nas linhas de força, distorcendo o potencial. Este fato pode ser verificado na superfície, simplesmente variando o espaçamento L entre os eletrodos, e medindo as diferenças de potencial correspondentes. Assim, pequenos espaçamentos L permitem determinar a condutividade das camadas mais rasas. Inversamente, aumentando L , as medidas passam a ser, cada vez mais, influenciadas pelas propriedades elétricas das camadas mais profundas.

Os valores são calculados com a mesma relação antes citada, e, evidentemente, não correspondem mais às resistividades verdadeiras das rochas. Tais valores, denominados resistividades aparentes, são funções das resistividades reais, conforme suas respectivas espessuras.

Cada Q_g medido, de acordo com seu correspondente $L/2$ é lançado em gráfico com escala bilogarítmica. O emprego de coordenadas logarítmicas preserva a forma da curva medida, o que permite compará-la com gráficos calculados a partir de relações de resistividades estabelecidas. Por meio de translações da curva medida em relação a tais gráficos-padrão delimita-se, em casos favoráveis, as camadas do subsolo, com suas resistividades verdadeiras.

Para interpretação dos resultados o CGBA dispõe de gráficos-padrão, calculados para 3 camadas horizontais. Estes gráficos foram elaborados no BfB e são assim distribuídos:

- 1 família de curvas para 2 camadas;
- 1 família de curvas para canal enterrado;
- 2 famílias de curvas auxiliares para 3 camadas, tipo mínimo (H e Q);
- 2 famílias de curvas auxiliares para 3 camadas, tipo máximo (K e A);
- 132 famílias de curvas para 3 camadas, tipo mínimo;
- 134 famílias de curvas para 3 camadas, tipo máximo.

O instrumento de medida, desenvolvido pelo BfB, consiste, em princípio, num amplificador de tensão altamente sensível, que permite medir c.c. com tensões de até 10^{-6} V. Duas baterias de caminhão ligadas em série, servem como fonte de energia de baixa voltagem (24V) e alta amperagem (~100 A). Essa c.c. é transformada em c.a., amplificada e retificada até 600V e 3A c.c., após o que irá alimentar o circuito de corrente AVccB. Todo esse equipamento é instalado numa Rural-Ford com tração nas quatro rodas.

3.7.2. Operações

Entre 10 e 13.10.72, foram conduzidas 34 sondagens geolétricas, distribuídas entre os perfis 2, 3 e 4 (média de 8,5 sondagens/dia).

Foi empregado arranjo Schlumberger, com distância de 20m entre cada sondagem. Devido à inclinação das pendentes e a superfície do terreno ser cortada por valados, a maior distância L/2 foi de 100 m.

3.7.3. Interpretação

Os resultados das medições são apresentados em forma de cortes nas figuras 3.7 - 1 a 3.7 - 3. Os pontos de sondagem são identificados por setas encimadas pelo respectivo número de ordem, abaixo das quais seguem-se os limites das camadas, entre os quais são inscritas as resistividades verdadeiras em Ohm.m.

Os resultados são apresentados com um maior grau de incerteza do que o normal. Isto porque não se dispõe de perfurações para comparar resultados. Além disso, as curvas se apresentam distorcidas, provavelmente devidas às infractuosidades do terreno e inomogeneidades do subsolo.

3.7.3.1. Perfil 2

Na região do perfil 2 (fig. 3.7 - 1) o subsolo sofre fortes mudanças de resistividade.

A encosta ocidental do Morro da Glória apresenta uma delgada cobertura, com valores entre 2000 e 16000 Ohm.m, sob a qual soto põe-se material com resistividade até 8000 Ohm.m. Intercaladas a esta, são encontradas camadas condutivas (cerca 100 Ohm.m) nos pontos 6, 7 e 8. Tais resistividades se repetem, também em espessuras maiores. Supõe-se que se trate de rochas da formação ferrífera, cujo limite inferior não pôde ser estabelecido pelas medições.

No pontos 9, 10, 11 e 12 aquele material condutivo chega perto da superfície. No mesmo local são mapeados afloramentos da formação ferrífera. Nos pontos 13 e 14 mediu-se resistividades semelhantes a cerca de 10m de profundidade, todavia, sem conotação geológica.

Nas vizinhanças do ponto 6, o mapa geológico indica novos

afloramentos da formação ferrífera. Aqui, a pesquisa geolétrica indica material com resistividade 300 Ohm.m a cerca de 2m de profundidade, que pode aflorar entre os pontos 6 e 7. Caso aqui também se trate da formação ferrífera, é notável o aumento relativo de resistividade. Tal aumento pode ser explicado pelo intemperismo, segundo o qual o material condutivo foi removido da associação mineralógica. É também possível que os sulfetos ocorram como minério disseminado.

As sondagens nos pontos 2 e 4 da encosta ocidental permitem reconhecer que, àquelas profundidades acima ditas, não existe camada condutiva ou, se existir, ela será tão delgada que não chegou a ser detectada pelas medidas.

3.7.3.2. Perfil 3

O levantamento do perfil 3 fornece uma estrutura tão complicada quanto a do perfil 2. A distribuição de resistividade muda muito rapidamente. Entre os pontos 1 e 8 encontra-se material condutivo raso, que chega quase à superfície entre os pontos 8 e 9, justamente onde aflora a formação ferrífera. Isto permite associar o material condutivo àquela formação.

O limite entre as rochas básicas e os xistos, cartografado no ponto 12, não se manifesta eletricamente.

3.7.3.3. Perfil 4

Aqui, na região entre os pontos 17 e 21, a estrutura do subsolo é substancialmente mais simples do que nos perfis vizinhos - (fig. 3.7 - 3).

Sob poucos metros de cobertura com resistividade entre ...

2600 e 5400 Ohm.m, jáz uma camada condutora de 100 a 170 Ohm.m, que se adelgaça para W. A camada inferior é constituída de material altamente resistivo (1000 Ohm.m e mais).

Comparando o material condutivo com o dos dois perfis paralelos, pode-se associá-lo com a formação ferrífera. Não há, contudo, dados geológicos a respeito.

3.7.4. Conclusões

As sondagens geolétricas permitem detectar materiais condutivos, provavelmente correspondentes à formação ferrífera. A conclusão das medidas é dificultada, às vezes, pelo relevo acidentado, mas, de maneira geral, pode-se dizer que o método geolétrico é apropriado para a localização das camadas.

Participantes: - operação de campo: H. Henning e H. J. Ulrich
- redação: H. J. Ulrich e A. B. Vieira

BIBLIOGRAFIA

Bentz, A. (1961) - Lehrbuch der Angewandten Geologie, Band I, Ferdinand Enke
Verlag Stuttgart.

Keller, G. V. e Frischknecht, F. C. (1970) - Electrical Methods in Geophysical
Prospecting, Pergamon Press, Oxford.

Parasnis, D. S. (1972) - Principles of Applied Geophysics, Chapman and Hall Ltd,
London.

3.8. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo, os resultados dos levantamentos geofísicos serão analisados conjuntamente.

Todos os métodos apresentaram anomalias destacadas, indicadoras de litologias diferentes ou de corpos cujas propriedades os diferenciam das rochas regionais, seja sobre os afloramentos da formação ferrífera, seja sobre contatos litológicos.

3.8.1. Perfis 2 e 3

Ambos perfis, aproximadamente paralelos e afastados cerca de 100 m, cortam perpendicularmente os afloramentos da formação ferrífera e foram investigados com os sete métodos disponíveis (magnetometria, cintilometria, SP, Slingram, Turam, IP e Eletroresistividade).

No perfil 2 (Fig. 3.8-1 e 3.8-2), a interpretação da anomalia magnética (2.2), entre os pontos 7 e 9 determinou um corpo em forma de placa delgada infinita (anexo 3.1-2), que mergulha suavemente para E. Seu topo fica nas proximidades do ponto 8. A anomalia de Slingram nesse mesmo ponto foi interpretada como sendo causada por placa delgada, com topo sob o ponto 8 e mergulho também para E (Fig. 3.4-1).

A grande anomalia de SP mostra, entre os pontos 5 e 9, uma anomalia local causada, provavelmente, pela formação ferrífera aí aflorante. Outras anomalias menores, dentro do amplo mínimo regional, devem ser causadas por mudanças litológica, anisotropias locais ou mesmo pela formação ferrífera.

O Turam fornece uma anomalia entre os pontos 7 e 14, que parece ser devida à sobreposição de 2 anomalias menores; modelos teóricos para anomalia similar são calculados para duas placas delgadas, com topos sob os pon

tos 9 e 12 e mergulho para E. As sondagens elétricas mostraram duas zonas de baixa resistividade (< 100 ohm.m - Fig. 3.8-2): uma sob o ponto 11 e outra sob o 9, ambas próximas à superfície e mergulhando para E. No levantamento de IP, em especial no gráfico de MCF, notam-se 2 zonas de alta "condutividade" (valores acima de 40 mho/m) sob os pontos 7 e 11.

Entre os pontos 0 e 1 registraram-se anomalias nos levantamentos magnético e de Turam, que podem ser atribuídas ao xisto grafitoso.

A anomalia magnética do ponto 4, confirmada pelo Slingram, fica sobre zona mapeada também como xisto grafitoso.

Finalmente, no ponto 15 são detetadas anomalias magnética e de Slingram sobre uma zona de filitos; sua interpretação requer melhor detalhamento geológico.

Interessante observar que os resultados radiométricos assinalam baixo nível de radiação na encosta ocidental do perfil, onde afloram 2 camadas da formação ferrífera.

No perfil 3 (Fig. 3.8-3 e 3.8-4), os métodos geofísicos também permitiram identificar a formação ferrífera.

A anomalia magnética (3.3) pode ser interpretada como uma placa' espessa que mergulha suavemente para E (anexo 3.1-3). No método de Slingram, a formação ferrífera é responsável por duas anomalias nos pontos 5 e 10, provocadas pela superposição dos efeitos de dois corpos; ambas anomalias parecem ser causadas por placas delgadas.

As medidas de SP mostram, dentro do amplo mínimo, uma anomalia local perto do ponto 5, que pode ser atribuída à formação ferrífera - é possível que a zona de oxidação nesta parte seja responsável pela presença do mínimo um pouco deslocado em relação ao afloramento.

A curva de Turam se mostra muito ruidosa no trecho entre os pontos 7 e 11, não exibindo anomalia nítida como no perfil 2.

As sondagens elétricas (anexo 3.8-4) acusam 2 zonas de baixa resistividade (< 100 ohm.m) que se unem em profundidade. A zona situada a W tem resistividade muito baixa e se aproxima da superfície no ponto 8; já a zona oriental fica sob 50m sob o ponto 3. Ambas faixas mergulham para E.

Os valores de "condutividade", obtidos através do IP, apresentam uma zona de altos valores (> 40 mho/m) entre os pontos 2 e 9.

Na faixa de ocorrência de seixos da formação ferrífera entre os pontos 12 e 16, e na região de contato entre os filitos e as rochas básicas, ponto 13, são observadas anomalias nas curvas de Turam e magnetometria. A sondagem elétrica no ponto 14 revela uma zona de baixa resistividade a uma profundidade de 15m.

As extensas anomalias próximas ao ponto 23, tanto na curva de magnetometria como de Turam, assim como as anomalias de Slingram no ponto 17 o correm sobre rochas básicas e carecem de conotação geológico-geofísica conhecida.

3.8.2. Perfil 4

Este perfil (Fig. 3.8-5) como os anteriores, corta perpendicularmente os afloramentos da formação ferrífera.

Esta formação é aqui detetada através do método Slingram (entre os pontos 10 e 16) e de uma anomalia relativa de SP dentro do grande mínimo regional (entre os pontos 12 e 13). Na curva de Turam aparece um trecho ligeiramente perturbado entre os pontos 11 e 15.

Na curva magnética aparece uma forte anomalia no ponto 18, com forma e amplitude semelhantes às observadas sobre a formação ferrífera; pelo mapa geológico, contudo, essa anomalia está próxima ao contato filito-rochas básicas. Entre os pontos 17 e 21 (Fig. 3.7-3) as sondagens elétricas

configuraram uma zona de baixa resistividade. O método radiométrico por sua vez, apresenta menor nível de radiação sobre as rochas básicas do que sobre as ácidas, conforme esperado.

A falha mapeada no ponto 2 é acusada por uma anomalia de Slingram e, possivelmente pelo método Turam. É possível, contudo, que as anomalias obtidas sejam causadas pela formação ferrífera subaflorente.

Na zona de seixos da formação ferrífera, do ponto 25 para oeste, as curvas de Slingram e magnetometria apresentem um comportamento perturbado.

3.8.3. Perfil 5

Ao contrário dos três perfis estudados, este é paralelo à direção das camadas da formação ferrífera (An - 1.1); seu rumo é quase perpendicular aos perfis 2, 3 e 4 e corta a formação ferrífera só na parte S.

No perfil 5 (Fig. 3.8-6) só se empregaram 4 métodos: magnetometria, radiometria, Slingram e SP.

No ponto 21 a curva de Slingram exhibe uma anomalia nítida, também mostrada pela magnetometria, embora menos intensamente que as usuais. Nesta região, observa-se o contato entre filitos e rochas básicas.

Outra anomalia bem definida, e acusada também pelo Slingram e magnetometria ocorre perto do ponto 12 sobre local mapeado como rocha básica - sua causa geológica é desconhecida. Do mesmo modo, são as anomalias de Slingram no ponto 3, magnética no ponto 4 e de SP no ponto 9 inexplicáveis geologicamente em superfície.

3.8.4. Perfil 1

Este perfil (Fig. 3.8-7) está localizado na parte norte da área, bem afastado dos demais, cortando normalmente dois afloramentos da formação ferrífera. Aí se empregaram os seguintes métodos: magnetometria, radiometria, Slingram e SP.

A espessa camada da formação ferrífera entre os pontos 13 e 16 foi detectada pela magnetometria. O SP acusou anomalia relativa nos pontos 6 e 14. Próximo ao ponto 14 não se realizaram medições com Slingram, devido ao relevo acidentado; por outro lado, nenhuma anomalia de Slingram foi detectada no trecho 7-8, onde uma camada da formação ferrífera aflora.

A zona de contato filito-rocha básica foi revelada pela magnetometria e pelo Slingram no ponto 20.

Nos locais de ocorrência de seixos da formação ferrífera, entre os pontos 0 e 6, a magnetometria assinala anomalias relativamente pequenas na parte E; as anomalias da parte W deste trecho, contudo, já são suficientemente intensas de modo a sugerir camadas subaflorantes da formação ferrífera. Nesta mesma parte W, o Slingram apresenta curvas muito ruidosas.

Ao contrário do que se observou no perfil 2, a radiometria assinala alto nível de radiação sobre a faixa de ocorrências da formação ferrífera, entre os pontos 10 e 15. Ao mesmo tempo, apresenta baixos valores de radiação, tanto nas partes mapeadas como rocha básica, assim como na parte oriental (filitos e formação ferrífera).

4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS GEOQUÍMICOS E GEOFÍSICOS

O número de anomalias geoquímicas é nitidamente menor que o de geofísicas. Isto porque, ao contrário da maioria dos métodos geofísicos, o método geoquímico é muito mais afetado pelas condições locais de intemperismo e relevo. A geoquímica não reage tão sensivelmente as diferenças litológicas (por exemplo, xisto grafitoso intercalado em filitos), elementos estruturais (falhas e limites de camadas), conteúdo de água e rochas não compactadas (argilas, etc) como a geofísica.

A confrontação entre as anomalias geoquímicas e geofísicas leva aos seguintes resultados:

4.1. PERFIL 2

A anomalia geoquímica verificada na parte E, entre os pontos D e E, corresponde a uma fraca anomalia magnética (cf. anexo 3.1-2) e à grande anomalia no SP (cf. anexo 3.3-1). Esta anomalia é, provavelmente, devida a delgada intercalação de xisto grafitoso ou presença de sulfetos.

O Turam não revelou anomalias no local; IP, Slingram e ER não foram aplicados neste trecho.

4.2. PERFIL 3

No ponto 4 determinou-se uma anomalia de Co e Li (anexo 2.4-5-1), que coincide bem com anomalias de SP e Slingram. Esta anomalia situa-se na zona de afloramento de uma lente de quartzito.

Na extremidade E do perfil, junto ao ponto E, a curva de teores apresenta uma elevação para Pb, Ni e Co que parece corresponder à faixa de valores mais

altos no SP (anexo 3.3-6). É possível que o ponto E esteja localizado no prolongamento da anomalia da parte E do perfil 2, mostrando uma zona mineralizada que segue a direção das camadas.

Magnetometria, Slingram, Turam e ER não mostram qualquer anomalia - IP não foi experimentado.

4.3. PERFIL 4

As anomalias geoquímicas detectadas sobre os afloramentos da formação fer₂ rífera são corroboradas pela Magnetometria, SP, Slingram e, menos nitidamente, Turam.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O emprego dos métodos geofísicos na região do Morro da Glória revelou que os afloramentos da formação ferrífera são acusados através de anomalias. Deve se frisar, no entanto, que nenhum método em particular exibiu anomalias marcantes sobre todos os afloramentos (os métodos de IP, Turam e Eletroresistividade não foram aplicados em todos os perfis) e que tais anomalias podem ter sido causadas tanto pela formação ferrífera de per si, quanto pelos xistos grafitosos que a acompanham. Esta incerteza só será eliminada após experiências em áreas reconhecidamente isentas daquelas rochas carbonosas e pela execução de IP, Turam e Eletroresistividade sobre os demais perfis. De qualquer modo, dada a constância da associação formação ferrífera-xisto grafitoso, as anomalias geofísicas talvez possam ser correlacionadas à camada de interesse.

O número de anomalias geofísicas detetadas no Morro da Glória é superior ao de afloramentos da formação ferrífera. Para explicar esta discrepância temos duas hipóteses; a de que corpos com propriedades físicas (susceptibilidade magnética, condutividade) semelhantes à da formação ferrífera seriam responsáveis pelas outras anomalias, ou então, a da existência da formação ferrífera sob uma pequena cobertura do manto de intemperismo. Somente um estudo geológico mais detalhado, com trincheiras, poços e sondagens poderá dirimir estas dúvidas.

Para indicação de zonas de ocorrência da formação ferrífera os métodos de Slingram, SP e magnetometria se impõem pelo baixo custo e rapidez de operação - dadas as limitações inerentes a cada método isolado, recomenda-se uma utilização conjugada dos mesmos.

A depender dos resultados de IP e Eletroresistividade nos outros perfis, a combinação IP-ER, apesar de muito dispendiosa e demorada, e além disso, bastante dificultada operacionalmente pelas condições topográficas, talvez seja mais conclusiva que a combinação anterior. De qualquer modo, a aplicação destes métodos sobre as áreas promissoras detetadas pela combinação SP-Slingram-magnetometria não deve ser posta de lado, porque fornecem indicações mais seguras sobre o

comportamento das camadas no subsolo.

O procedimento recomendado, no caso de uma pesquisa mais ampla (10 x 10 km) é, a nosso ver, um levantamento aerogeofísico sistemático com helicóptero equipado com sensores magnéticos e eletromagnéticos (espaçamento de 300 m entre perfis), seguido de detalhe terrestre nas anomalias duplas (magnetometria e eletromagnetismo) com IP e Eletroresistividade.

A pesquisa geoquímica revelou concentrações dos elementos investigados somente no perfil 4, sobre afloramento da formação ferrífera. Já no perfil 3, aquela formação só se caracteriza por concentração dos elementos Co e Li.

É interessante o fato de as amostras coletadas a 30 cm de profundidade terem fornecido melhores resultados que as de 50 cm.

A insuficiência de amostras não permite concluir sobre as possibilidades do método geoquímico, para detectar a formação ferrífera e, particularmente, as zonas ricas de Au dentro daquelas rochas.

Face a morfologia da área, só é possível obter melhor resposta geoquímica e mais acurada correlação com as anomalias geofísicas mediante uma rede de amostragem mais densa.

Para futuros trabalhos recomenda-se um espaçamento entre perfis de, no máximo, 40 m e estações distantes de 10 m. Além disso, seria desejável também coletar amostras de rocha fresca, para análise.

Em vista dos resultados geofísicos obtidos, selecionamos alguns locais em que a geologia não explica as anomalias detetadas e nas quais sugerimos que se façam pesquisas através de trincheiras, poços ou sondagens, de preferência nos pontos em que se obtiveram anomalias com mais de um método.

Perfil 2

1. Estaca 0/1 - anomalia magnética, SP e Turam
2. Estaca 14/15 - anomalia magnética e Slingram
3. Estaca 12 - anomalia Turam (SP)
4. Estaca E/F - anomalia magnética

Perfil 3

1. Estaca 17/18 - anomalia Slingram, Turam (magnética)
2. Estaca H/I - anomalia magnética (Turam)

Perfil 4

1. Estaca B - anomalia magnética
2. Estaca 18 - anomalia magnética
3. Estaca 36/37 - anomalia magnética
4. Trecho 2-6 - anomalia Slingram (Turam)

Perfil 5

1. Estaca 13 - anomalia magnética e Slingram
2. Estaca 2/5 - anomalia Slingram, SP (magnética)
3. Estaca 4 - anomalia magnética

Perfil 1

1. Trecho 17/20 - anomalia Slingram