


DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL  
CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL-ALEMANHA

Coordenador Geral: Acyr Ávila da Luz  
Coordenador Adjunto: Wilson de Pádua Paula

I-46

|   |                        |
|---|------------------------|
| <br>CPRM | <b>SUREMI</b><br>SEDOE |
| ARQUIVO TÉCNICO   |                        |
| Relatório n.º 1655  |                        |
| N.º de Volumes: 2 + Anexos: 1   |                        |
| OSTENSIVO   |                        |



CPRM

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

1975

# CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL-ALEMANHA

Superintendente de Execução  
ROBERTO BREVES VIANNA

Chefe da Missão Alemã  
GEORG BLÜMEL

INTERPRETAÇÃO DO LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO SISTEMÁTICO  
DE MINAS GERAIS E ESPÍRITO SANTO  
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Volume I

Geofísica: W. Bosum  
Geologia: H. Mollat  
Tradução e Adaptação: K. Jinno

## Equipe de Trabalho

C. P. R. M.

Antonio C. G. M. de Godoy  
Arnaldo B. Vieira  
Elson G. Correia  
Jaime Paulino  
Koji Jinno  
Ricardo M. Vasconcelos  
Roberto B. Vianna

B. G. R.

G. Brass  
D. Eberle  
H. Geipel  
H. J. Ulrich  
J. Ostwald

MISSÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA ALEMÃ



**CPRM**

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

1975

## PREFÁCIO

O primeiro volume tece considerações pormenorizadas sobre a execução do levantamento aerogeofísico. Discute a escolha da distância entre os perfis e do nível de medida, a relação entre altura de vôo, direção e distância entre os perfis, e a combinação da aeromagnetometria e aero-radiometria.

Segue-se uma descrição sumária dos métodos de interpretação empregados e uma introdução à geologia da área levantada. No capítulo sobre a interpretação geológico-econômica das anomalias aerogeofísicas procurou-se estabelecer, com base nos tipos de anomalias detetadas na região do projeto, as relações entre as anomalias e as realidades e potencialidades geo-econômicas. Além disso, discute-se a escolha dos métodos e a sistemática a empregar nos trabalhos complementares sobre cada tipo de anomalia.

Na última parte expõem-se considerações de caráter geral e apresentam-se sugestões para trabalhos complementares.

SUMÁRIO (TEXTO)VOLUME I

|   | PÁG. |
|---|------|
| PREFÁCIO  |      |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 1    |
| 2. EXECUÇÃO DOS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS.....                             | 3    |
| 2.1. Generalidades.....   | 3    |
| 2.2. Separação dos perfis.....  | 4    |
| 2.3. Influência da separação dos perfis, altura e direção<br>de vôo.....      | 5    |
| 2.4. Nível de medida.....   | 10   |
| 2.5. Combinação de levantamentos aeromagnéticos e aero-<br>radiométricos..... | 12   |
| 2.6. Considerações Gerais - Duração e Custo.....                              | 13   |
| 3. INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA.....   | 17   |
| 3.1. Aeromagnetometria.....   | 17   |
| 3.1.1. Métodos matemáticos de interpretação.....                              | 17   |
| 3.1.2. Interpretação estrutural.....  | 22   |
| 3.2. Aero-radiometria.....  | 24   |
| 4. GEOLOGIA DA ÁREA DE LEVANTAMENTO.....                                      | 26   |
| 4.1. Generalidades.....   | 26   |
| 4.2. Pré-Cambriano.....   | 26   |
| 4.3. Mesozóico e Cenozóico.....   | 29   |
| 5. INTERPRETAÇÃO "GEOLÓGICO-ECONÔMICA" DAS ANOMALIAS AEROGEO-<br>FÍSICAS..... | 32   |

|   | PÁG. |
|---|------|
| 5.1. Generalidades.....                 | 32   |
| 5.2. Parâmetros físicos das rochas..... | 34   |
| 5.2.1. Magnetização.....                | 34   |
| 5.2.2. Radiação Gama.....               | 37   |
| 5.3. Exemplos típicos.....              | 41   |
| 5.3.1. Generalidades.....               | 41   |
| 5.3.2. Aeromagnetometria.....           | 42   |
| 5.3.3. Aero-radiometria.....            | 51   |
| 6. BIBLIOGRAFIA.....                    | 53   |

SUMÁRIO DAS PRANCHAS E ANEXOS

VOLUME I

PRANCHAS

- 1 : Localização da área de pesquisa
- 2 : Distância de amostragem entre pontos (e perfis)
- 3a/3b  
a : Modelo chaminé - Direção de vôo e relação separação dos per-  
fis/profundidade
- 6a/6b
- 7a/7d: Modelo placa (direção N-S) - Direção de vôo e relação sepa-  
ração dos perfis/profundidade
- 8a/8b: Interpretação com o método de mínimos quadrados
- 9 : Curvas modelos - placa delgada e cilindro horizontal
- 10-13: Modelo chaminé - curvas teóricas (tridimensional)
- 14-22: Modelo placa espessa - curvas teóricas (tridimensional)
- 23-25: Modelo cunha vertical - curvas teóricas (tridimensional)
- 26 : Superposição de anomalias magnéticas a diferentes níveis
- 27 : Maciço não-magnético : Jacinto
- 28 : Anomalias magnéticas nas proximidades da jazida de Zn de  
Vazante.

ANEXOS

- 1 : Efeito de falhas transversais no mapa de isanomalias magné-  
ticas.
- 2 : Corpo magnético ascendente (anomalia de embasamento)
- 3 : Alinhamentos magnéticos
- 4 : Comparação da interpretação e sondagem
- 5 : Anomalias de itabirito
- 6 : Anomalias de embasamento

- 7 : Maciços magnéticos - Anomalias magnéticas e interpretação esquemática
- 8 : Maciço não-magnético - São João del Rei
- 9a : Tipos de anomalias magnéticas do W de Minas Gerais (folha SE-23-Y, escala 1:500 000).
- 9b : Anomalias da intensidade da radiação gama total (folha SE-23-Y, escala 1:500 000).
- 9c : Interpretação esquemática das anomalias do anexo 9a
- 10 : Anomalias magnéticas sobre migmatitos
- 11 : Anomalias magnéticas sobre ultrabásicas

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro dos termos do Convênio de Cooperação Técnica firmado em 01/06/70 entre os governos da República Federativa do Brasil e da República Federal da Alemanha, o Estado de Minas Gerais e parte do Estado do Espírito Santo (prancha-1), foram objeto de um levantamento aerogeofísico, que teve por finalidade estabelecer bases para o estudo sistemático da geologia e prospecção mineral.

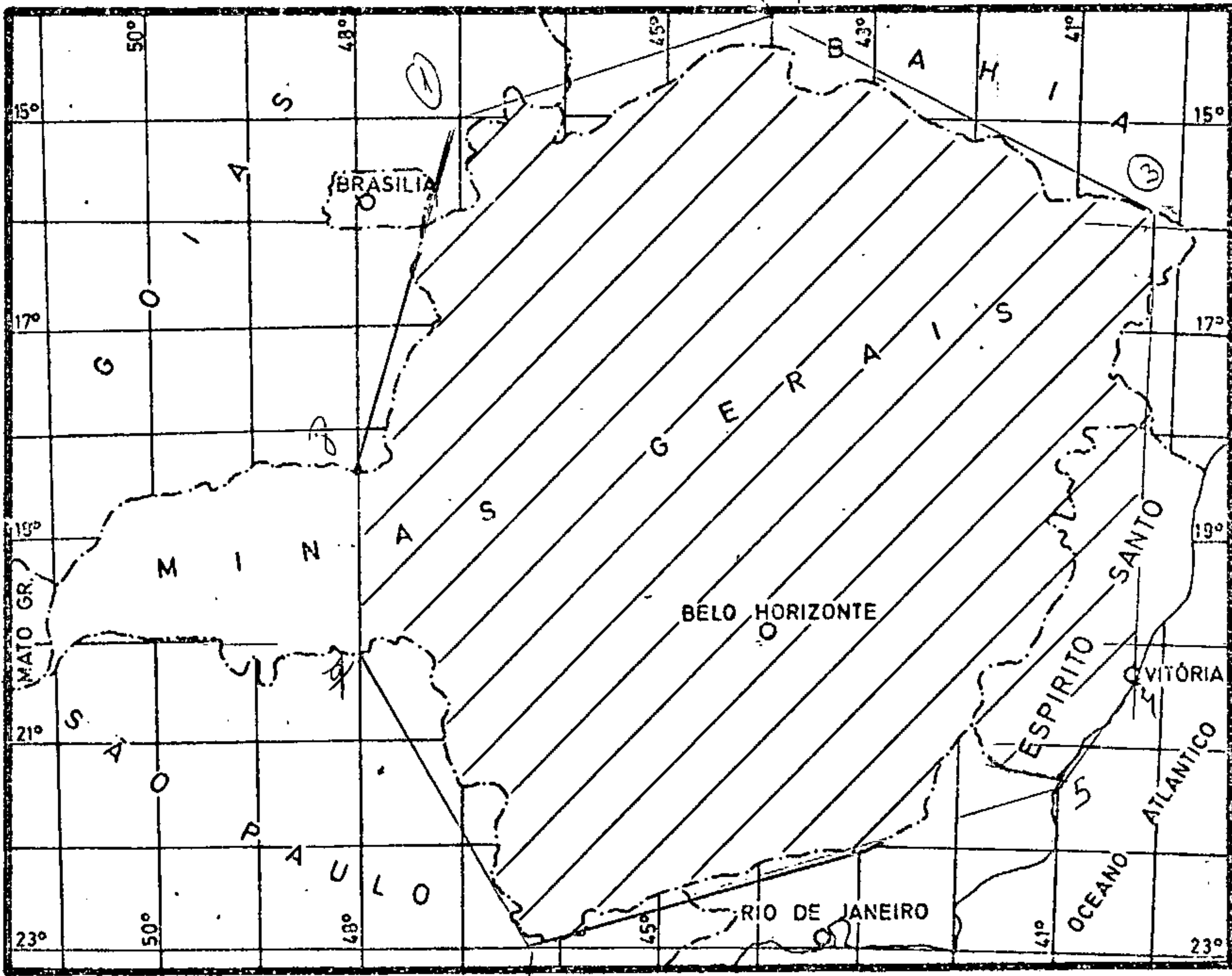
O levantamento executado no período de 01/03/71 a 11/09/72 esteve a cargo da PRAKLA-SEISMOS GmbH e o posterior, até 31/08/73, foi realizado por uma equipe do Convênio Geofísica Brasil-Alemanha (CGBA), composta por técnicos da CPRM e CAEEB.

Na área, que totaliza 570.000 km<sup>2</sup>, foram executados levantamentos aeromagnéticos e, em regiões de relevo favorável, empregou-se uma combinação radiometria-magnetometria. Foram voados cerca de 360.000 quilômetros lineares, dentre os quais 128.000 quilômetros representam levantamentos combinados.

Os mapas de isanômalas foram confeccionados pela PRAKLA-SEISMOS em Hannover, através de processamento automático de dados. A interpretação dos mapas de isanomalias, da qual participaram técnicos brasileiros integrantes de um programa de aperfeiçoamento técnico, foi inicialmente realizada no Serviço Geológico Federal da Alemanha (antigo BUNDESANSTALT FUER BODENFORSCHUNG, atual BUNDESANSTALT FUER GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE), em Hannover; esta interpretação prosseguiu no Brasil com um grupo misto teuto-brasileiro. Os resultados da interpretação serviram de base para os programas de trabalho do CGBA.

As regiões das anomalias consideradas interessantes foram objeto - de acordo com os condicionamentos - de reconhecimentos geológicos, geofísicos e geoquímicos, que por vezes resultaram em





ÁREA COBERTA PELO AEROLEVANTAMENTO DO  
CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL-ALEMANHA

47°

trabalhos complementares de detalhe. Os resultados desses trabalhos foram utilizados na reinterpretação das anomalias aerogeofísicas.

Além de um comentário sobre a execução do levantamento, uma introdução aos princípios de interpretação e uma exposição geral sobre a geologia da área, o relatório no seu volume II contém uma descrição de cada folha (1:100 000) da área do projeto, resumindo os conhecimentos geológicos e os resultados da interpretação das anomalias aerogeofísicas e apresenta sugestões para outros trabalhos, com base nos conhecimentos da época (dezembro, 1974). Esta exposição global pode ser utilizada como base para trabalhos adicionais na área: prospecção mineral, mapeamentos geológicos, pesquisas geofísicas e estudos geológicos em geral, mapas tectônicos etc...

## 2. EXECUÇÃO DOS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS

### 2.1. GENERALIDADES

Para avaliação e interpretação das anomalias é importante ter em mente os dados técnicos do levantamento. Em relação às particularidades, deve-se recorrer aos relatórios da PRAKLA-SEISMOS GmbH.

As medidas foram realizadas com magnetômetros de processão de protons (sensibilidade  $\pm 1$  gama), Geometrics modelo G 803 e Prakla PM 24, e um gamaespectrômetro de 4 canais da Exploranium modelo DGRS-1000 (volume dos cristais -  $7500 \text{ cm}^3$  N 450  $\text{pol}^3$ ; faixas de energia: canal 1 - 2,48 a 2,76 MeV; canal 2 1,63 a 1,89 MeV; canal 3 - 1,35 a 1,57 MeV; canal de radiação total - 1,0 a 6,62 MeV).

Deu-se preferência ao magnetômetro de protons ao invés do antigo modelo "fluxgate", devido à maior precisão e segurança do primeiro. Em particular, as variações do magnetômetro "fluxgate" perturbam e influenciam a interpretação, principalmente das anomalias de embasamento profundo.

Diversos fatores influem na escolha dos parâmetros do levantamento (em particular: separação dos perfis, altura e direção de vôo). Os mais importantes são: objetivos, fatores de ordem econômica (custo e duração), o campo geomagnético e a geologia da área, a diminuição da intensidade da radiação gama com a altura, a precisão desejada e o poder de resolução esperado.

Enquanto a separação dos perfis é determinada, em princípio, por fatores alheios aos métodos (custo, duração), os outros parâmetros dependem de considerações físico - matemáticas

sobre a utilização de informações geológicas. É o caso principalmente da altura e direção dos vôos e a escolha do nível de medida. Um ponto importante a considerar é a conveniência da combinação de diferentes métodos geofísicos, no caso atual, da magnetometria e da radiometria.

A seguir descreve-se resumidamente as noções que nortearam a concepção técnica deste projeto.

## 2.2. SEPARAÇÃO DOS PERFIS

O objetivo do levantamento foi obter conhecimentos geofísicos regionais que viessem servir de base para prospecção mineral e para mapeamento geológico. Não se podia escolher uma separação muito grande dos perfis, de vez que, neste contexto, unidades rochosas de algumas centenas de metros ainda são interessantes; por outro lado, para evitar que os custos se tornassem proibitivos e para que os trabalhos terminassem dentro de prazo razoável, teve-se que excluir separação muito pequena entre os perfis.

A experiência internacional ensina que a maneira mais apropriada e efetiva de resolver este problema consiste em combinar um levantamento regional, utilizando uma separação dos perfis de 2 km, com um levantamento de detalhe nas áreas que parecerem interessantes a partir dos resultados do levantamento regional. Assim, com um mínimo de custo e de tempo, obtém-se o máximo de informações.

Existe, no entanto, exemplos de levantamentos regionais de países, executados nos moldes de levantamentos aerogeofísicos de detalhe; tal procedimento só se justifica em países de pequenas dimensões territoriais. Ao final, apresenta-se uma

comparação quantitativa de custos a fim de orientar uma tomada de posição em relação a este problema.

### 2.3. INFLUÊNCIA DA SEPARAÇÃO DOS PERFIS, ALTURA E DIREÇÃO DE VÔO .

A altura de vôo e a separação dos perfis de um levantamento são intimamente relacionados, como se pode verificar facilmente através de considerações sobre uma anomalia teórica.

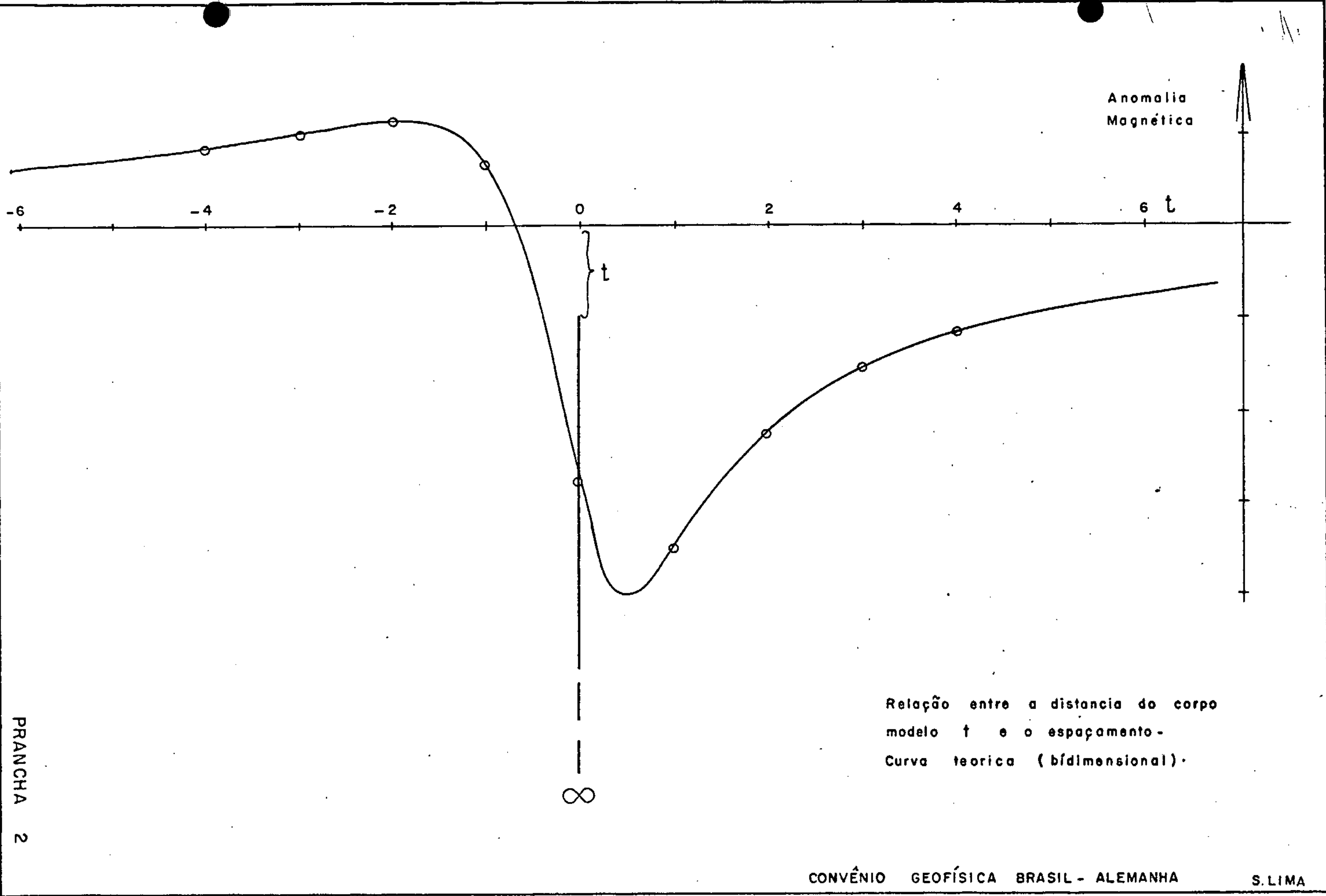
Problema proposto: Quantos perfis (no caso de corpos bidimensionais - quantos pontos) serão necessários para reproduzir a configuração correta da anomalia?

A Prancha 2 mostra a anomalia magnética teórica sobre uma placa delgada. Adotando-se a profundidade do topo da placa como escala de abcissas, pode-se enunciar a seguinte regra empírica:

A forma e amplitude da anomalia serão reproduzidas corretamente, dentro de limites representativos de erro, se a separação entre os perfis for igual (ou menor) que a profundidade do topo da placa.

Na prospecção de corpos profundos, como é o caso do "embasamento" para prospecção de petróleo, pode-se utilizar uma separação relativamente grande entre os perfis (p.ex. 5 km); na pesquisa de corpos subaflorantes, que é o caso da prospecção de minérios, a separação dos perfis deve ser da mesma ordem de grandeza da altura de vôo, (na hipótese de corpos aflorantes), para que o campo magnético desses corpos seja inteiramente abrangido.

Muitas vezes, mesmo em um levantamento de reconhecimento, é suficiente uma indicação da existência de anomalias, sem que seja necessária a reprodução exata de sua forma; esta última



PRANCHA 2

ma pode ser obtida através de um levantamento de detalhe.

Além da altura de voo, a detetabilidade depende essencialmente do produto largura x magnetização do corpo magnético: corpos com alta magnetização e grande dimensões são detetáveis a distâncias consideráveis. Daí a importância de se calcular os limites da detetabilidade (v. Ítem 2.6.).

Uma separação muito grande entre os perfis produz uma distorção típica do campo magnético. Como se pode verificar visualmente na prancha 2, os valores extremos (aparentes) localizam-se sobre os perfis; em um levantamento bidimensional, estes valores extremos produzem os chamados "perfis em cadeia" (vide por exemplo as anomalias do Triângulo Mineiro, W de MG), evidenciando ter havido uma separação muito grande dos perfis em relação à altura de voo.

Também se estudou a correlação entre a forma da anomalia e a razão separação dos perfis/altura de voo (ou seja, a profundidade do corpo) para campos magnéticos bidimensionais teóricos.

A prancha 3a mostra a anomalia  $\Delta T$  (anomalia da intensidade total do campo geomagnético) de um corpo vertical em forma de chaminé (magnetização de 100  $\gamma$ , profundidade de 700 m) e uma inclinação magnética de  $-15^{\circ}$ . A anomalia possui três valores extremos, um máximo a N e outro a S (o máximo meridional é menor do que o menor valor das isanômalas representadas) e um mínimo no meio. O mínimo tem um alongamento preferencial E-W. A forma teórica da anomalia coincidirá com a forma desenhada a partir dos perfis, quando a separação entre os mesmos (d) for igual ou menor que a profundidade (t) do corpo, de acordo com a conclusão enunciada para o caso de um perfil. Em princípio, a forma da anomalia no caso desses campos bidimensionais será

corretamente reproduzida desde que tenhamos uma relação  $d/t$  de até 4:1. (vide pranchas 3 a 6).

Estas anomalias bidimensionais teóricas oferecem ainda a possibilidade de estudar o efeito da direção de medida na forma da anomalia. Enquanto as pranchas 3a, 4a, 5a e 6a foram confeccionadas com a utilização de perfis N-S (magnético), as pranchas 3b, 4b, 5b e 6b representam exemplos dos mesmos casos para perfis E-W. No caso de  $d = t$  (pranchas 3a e 3b), ambos campos magnéticos coincidem, o que era de se esperar tendo em vista as relações já deduzidas; disto tiramos uma importante conclusão:

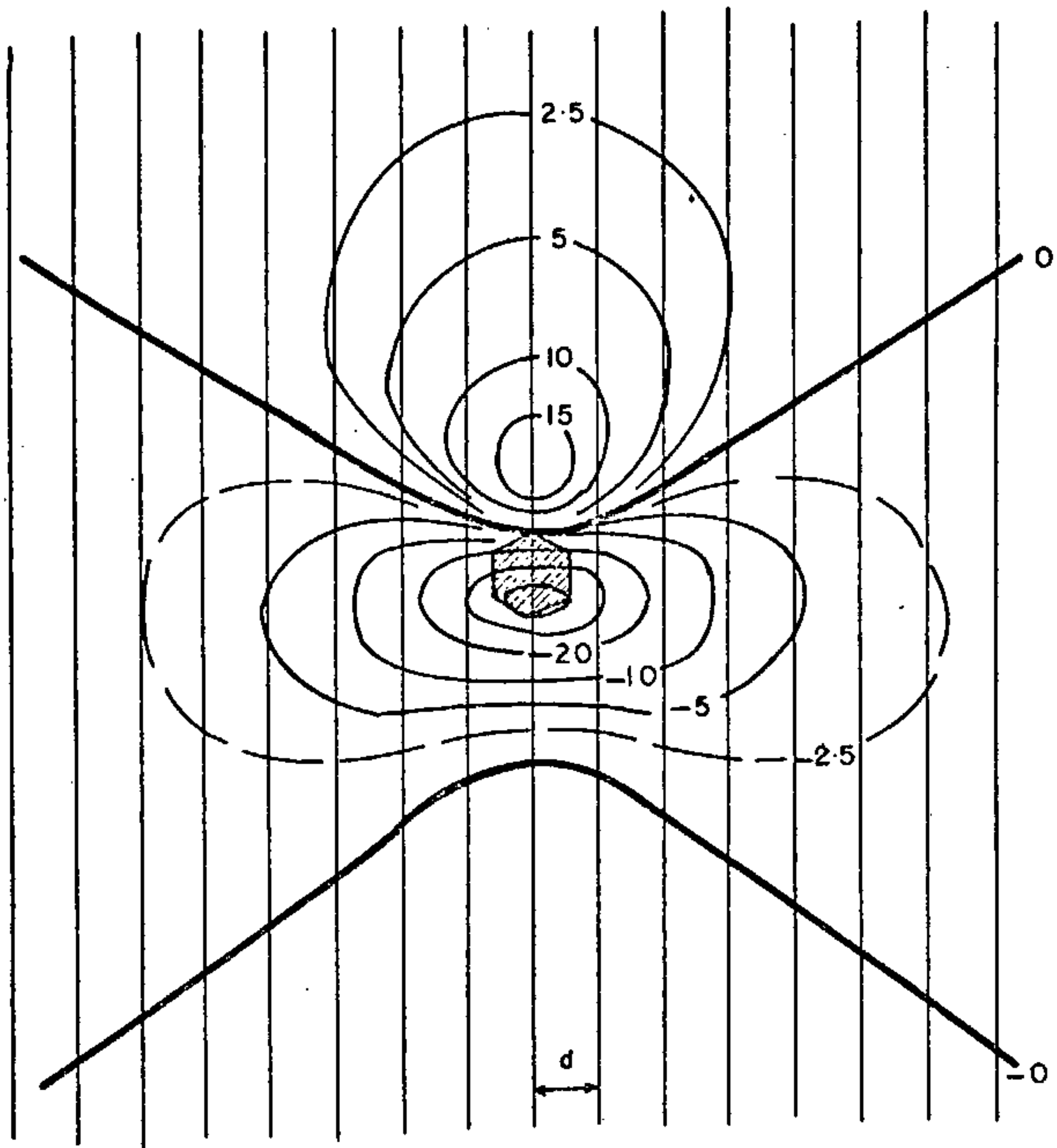
Com separação entre os perfis menor ou igual à altura de vôo sobre o solo, o campo da anomalia (de corpos subaflorantes) será inteiramente abrangido e sua forma independe da direção do perfil.

Comparando-se os perfis E-W e N-S das pranchas 5 e 6 com  $d/t = 3:1$  e  $4:1$ , observa-se que os perfis E-W mostram menor similitude com a forma original que os perfis N-S. Isto era de se esperar, tendo em vista a forma da anomalia teórica, cujo mínimo mostra uma direção E-W predominante, que é melhor retratada através de perfis N-S.

O modelo de um corpo em forma de chaminé (ou corpos esféricos, isto é, dipolos, cuja anomalia possui uma grande semelhança com os acima descritos) não representa, contudo, o caso normal. Na maioria das vezes, deve-se tratar com corpos alongados. As pranchas 7a e 7b mostram os casos para corpos alongados N-S.

Na prancha 7a representa-se o campo anômalo  $\Delta T$ , no qual se traçaram perfis transversais (prancha 7b) e paralelos (prancha 7c).





### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $\uparrow$  do corpo modelo ao nível de vôo

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100\gamma$

$d = 700\text{ m}$

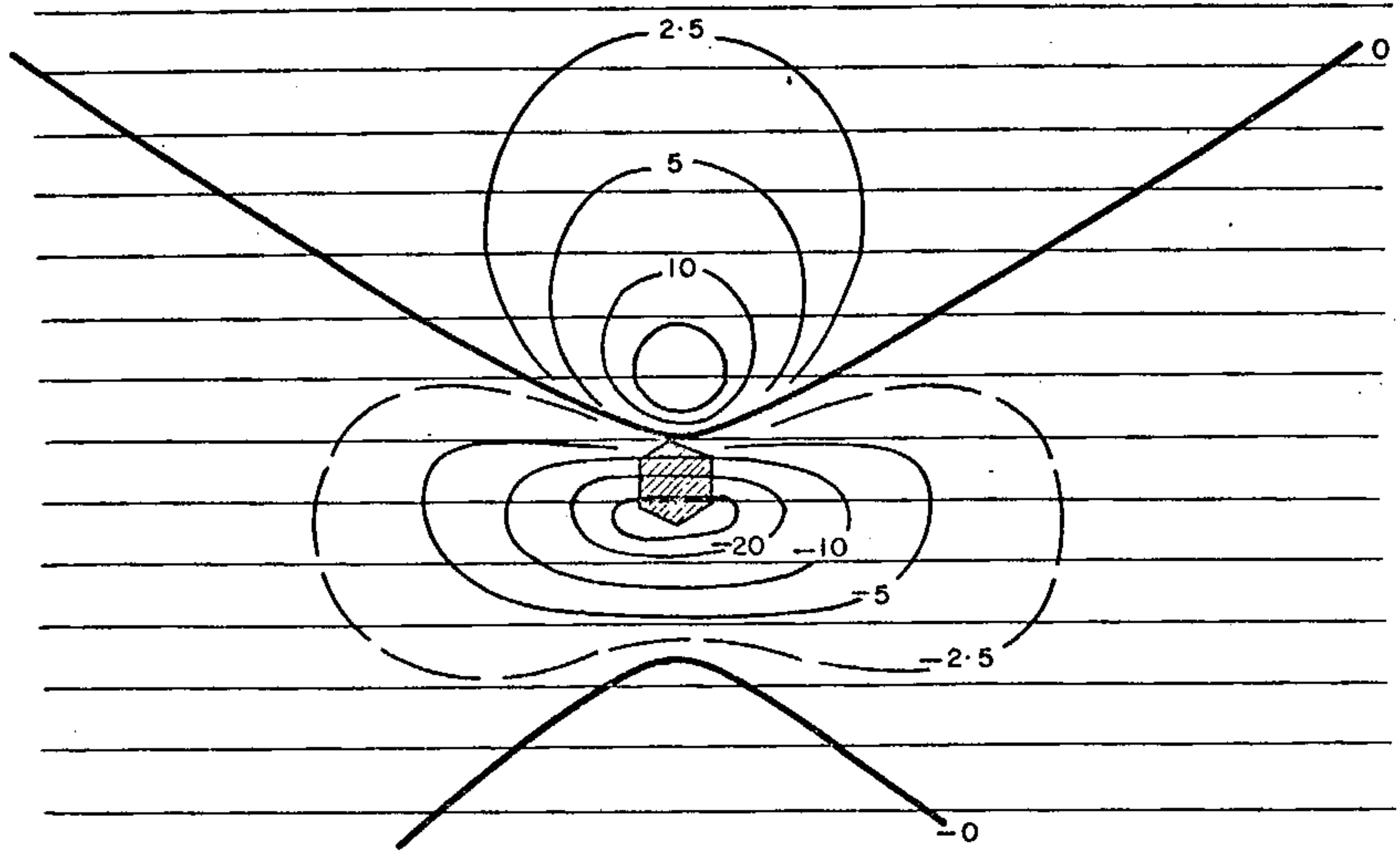
$\uparrow = 700\text{ m}$



30' isanômala da intensidade magnética total em Gamas



Planta do corpo modelo



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $t$  do corpo modelo ao nível de vôo

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100\gamma$

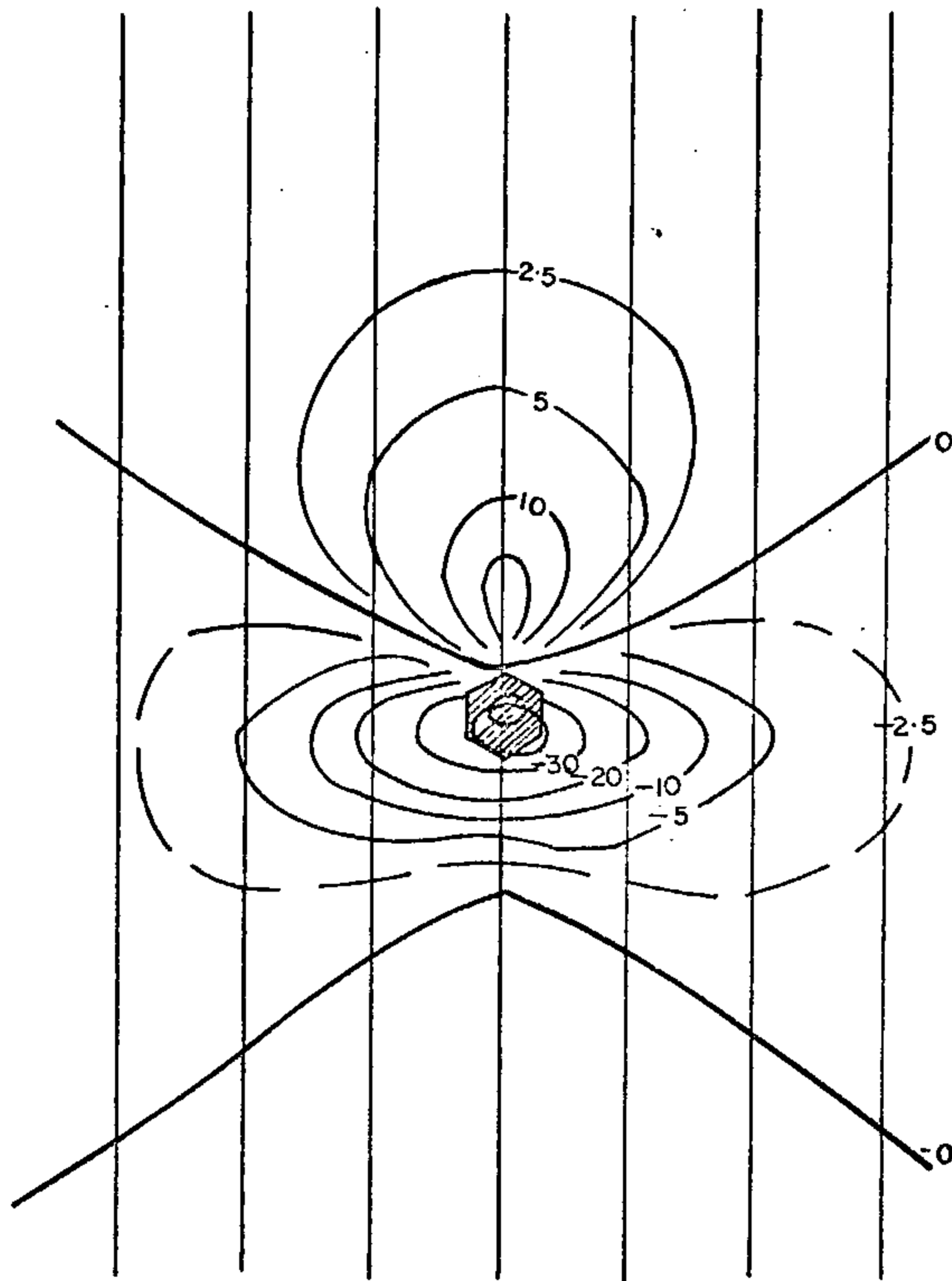
$d = 700\text{m}$

$t = 700\text{m}$



50- Isanômala de Intensidade magnética total em Gammas

Planta do corpo modelo



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

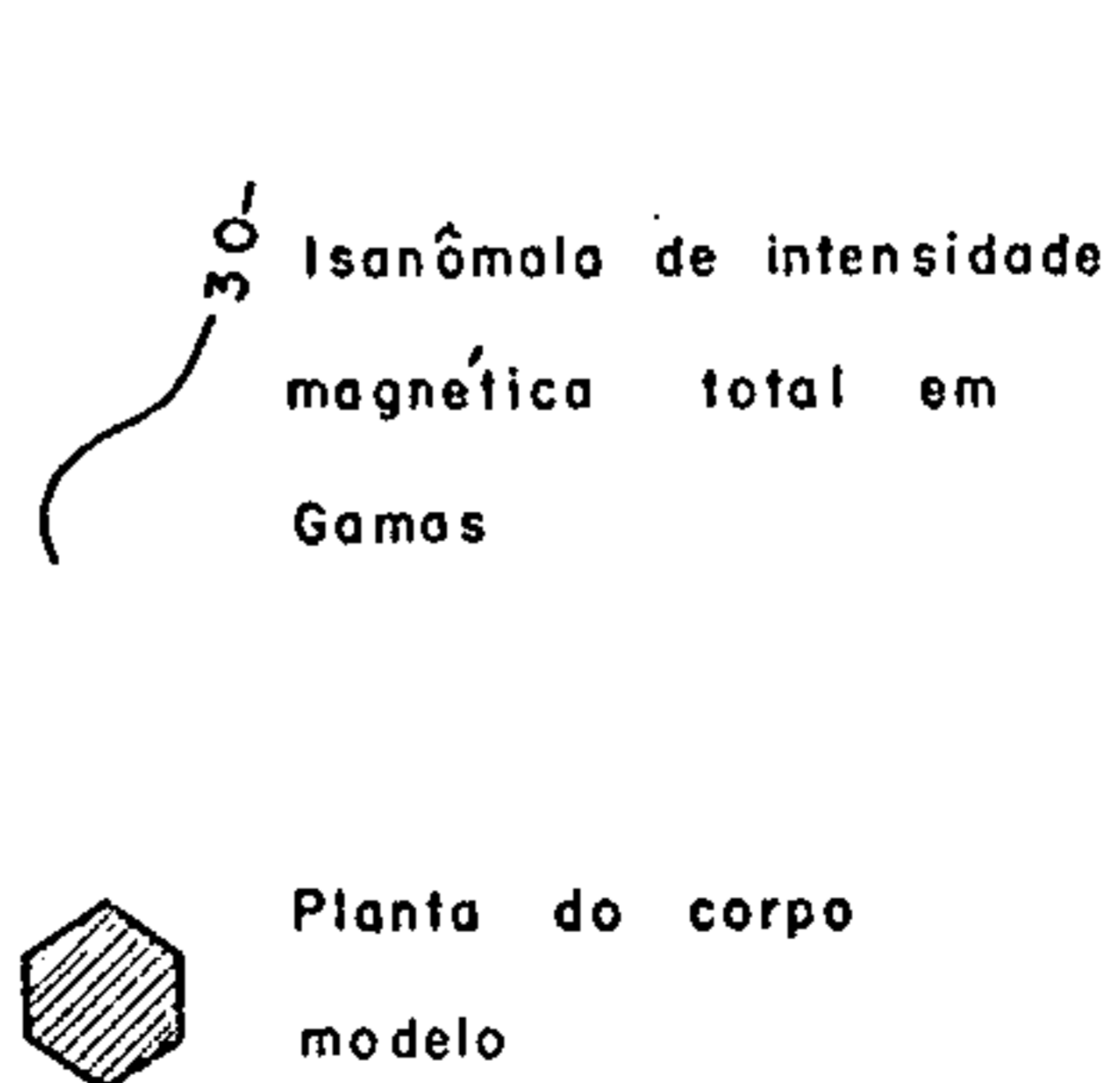
Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $f$  do corpo modelo ao nível de vôo

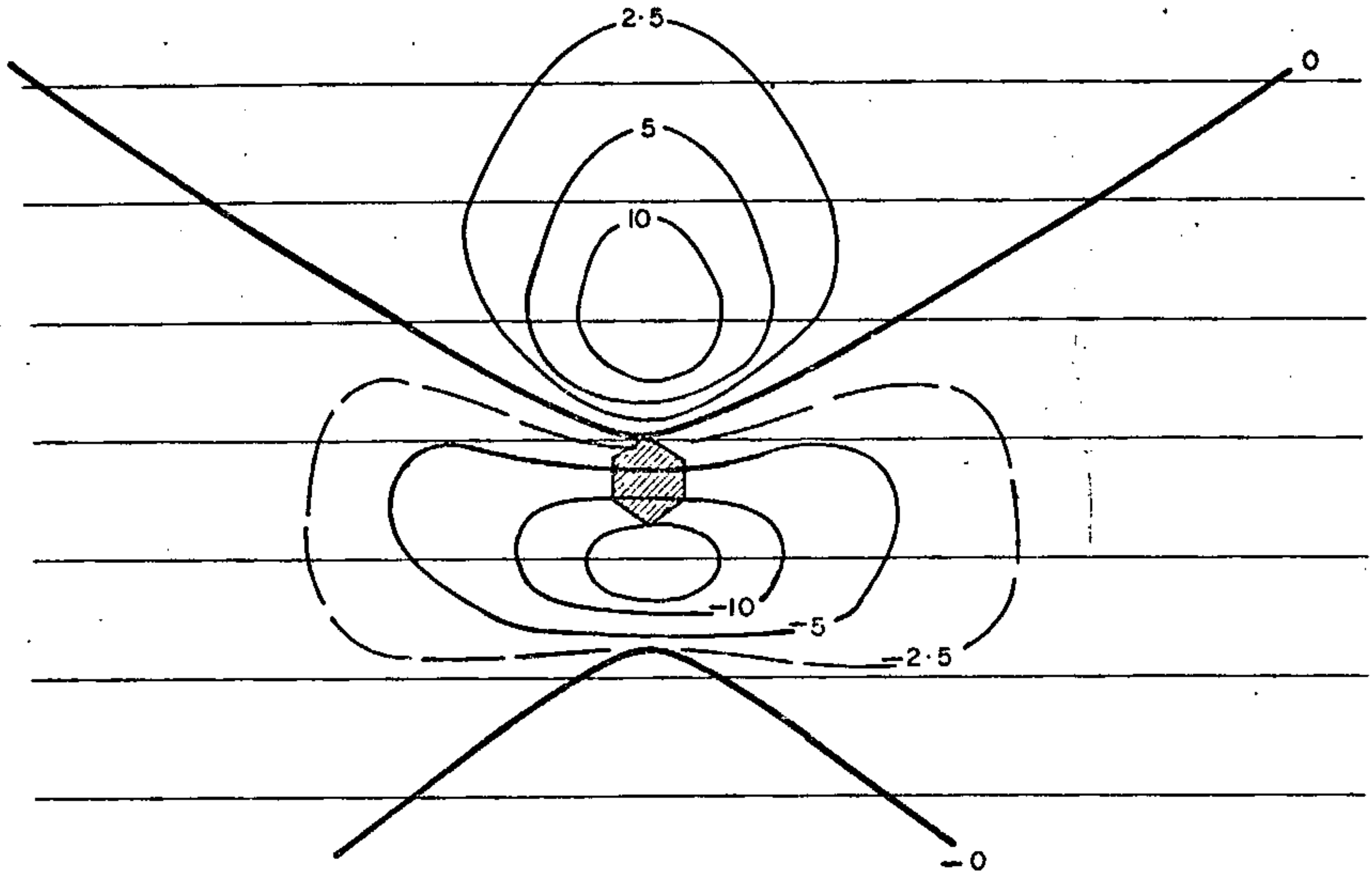
Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

$d = 1400 \text{ m}$

$f = 700 \text{ m}$





### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

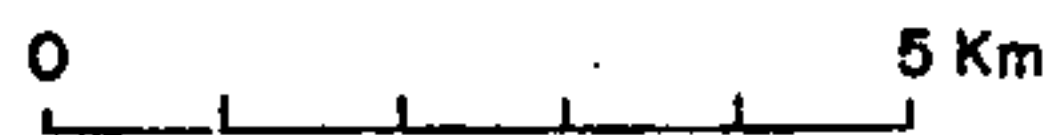
Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $t$  do corpo modelo ao nível de vôo

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

$d = 1400 \text{ m}$

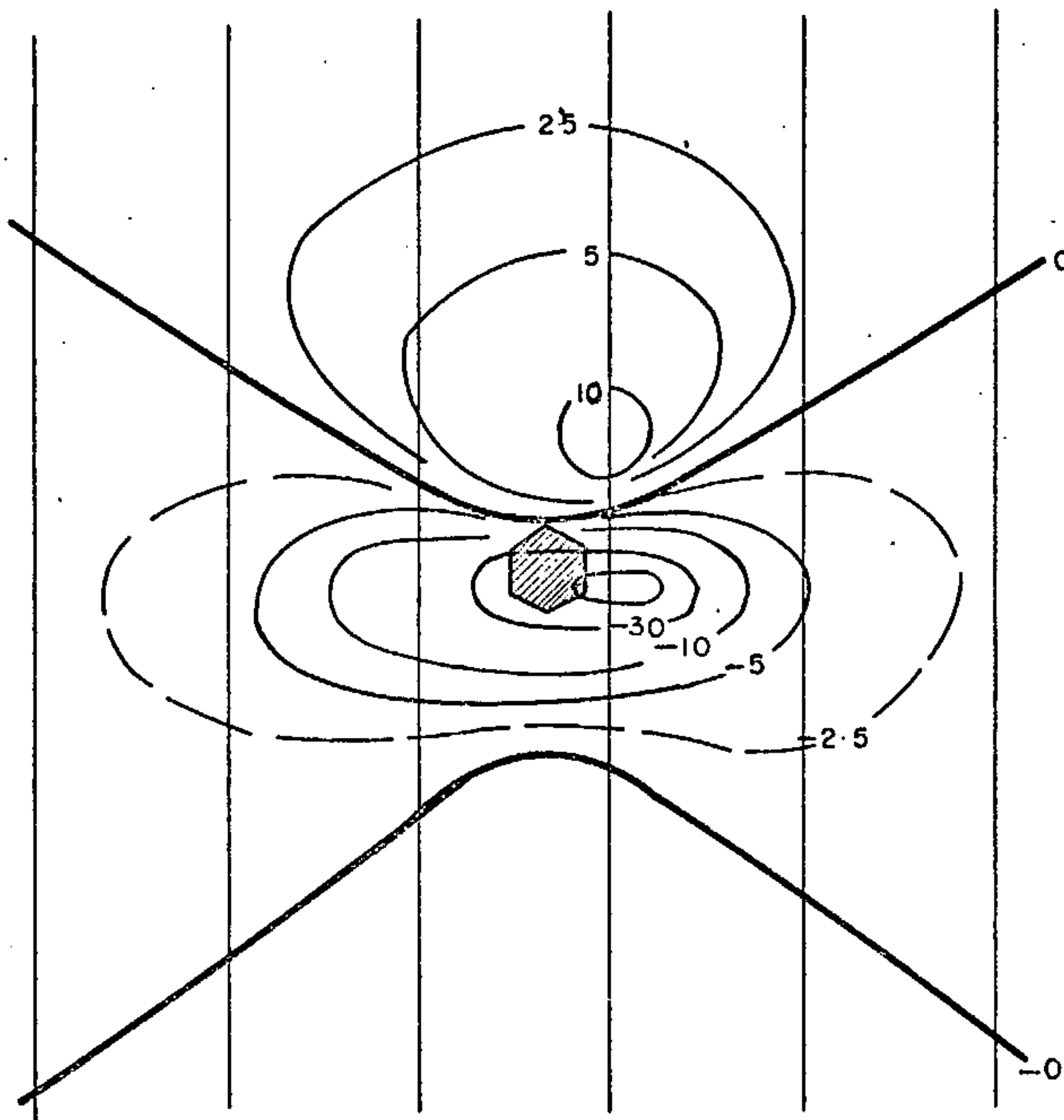
$t = 700 \text{ m}$



30  
Isonôma de intensidade  
magnética total em  
Gammas



Planta do corpo  
modelo



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $t$  do corpo modelo ao nível de vôo

Inclinação =  $-15^\circ$   
 Magnetização =  $100 \gamma$

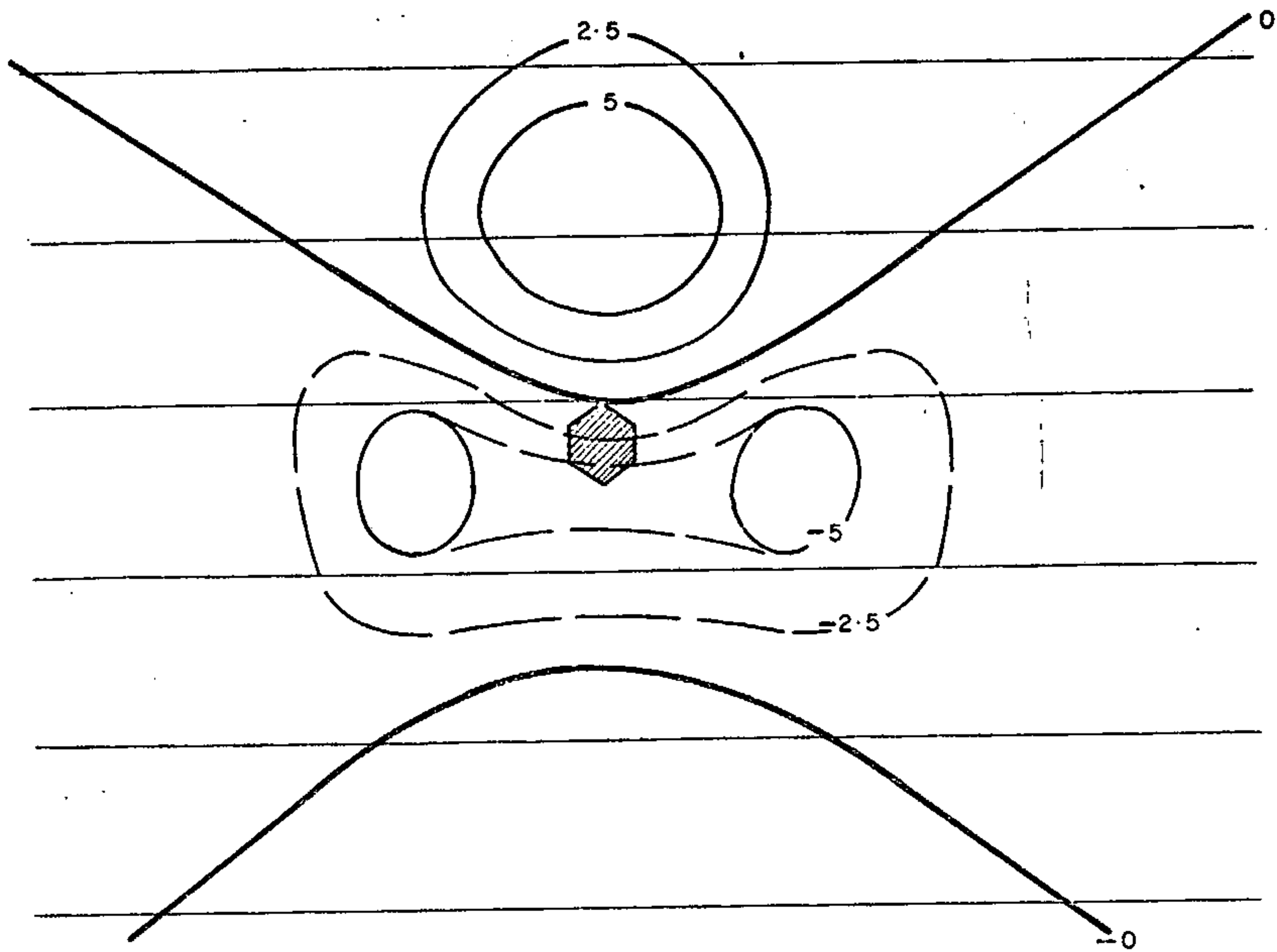
$d = 2100 \text{ m}$

$t = 700 \text{ m}$



30- Isanômala de intensidade magnética total em Gamas

 Planta do corpo modelo



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

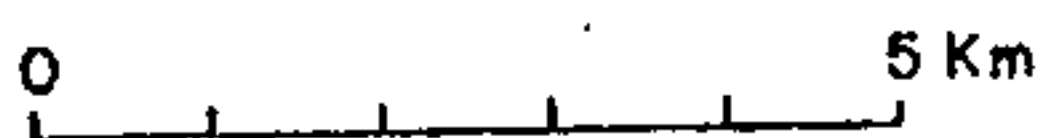
Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $t$  do corpo modelo ao nível de vôo.

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

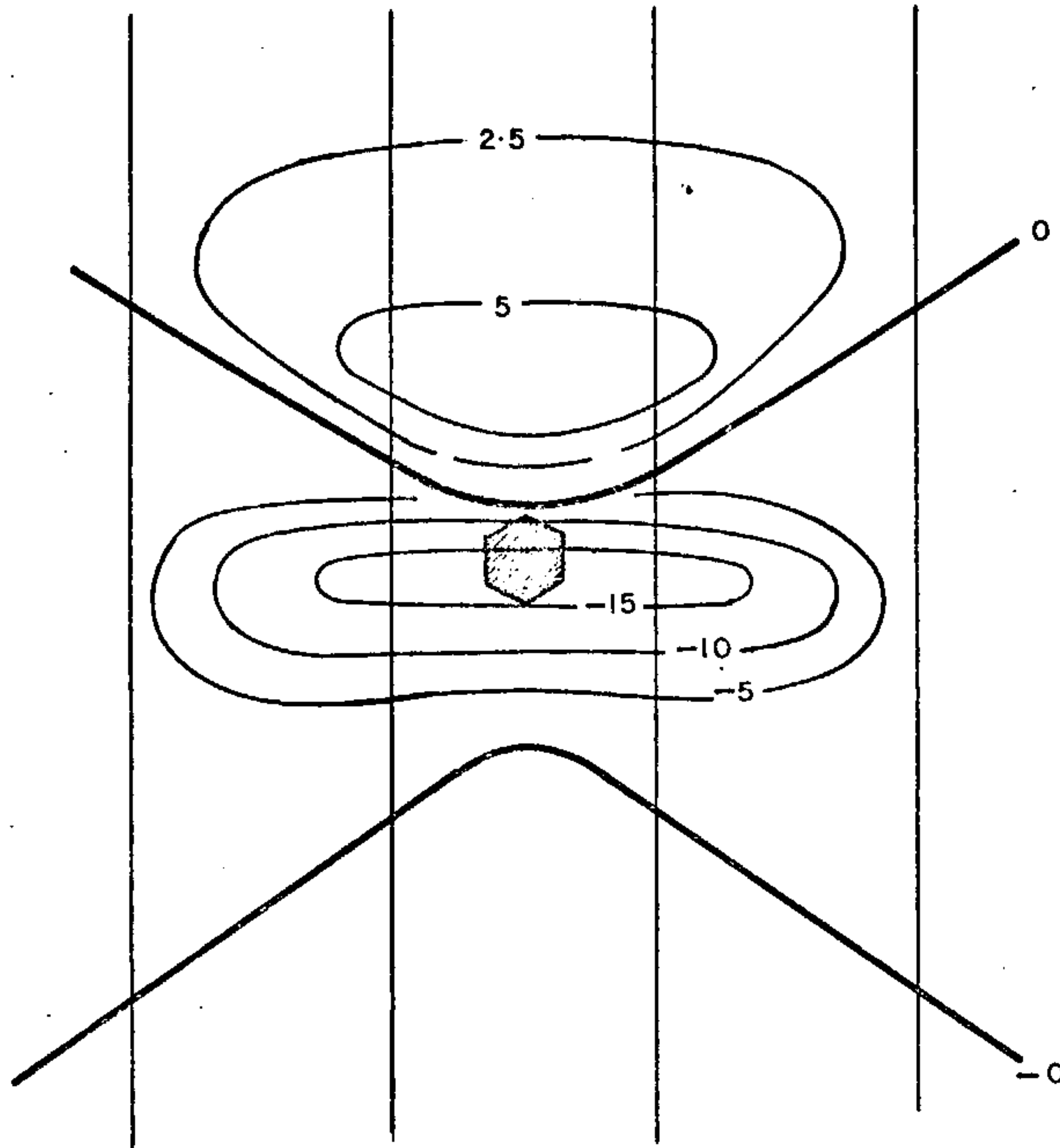
$d = 2100 \text{ m}$

$t = 700 \text{ m}$



30- Isanômala da intensidade magnética total em Gammas

Planta do corpo modelo



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $t$  do corpo modelo ao nível de vôo.

Inclinação =  $-15^\circ$   
 Magnetização =  $100 \gamma$

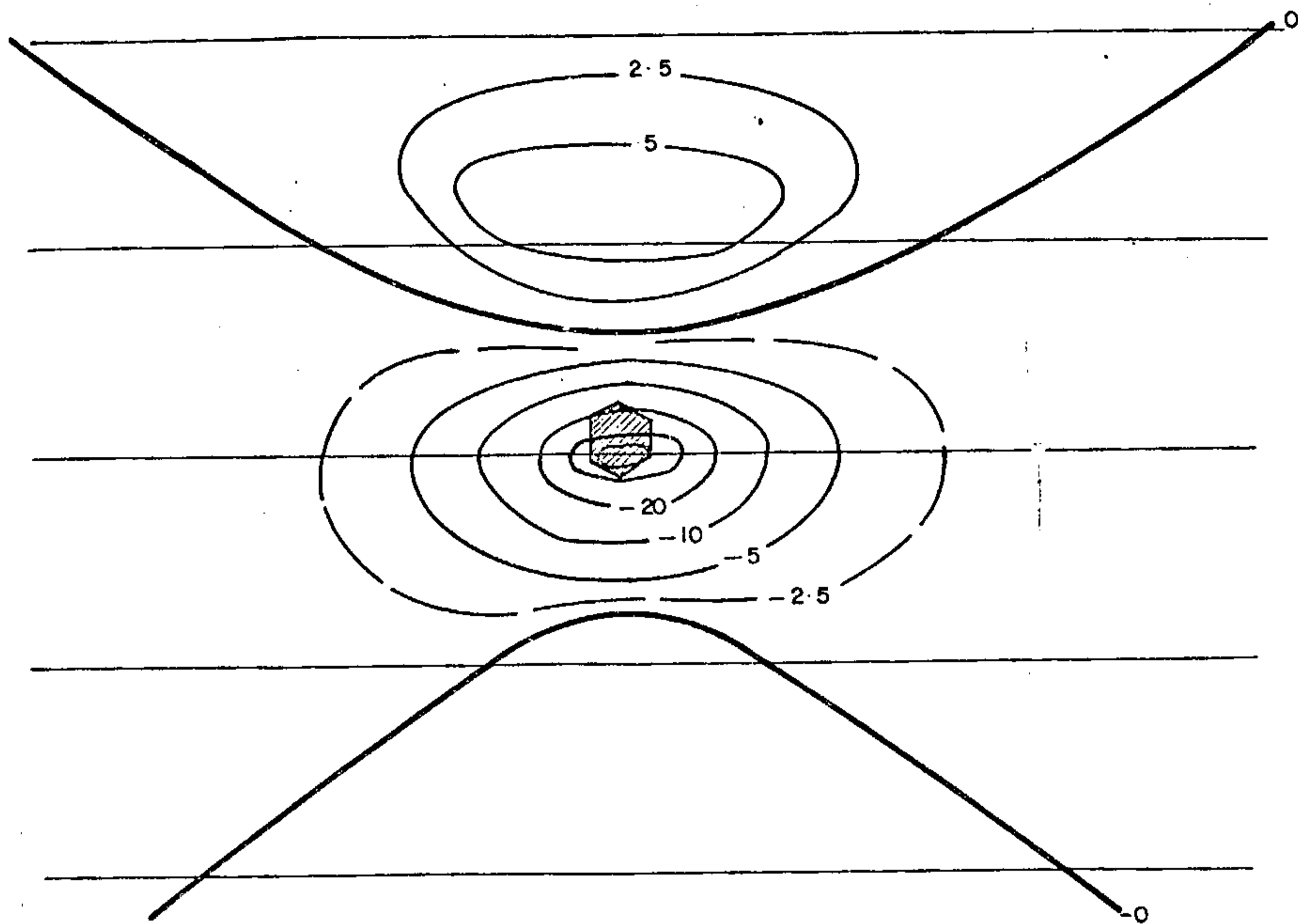
$d = 2800 \text{ m}$

$t = 700 \text{ m}$

0 5 Km

30' Isonôma da intensidade magnética total em Gammas

Planta do corpo modelo



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

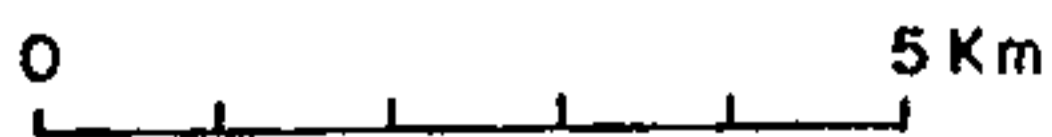
Influência da direção e espaçamento das linhas de vôo  $d$  e da distância  $t$  do corpo modelo ao nível de vôo

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

$d = 2800 \text{ m}$

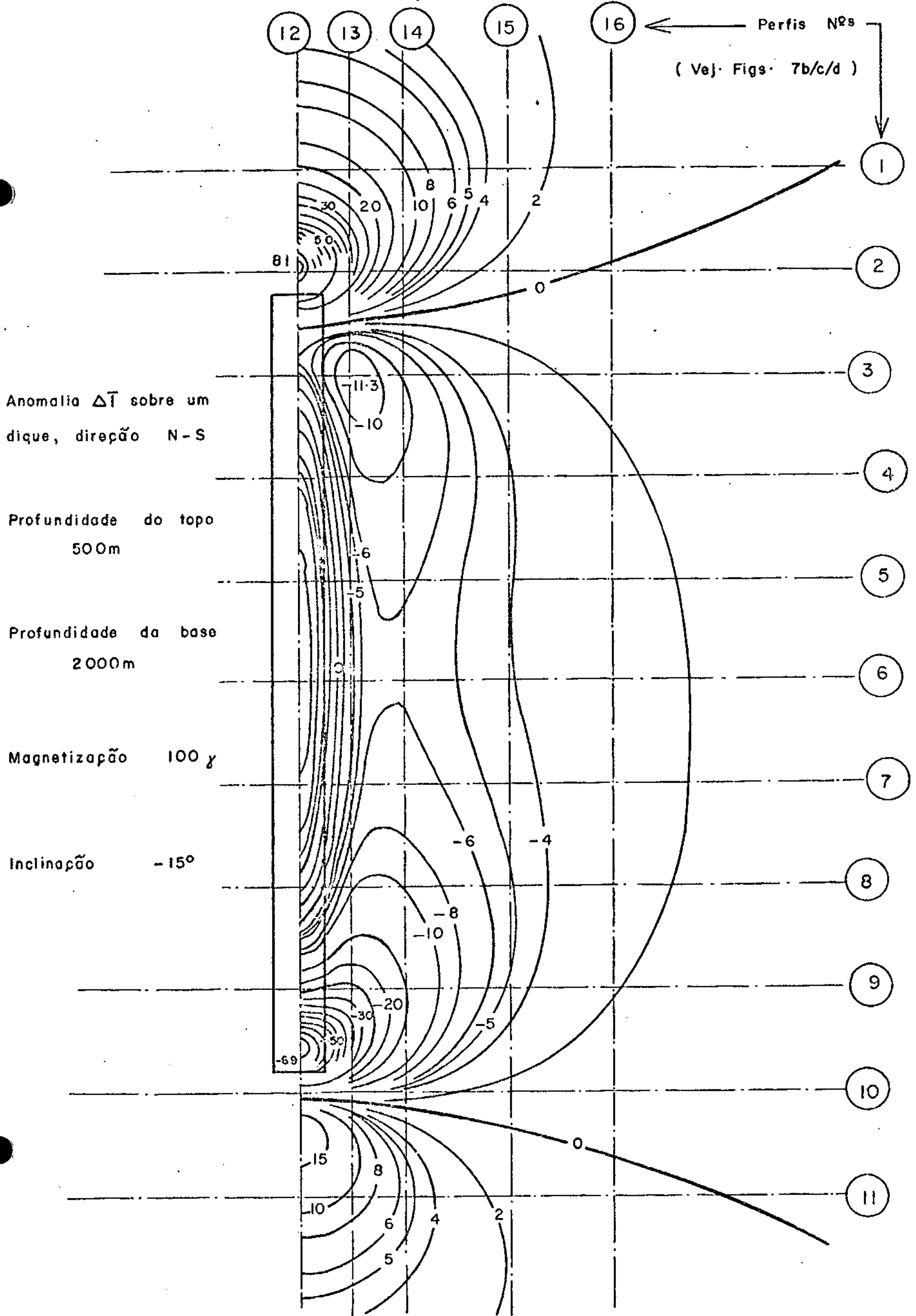
$t = 700 \text{ m}$



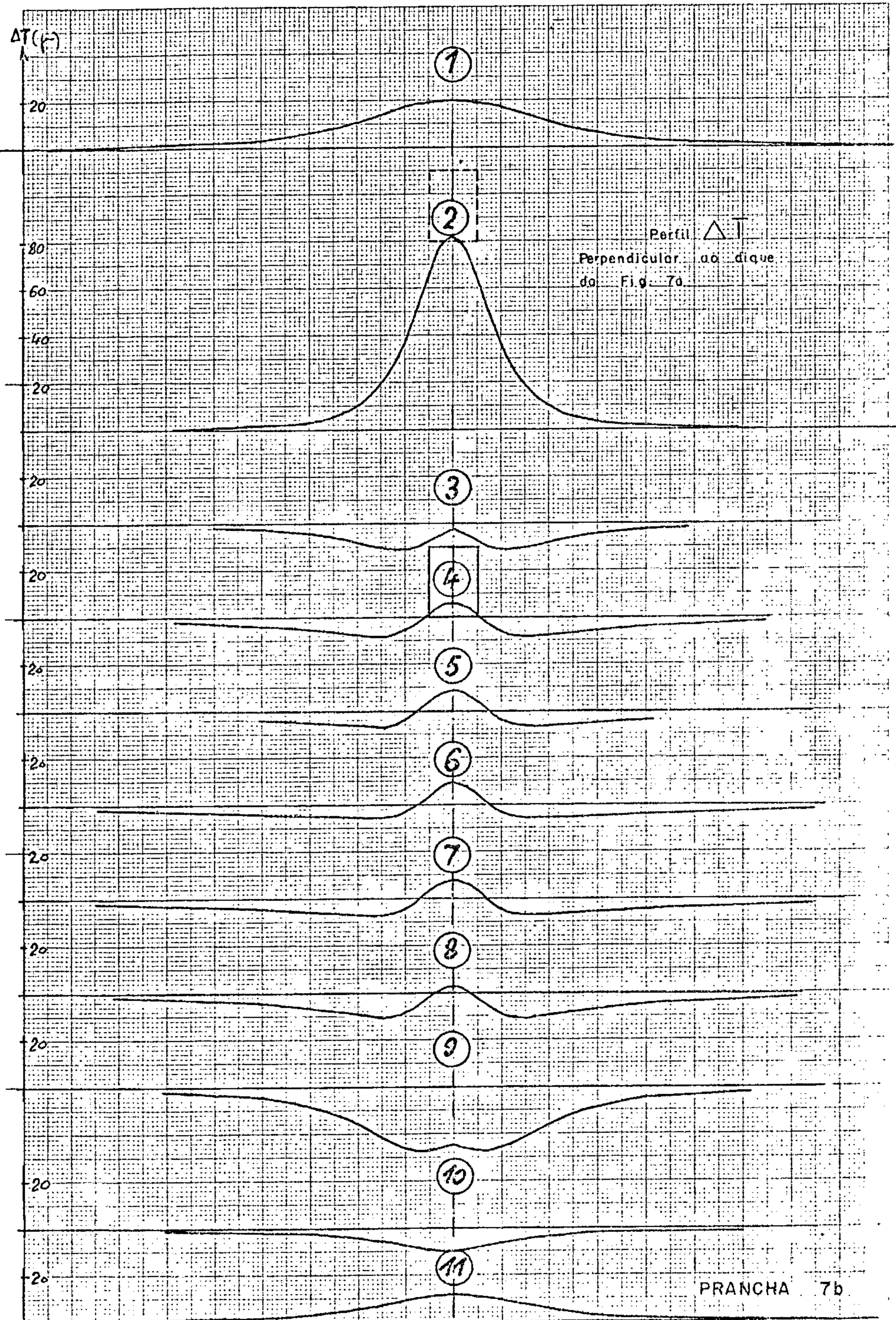
30- Isanômala de intensidade magnética total em Gammas

Planta do corpo modelo

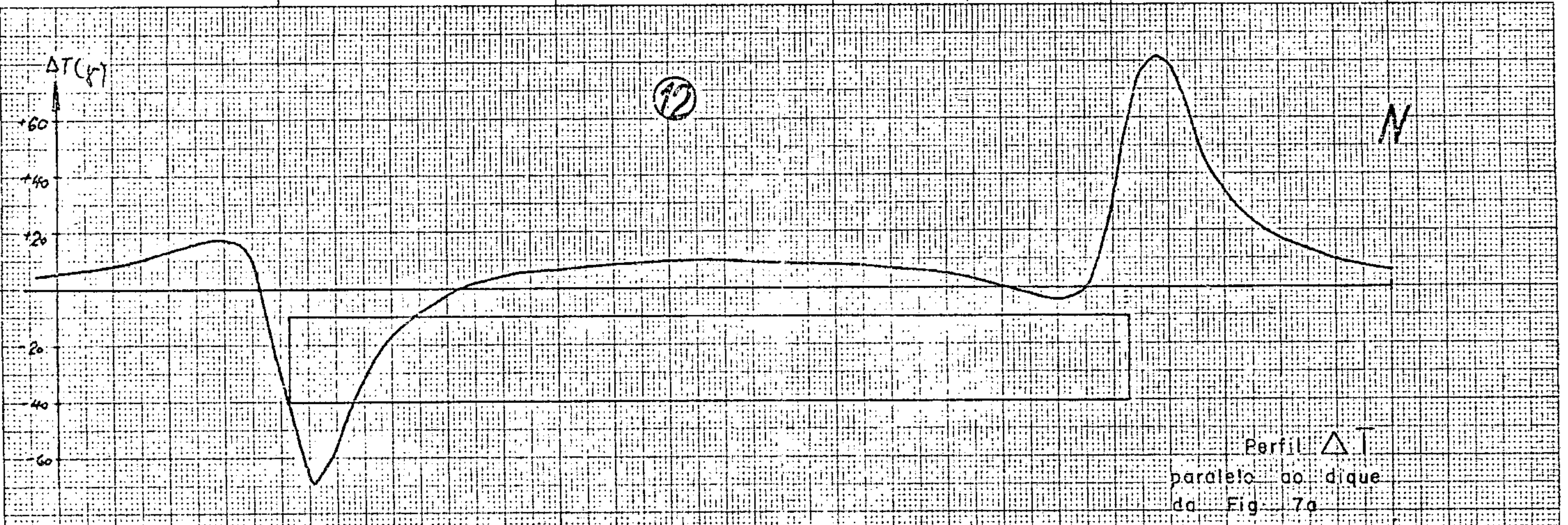




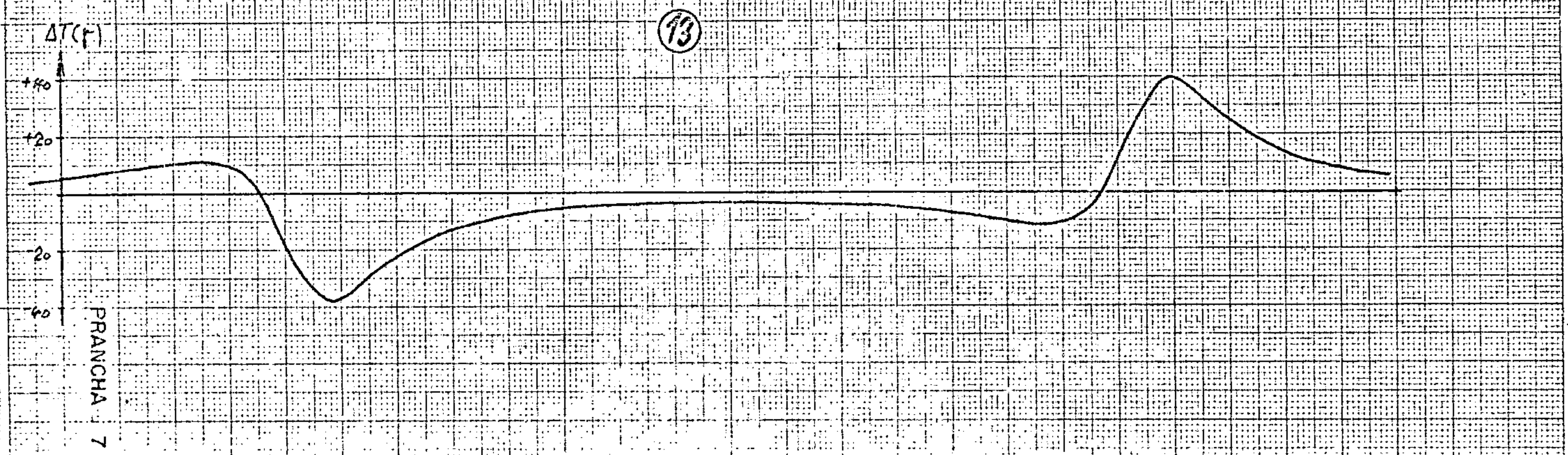
$\Delta T (^\circ F)$



PRANCHA 7b



Perfil  $\Delta T$   
paralelo ao dique  
da Fig. 7a



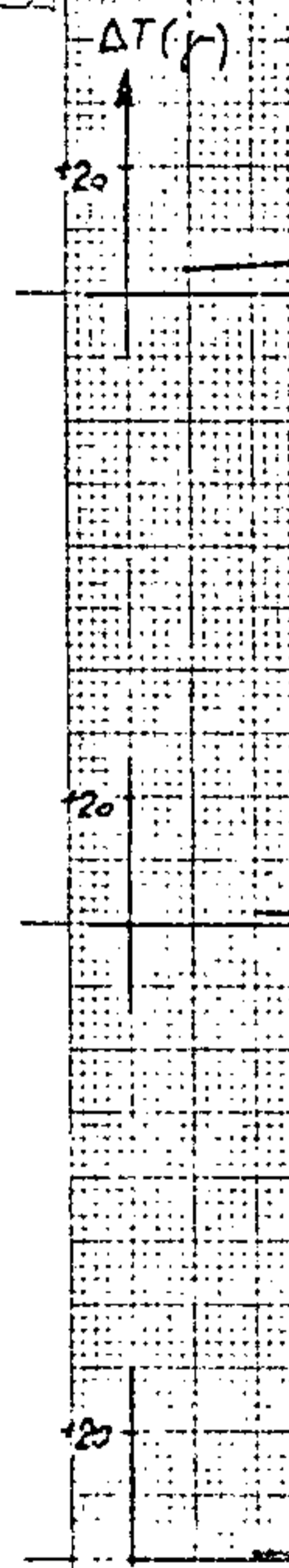
PRANCHAS 7c

MADE IN GERMANY

SPURDT

A 4 210 x 297 mm

14



74

N

15

Perfil  $\Delta T$   
paralelo ao dique  
da Fig. 7a

16

PRANCHIA 7d

MADE IN GERMANY

chas 7c e 7d) à maior dimensão de um dique teórico. Pode-se concluir, que é possível uma correlação nítida das anomalias nos perfis orientados E-W (normais ao comprimento), mesmo quando estão bem separados; nos casos dos perfis N-S, mesmo quando bem próximos, corre-se o risco (dependendo da espessura e magnetização) da anomalia ser "mascarada", de modo que o corpo magnético não se manifeste nos mapas.

A partir desses exemplos, pode-se deduzir outro importante resultado: Os perfis de um levantamento regional (isto é, para uma relação d/t relativamente grande, > 4), devem ser posicionados normais à direção geológica regional predominante.

Em tais casos, os dados geológicos contribuem de modo decisivo para uma configuração representativa do campo magnético.

A aplicação do raciocínio exposto à nossa área de pesquisa leva a concluir que, considerando uma relação separação dos perfis/altura de vôo média de 5:1, (em casos extremos de 10:1, medidas radiométricas/magnéticas combinadas), e com base na direção geológica geral N-S (geográfica) esperada, uma orientação transversal (E-W) dos perfis de vôo deve fornecer as melhores informações.

Se, no entanto, se deseja uma detecção uniforme do campo magnético, não é conveniente utilizar uma relação d/t > 5; para a mesma separação de 2 km entre os perfis, deve-se escolher uma maior altura de vôo. Nesta decisão, devemos ter em mente o poder de resolução, ou seja, a possibilidade de obter configuração separada do campo magnético para corpos próximos, ou inversamente, identificação de corpos distintos a partir da forma da anomalia.

Como se pode facilmente mostrar com modelos teóricos -

(BOSUM, 1970), o poder de resolução tem a mesma ordem de grandeza da profundidade do corpo, isto é, somente poderão se manifestar separadas as anomalias de corpos cuja separação mútua seja maior que a distância dos mesmos ao nível de medida. Para obter um maior poder de resolução, deve-se voar o mais baixo possível. Deve-se decidir, em cada caso, qual objetivo tem prioridade: a resolução ou a clareza dos mapas.

Recentemente propos-se uma solução: associar baixa altura de vôo, isto é, alta resolução, com boa clareza dos mapas, submetendo primeiro os dados de medida obtidos a um processo de suavização (ou filtragem) em um computador; dessa maneira obtém-se, por um lado, representação cartográfica adequada e ao mesmo tempo pode-se derivar e utilizar particularidades das anomalias diretamente nos perfis. Não se analisou ainda, no entanto, qual a ordem de grandeza dos falseamentos e distorções, de influência direta na interpretação, produzidos no campo magnético por este método.

Neste projeto, adotamos a sistemática de aumentar a resolução das anomalias interessantes através de medidas de perfis na superfície do solo; com este processo é possível estabelecer uma estruturação bem detalhada de corpos aflorantes (ou subaflorantes).

Em princípio, as considerações apresentadas até o momento valem apenas para a magnetometria. No caso da radiometria aérea, apresenta-se como grandeza física de primeiro plano a absorção da radiação gama no solo e no ar, que afeta de modo diferente a execução do levantamento.

Ela está condicionada a dois fenômenos: de um lado, as anomalias radiativas definem somente a cobertura superior do solo até a profundidade máxima de 1 m - a radiação gama das

regiões mais profundas é absorvida; de outro lado, a radiação gama não produz anomalias definidas a grandes alturas. O limite superior de altura é de aproximadamente 200 m para ocorrências isoladas e no máximo de 500 m para regiões radiativas de grandes dimensões.

Considerando a absorção no solo e a diminuição no solo e a diminuição exponencial da radiação com a altura, pode-se formular uma regra empírica segundo a qual a radiação detetada no ar provém essencialmente de um cone com raio igual à altura de vôo. Isto significa que, no caso de altura de vôo de 200 m, abrange-se uma faixa do terreno com largura de 400 m. Em um levantamento de reconhecimento com altura de vôo de 200 m e separação entre os perfis de 2 km, como é o caso de áreas selecionadas deste projeto, abrange-se apenas 400 m (de uma faixa de 2000 m) radiometricamente, correspondente a 20% da faixa de terreno entre dois perfis.

Apesar disso, um levantamento de reconhecimento com medidas radiométricas tem seu valor. De um lado, serve para um "mapeamento" da área, utilizando as propriedades radiométricas das rochas aflorantes, e de outro lado, orienta a prospecção de urânio; com efeito, observado que ocorrências de urânio raramente aparecem em vizinhanças radiometricamente pouco perturbadas, mas pelo contrário as mesmas encontram-se preferencialmente em áreas que se destacam da vizinhança por um alto "background". Tais áreas são detetadas no levantamento regional e posteriormente prospectadas para ocorrências de urânio através de um levantamento de detalhe.

#### 2.4. NÍVEL DE MEDIDA

Levantamentos aerogeofísicos são executados em uma super

fície a altura constante sobre o nível do mar (uma superfície a altura "barometricamente" constante), ou a uma altura constante sobre o solo.

O primeiro método deve ser preferido no caso de levantamentos magnéticos, devido ao tipo de processamento de dados. Os valores medidos são reduzidos com a utilização dos perfis de controle (geralmente transversais aos perfis de medida e separados de 5-10 vezes a distância entre estes últimos), isto é, a variação magnética diurna é eliminada e todas as medidas são referidas a um determinado nível do campo geomagnético. Impõe-se, todavia, que as medidas nos pontos de cruzamento de cada perfil de medida com os perfis de controle se efetuem praticamente à mesma altura (a diferença não deve exceder a 20 m); tal condição é melhor atingida quando a superfície de medida é plana. Nos levantamentos a altura constantes sobre o solo ocorrem grandes desvios, especialmente em regiões montanhosas.

No caso de levantamentos radiométricos, prefere-se medidas a altura constante sobre o solo, a fim de minimizar a influência do relevo (diminuição da radiação com a altura, efeito geométrico da configuração da superfície do terreno, absorção no ar, etc).

A técnica de levantamento a utilizar - altura barometricamente constante ou altura constante sobre o solo - depende da prioridade de cada método, ou seja, da finalidade do levantamento.

No caso deste projeto, o levantamento regional foi executado a nível barometricamente constante: toda a área de pesquisa foi dividida em diversas áreas de medida, as quais foram sobrevoadas a diferentes altitudes; procurou-se assim ga



rantir a melhor qualidade possível dos mapas aeromagnéticos, que possuem prioridade em relação aos mapas aeroradiométricos.

Nos levantamentos de detalhe, pelo contrário, voou-se a altura (predominantemente) constante sobre o solo, o que propiciou uma menor altura de vôo, um maior poder de resolução e anomalias radiométricas imunes a efeitos topográficos muito grandes. Isto é importante para uma avaliação direta das anomalias através dos perfis analógicos, de vez que as anomalias de radiação gama representadas em mapa estão isentas de efeitos topográficos, eliminados durante o processamento de dados.

## 2.5. COMBINAÇÃO DE LEVANTAMENTOS AEROMAGNÉTICOS E AERORADIOMÉTRICOS

Na maioria dos casos, a combinação de métodos geofísicos diferentes em uma mesma aeronave para obtenção simultânea de dados constitui um compromisso entre os requisitos de cada método. Isto é válido especialmente para os levantamentos de reconhecimento, como se pode concluir das análises acima. No nosso caso, a aeromagnetometria exige uma altura de vôo barometricamente constante, com o avião a uma distância média de 400 m sobre o solo; a aeroradiometria, por sua vez, requer vôo a altura constante sobre o solo, a uma distância relativamente menor.

Como a prioridade de objetivo no presente projeto, qual seja o de obter dados estruturais do subsolo, pertence à magnetometria, esta determinou a técnica de levantamento. Levantamentos radiométricos combinados com magnéticos somente foram executados nas áreas onde as condições topográficas permitem a manutenção de uma superfície de vôo constante a uma

baixa altura de vôo sobre o solo.

## 2.6. CONSIDERAÇÕES GERAIS - DURAÇÃO E CUSTO

As discussões anteriores, aplicadas a nosso problema, conduziram às seguintes especificações técnicas sobre a pesquisa aerogeofísica regional:

A aeromagnetometria tem a prioridade quando se quer obter conhecimentos sobre o arcabouço geológico; a combinação com a radiometria aérea só deve ser executada nas áreas de relevo favorável.

### Separação dos perfis

|  |   |                      |          |
|--|---|----------------------|----------|
| Levantamento regional: perfis de medida          | : | 2 000 m              |          |
|  |   | perfis de controle : | 20 000 m |
| Levantamento de detalhe (dependendo do objetivo) | : | 200 a 400 m          |          |

### Direção de vôo

|                         |   |   |
|-------------------------|---|---|
| Levantamento regional   | : | E-W geográfico (referente à direção geológica regional N-S)                             |
| Levantamento de detalhe | : | em cada caso, perpendicular à direção dominante das anomalias do levantamento regional. |

### Altura de vôo

Diferente para cada área de medida, em média 400-500 m sobre o solo.

200 m sobre o solo, no caso de um levantamento combinado

### Superfície de vôo

Levantamento regional : barométricamente constante, diferente em cada área de medida

Levantamento de detalhe : altura de vôo constante sobre

o solo.

Um cálculo aproximado mostra que, com levantamentos de reconhecimento executados nas condições expostas, ainda se pode detectar corpos em forma de chaminé com diâmetro de 400 m (300 m) - situados lateralmente até a 1000 m do perfil (caso mais desfavorável) e a profundidades de até 400 m sob o solo - desde que tenham magnetização de 100 gamas (200  $\gamma$ ) e se adote um limite de detetabilidade de até 10  $\gamma$ .

Números correspondentes valem para corpos em forma de placa sobrevoados nas mesmas condições, desde que tenham espessura de 100 m (50 m) e magnetização de 100 (200  $\gamma$ ).

A qualidade dos resultados obtidos confirma o acerto dos conceitos e especificações acima. Os mapas mostram uma clareza muito boa, o que significa que o campo magnético pôde ser reproduzido de maneira representativa, com uma relação separação dos perfis/altura de voo -  $d/t$  de 4:1 a 5:1. Somente em algumas áreas, e precisamente naquelas onde se voou muito baixo devido à combinação com a radiometria, faz-se perceptível a relação extremamente desfavorável  $d/t \sim 10:1$ .

Com base nos bons resultados do levantamento regional, pôde-se definir com precisão os limites das áreas para levantamentos de detalhe. Foi o caso das áreas de Umburatiba, Pequim (Serra Grande) e Serro, que foram levantadas em detalhe devido a seu interesse e para obtenção de particularidades.

Por sua vez, a execução de levantamentos de detalhe, por se ter utilizado uma relação  $d/t$  muito grande no levantamento de reconhecimento, só foi necessária na região oeste, onde se destaca a região de Monte Carmelo/Coromandel como a mais interessante. Esta região, contudo, foi coberta por levantamen

to de detalhe com helicóptero que, além de equipamento para magnetometria e radiometria, possui também sistemas eletromagnéticos; aqui, foi recomendável o emprego de métodos eletromagnéticos para investigação de possíveis mineralizações de sulfetos.

Foi obtido, sem incluir o levantamento com o helicóptero (com outros objetivos), um total de 13 000 km de perfis de detalhe para 345 000 km de levantamentos de reconhecimento, resultando numa relação de 4/100 ou 4%; esta proporção está bem abaixo dos 10% calculados para casos normais de levantamentos aerogeofísicos regionais.

Na tabela 1, expõem-se para comparação, os dados dos conhecidos tipos de levantamento, a fim de obter uma noção sobre duração e custo de diferentes técnicas de levantamentos regionais. Estes dados se referem tanto a levantamentos de reconhecimento que, como mencionado acima, acarretam levantamentos de detalhe em áreas de interesse, como a levantamentos de países executados nos moldes de um levantamento de detalhe.

Levantamentos de reconhecimento, empregados para problemas geológicos e para prospecção mineral, utilizam uma separação entre os perfis de 2 km (Alemanha Ocidental, Dahomé, Grã-Bretanha) ou também de 1 km (1/2 milha no Canadá).

Tabela 1: Comparação de custos e duração de levantamentos regionais.

MINAS GERAIS E ESPIRITO SANTO

| Tipo de pesquisa | Sep. dos perfis (m) | Número de aviões | Km de perfis ( $\times 10^3$ ) | Área total ( $10^3 \text{ km}^2$ ) | Tempo (anos) | (1) custo ( $10^6 \text{ Cr\$}$ ) |
|------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Reconhec.        | 2 000               | 1-2              | 345                            | 570                                | 2,5          | 51,75                             |
| + Detalhe        | 1 000               |                  | 690                            |                                    | 5,0          | 103,50                            |
| Detalhe          | 400                 |                  | 1.725                          |                                    | 12,5         | 258,75                            |
|                  | 200                 |                  | 3.450                          |                                    | 25,0         | 517,50                            |

BRASIL

| Tipo de pesquisa | Sep. dos perfis (m) | Número de aviões | Km de perfis ( $\times 10^3$ ) | Área <sup>(2)</sup> total ( $10^3 \text{ km}^2$ ) | Tempo (anos) | (1) Custo ( $10^6 \text{ Cr\$}$ ) |
|------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|---|--------------|-----------------------------------|
| Reconhec.        | 2 000               | 1-2              | 5.000                          | 8.000   | 40           | 750,00                            |
| + Detalhe        | 1 000               |                  | 10.000                         |   | 80           | 1.500,00                          |
| Detalhe          | 400                 |                  | 25.000                         |   | 200          | 3.750,00                          |
|                  | 200                 |                  | 50.000                         |   | 400          | 7.500,00                          |

(1) Custo aproximado, uma vez que o preço muda com o decorrer do tempo e depende de diversos fatores, como a combinação de magnetometria e radiometria. Como base de cálculo, adotamos custo de CR\$ 150,00/km.

(2) Excluiu-se uma grande área, correspondente à bacia do Paraná; é possível que outras regiões, como a bacia amazônica e a bacia do Maranhão (parte) devam também ser excluídas.

Levantamentos de países nos moldes de levantamentos de detalhe tem sido executados nos países escandinavos (Suécia, Finlândia) com uma separação de 200 m entre os perfis.

Uma vez que, mesmo em áreas de relevo favorável, uma tal separação é impraticável aqui no Brasil, deve-se adotar como premissa um levantamento de detalhe com separação de 400m. Além disso, para a confecção dos dados da tabela, parte-se do pressuposto que o número e emprego de aviões será como no CGBA, isto é, duas aeronaves na primeira fase para 2/3 da área, e uma aeronave para completar o restante.

Os dados obtidos em Minas Gerais foram extrapolados para todo o Brasil em tabela separada. Nada melhor que essa tabela para demonstrar que, para um país com tão grande superfície, um levantamento geofísico sistemático só tem sentido e é econômico - considerando-se o custo e duração - quando se utiliza um levantamento de reconhecimento seguido de levantamento de detalhe.

### 3. INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA

#### 3.1. AEROMAGNETOMETRIA

##### 3.1.1. Métodos matemáticos de interpretação

Os métodos matemáticos de interpretação utilizam corpos modelos, que possuem forma simples ou de fácil tratamento matemático (placa, cilindro, entre outros). Eles têm significado geológico (mesmo nos casos de cilindro de base circular, esfera), quando se introduz o conceito de equivalência (geofísica): a anomalia de um corpo modelo não varia dentro de limites de erro admissíveis, quando o desvio estatístico do corpo real em relação ao contorno do modelo é menor que a ordem de grandeza da profundidade (e o ponto principal e a linha de pontos principais não se altera).

Relaciona-se a seguir os tipos principais de corpos-modelos, com as correspondências geológicas e matemáticas:

- a) Corpo cuja espessura é grande em relação à profundidade de seu topo sob o nível de medida, se estende bastante ao longo de seu comprimento e atinge grandes profundidades (geologicamente: dique ou camada espessa; matematicamente: placa espessa com extensão vertical e horizontal infinita).
- b) Corpo cuja espessura é igual ou menor que a profundidade de seu topo, se alonga bastante no comprimento e atinge grandes profundidades (geologicamente: dique ou camada delgada; mate

maticamente: placa delgada com extensão vertical e horizontal infinita).

- c) Corpo cujas dimensões na superfície são menores ou iguais à profundidade de seu topo e atinge grandes profundidades (geologicamente: chaminé; matematicamente: cilindro de base circular, vertical e inclinado).
- d) Corpo alongado em uma direção horizontal e cujas outras dimensões são pequenas em relação à profundidade sob o nível de medida (geologicamente: diques ou camadas curtas e rasas; matematicamente: cilindro circular horizontal).
- e) Corpo cujas dimensões são pequenas em relação à profundidade sob o nível de medida (geologicamente: corpos em forma de bolsões; matematicamente: esfera).

As anomalias isoladas são interpretadas através de corpos bi-dimensionais (designação matemática para corpos alongados no comprimento) e corpos tri-dimensionais.

Em primeiro lugar, amostra-se nos mapas de isomalias o campo magnético ao longo de perfis transversais à direção predominante da anomalia. Adotam-se corpos bi-dimensionais apropriados (cilindro, placas delgadas finitas e infinitas, placa espessa, degrau), cujas anomalias são comparadas com a curva medida, variando a forma e atitude dos modelos, até que as curvas medidas e calculadas apresentem boa concordância. Este processo de iteração foi programado pelo método de mínimos quadrados para cálculo em computador (BOSUM, 1968) e funciona auto



maticamente. Com ele, o computador geralmente determina a geometria e magnetização (ou grandezas equivalentes, p. ex. produto magnetização x espessura, no caso de placa delgada) do corpo (exemplos pranchas 8a e 8b).

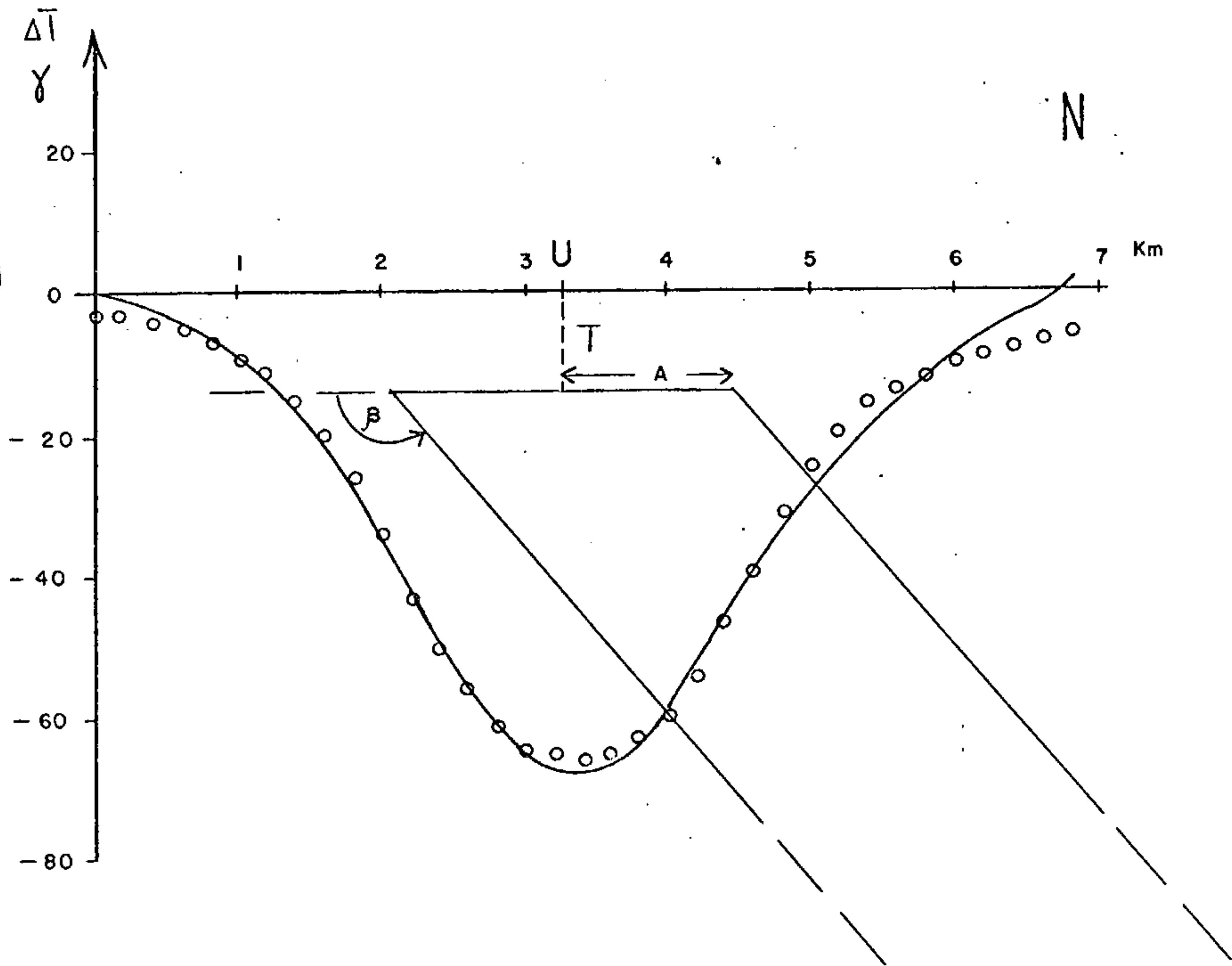
Se for necessário investigar outras particularidades, como inclinação ou deslocamentos do corpo, ou se a partir da forma da anomalia, se pode inferir que um corpo bi-dimensional não fornece uma interpretação satisfatória, constroi-se um corpo tri-dimensional a partir da aproximação bi-dimensional precedente e sua anomalia é comparada através de tentativas com a anomalia medida (KIND, 1964).

A interpretação matemática fornece, portanto, em primeiro lugar, parâmetros geométricos do corpo, mas também valores de magnetização, que constitui um parâmetro físico de rochas, indicativo da natureza geológica do corpo.

Para uma primeira avaliação do mapa de isanomas é útil ter em mente a forma das anomalias de diferentes modelos de corpos. Eis porque iremos tratar primeiro das diversas curvas teóricas (pranchas 3, 7 e 9 a 25) referentes a modelos bi e tri-dimensionais, considerando-se uma magnetização normal (paralela à do campo geomagnético).

A parte superior da prancha 9 mostra as anomalias  $\Delta T$  de placas delgadas, com diferentes mergulhos ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$  N,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$  S). O modelo para um mergulho de  $0^\circ$  corresponde igualmente ao de degraus magnetizados que em um caso se encontra na extremidade sul, e em outro caso, na extremidade norte do corpo.

PERFIL Nº 1031



Parametros calculados do corpo modelo  
com margem de erros

Exemplo de uma interpretação baseada  
no metodo dos minimos quadrados

Representação dos resultados  
da Fig - 8a

$U = 3270 \pm 40 \text{ m}$


$\bar{T} = 700 \pm 40 \text{ m}$

$J = 20 \pm 1 \gamma$

$A = 1200 \pm 50 \text{ m}$

$\beta = 130^\circ \pm 2^\circ$

J = MAGNETIZAÇÃO

 CURVA MEDIDA

 CURVA CALCULADA

Exemplo de uma interpretação baseada no método dos mínimos quadrados.

Incógnitas: (V. prancha 8a)

|   |       |   |             |
|---|-------|---|-------------|
| 1 | U [m] | 4 | A [m]       |
| 2 | T [m] | 5 | $\beta$ [°] |
| 3 | J [°] |   |             |

ANNAEHERUNG DURCH BREITE GANGE

PROFIL NR. 1031

WAHRE INKLINATION - 17.0 GRAD ALFA 2.0 GRAD

IN PROFILRICHTUNG PROJIZIERTE INKLINATION - 17.0 GRAD

FUER T UMGERECHNETE INKLINATION - 124.0 GRAD

FEHLER DER UNBEKANNTEN DER VORHERGEHENDER ITERATION

0.567E 02 2 0.631E 02 3 0.162E 01 4 0.693E 02 5 0.233E 01

UNBEKANNTEN

1 0.328E 04 2 0.683E 03 3 0.197E 02 4 0.122E 04 5 0.128E 03

SUMME V\*\*2 0.283E 03

FEHLER DER UNBEKANNTEN DER VORHERGEHENDEN ITERATION

1 0.512E 02 2 0.534E 02 3 0.128E 01 4 0.539E 02 5 0.211E 01

UNBEKANNTEN

1 0.327E 04 2 0.690E 03 3 0.202E 02 4 0.121E 04 5 0.128E 03

SUMME V\*\*2 0.245E 03

FEHLER DER UNBEKANNTEN DER VORHERGEHENDEN ITERATION

1 0.428E 02 2 0.451E 02 3 0.112E 01 4 0.459E 02 5 0.176E 01

UNBEKANNTEN

1 0.327E 04 2 0.690E 03 3 0.202E 02 4 0.121E 04 5 0.129E 03

SUMME V\*\*2 0.174E 03

FEHLER DER UNBEKANNTEN DER VORHERGEHENDEN ITERATION

1 0.426E 02 2 0.448E 02 3 0.112E 01 4 0.457E 02 5 0.175E 01

UNBEKANNTEN

1 0.327E 04 2 0.690E 03 3 0.203E 02 4 0.121E 04 5 0.129E 03

SUMME V\*\*2 0.173E 03

FEHLER DER UNBEKANNTEN DER VORHERGEHENDEN ITERATION

1 0.426E 02 2 0.448E 02 3 0.112E 01 4 0.458E 02 5 0.175E 01

UNBEKANNTEN

1 0.327E 04 2 0.691E 03 3 0.203E 02 4 0.121E 04 5 0.129E 03

SUMME V\*\*2 0.127E 03

THEORETISCHE FELDWERTE

UNBEKANNTEN 35

|      |      |      |       |       |       |       |       |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -3.  | -3.  | -4.  | -5.   | -7.   | -9.   | -11.  | -15.  |
| -20. | -26. | -34. | -43.  | -50.  | -56.  | -61.  | -64.  |
| -65. | -65. | -65. | -63.  | -60.  | -54.  | -47.  | -39.  |
| -31. | -25. | -20. | -16.  | -14.  | -12.  | -10.  | -9.   |
| -8.  | -7.  | -6.  | -253. | -253. | -253. | -253. | -253. |

FEHLER DER UNBEKANNTEN DER VORHERGEHENDEN ITERATION

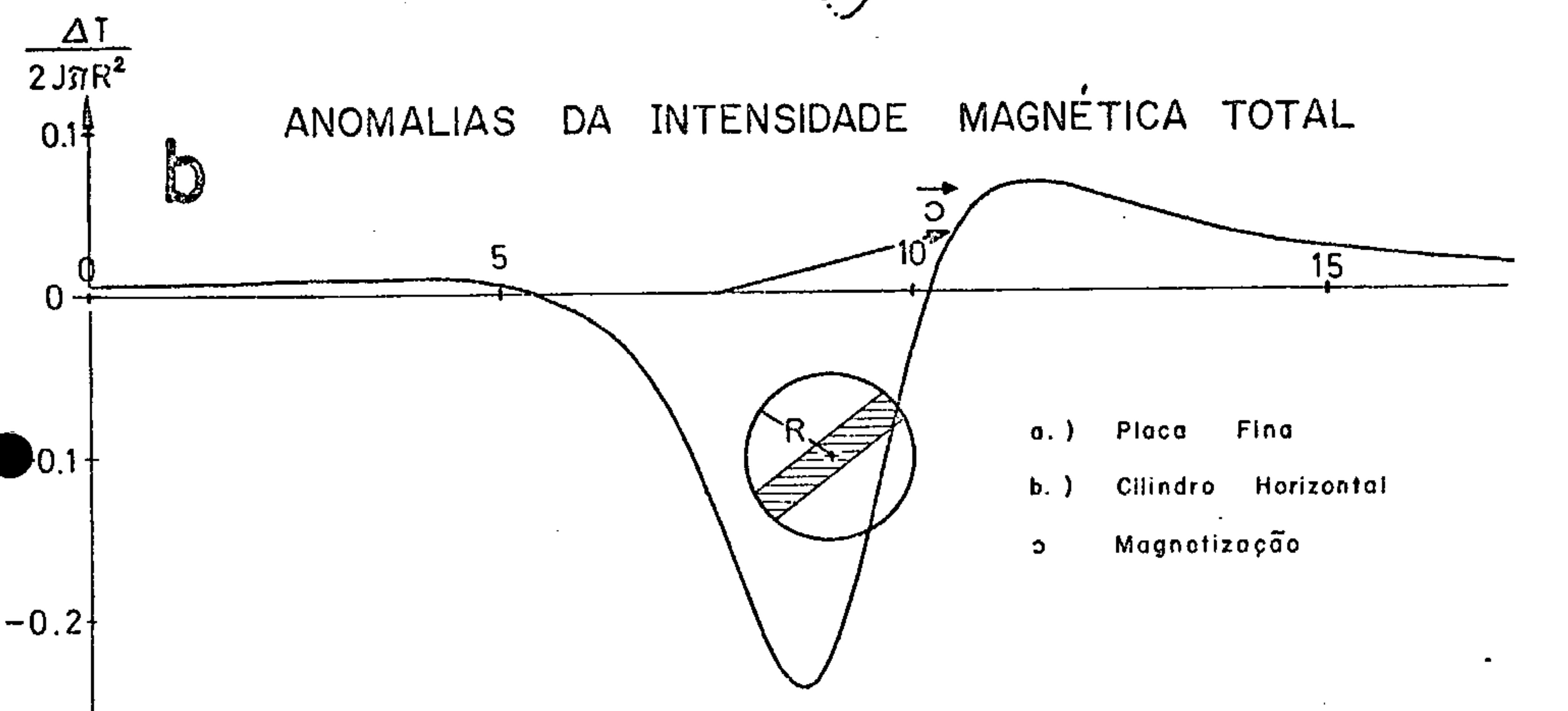
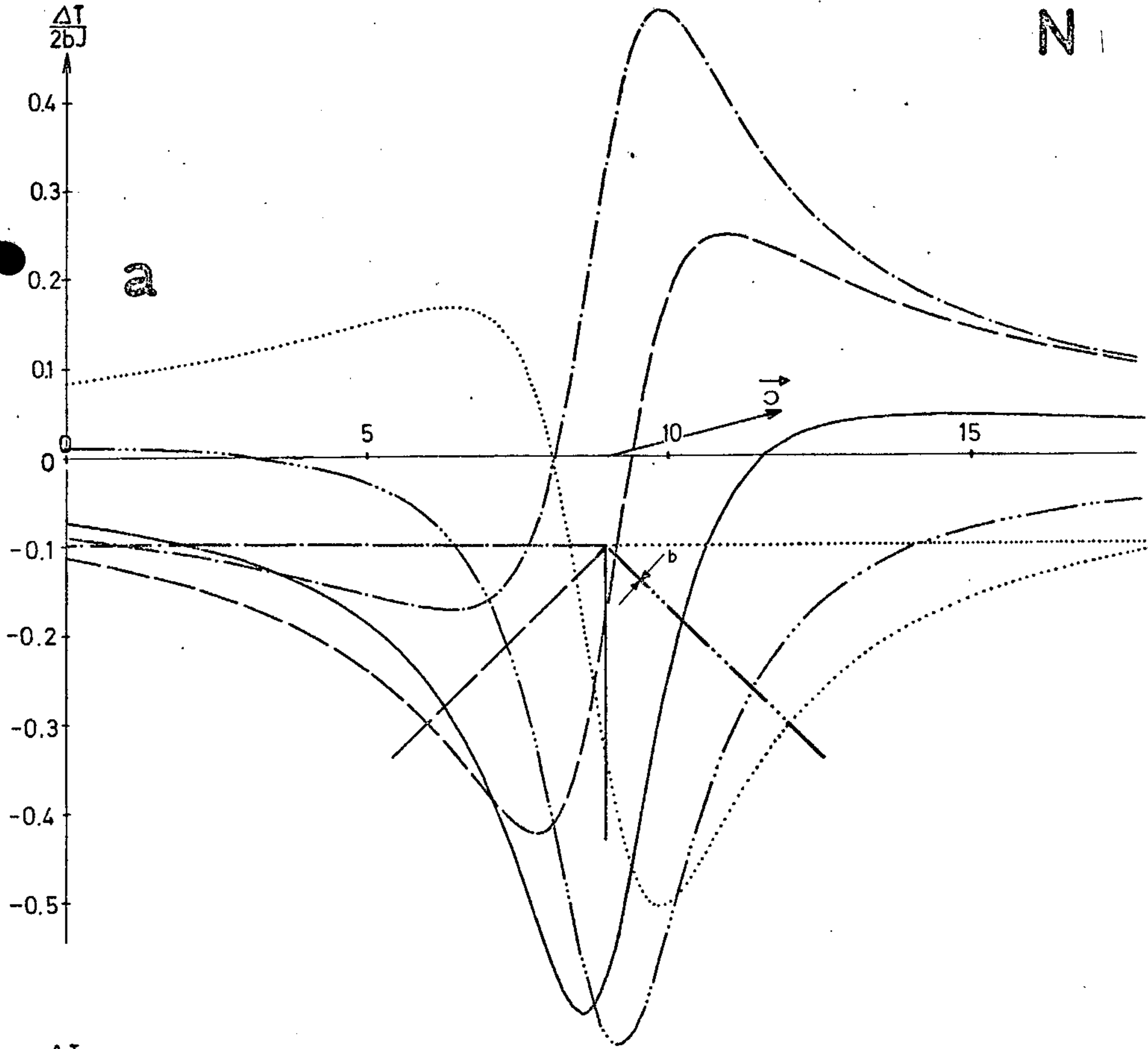
1 0.426E 02 2 0.448E 02 3 0.112E 01 4 0.458E 02 5 0.175E 01

UNBEKANNTEN

1 0.327E 04 2 0.691E 03 3 0.203E 02 4 0.121E 04 5 0.129E 03

SUMME V\*\*2 0.172E 03

N



ANOMALIAS DA INTENSIDADE MAGNÉTICA TOTAL

- a.) Placa Fina
- b.) Cilindro Horizontal
- c. Magnetização

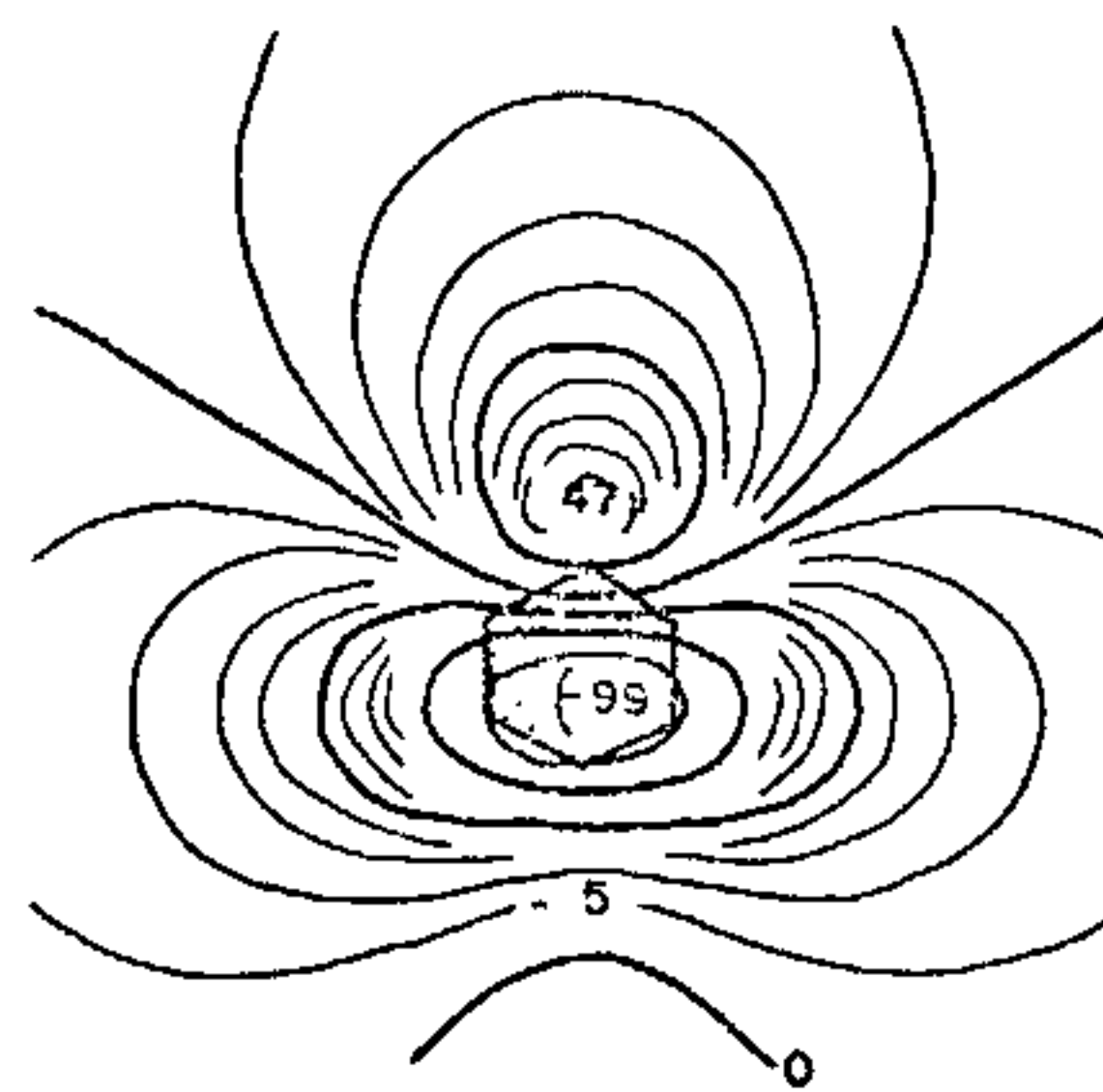
Observa-se que a relação máximo/mínimo da anomalia magnética varia com o mergulho da placa. Anomalias predominantemente negativas ocorrem com mergulho forte para norte. Com mergulho para norte muito fraco aparece um fraco máximo a sul. Se o corpo mergulha para S, ocorre a N um máximo tão forte como o mínimo. Uma placa horizontal ou com pequeno mergulho para S possui a N um máximo mais intenso que o mínimo.

Inversamente, na determinação de um corpo de extensão vertical infinita, a partir da anomalia só se pode deduzir o seu mergulho adotando previamente uma inclinação para a magnetização.

Na parte inferior da prancha 9 representa-se a anomalia  $\Delta T$  sobre um cilindro de base circular. Ela é constituída de um forte mínimo, que a N é acompanhado por um fraco máximo. Como foi explicado, este modelo matemático corresponde geologicamente a um corpo cuja seção transversal é pequena em relação à sua profundidade sobre o terreno. Pode constituir, por exemplo, um corpo em forma de dique de pequena seção, como está hachurado na prancha 9.

Nas pranchas 10 a 25 representam-se as anomalias de corpos-modelos tridimensionais. Devido à quantidade de casos existentes é naturalmente impossível apresentar um atlas completo de modelos. Temos que nos limitar a alguns modelos especiais, suficientes para a interpretação, através de corpos tridimensionais, das anomalias que possuem maior interesse e não podem ser calculados com modelos simples.

Estudou-se os seguintes modelos: corpo em forma



### MODELO CHAMINÉ - CURVA TEÓRICA

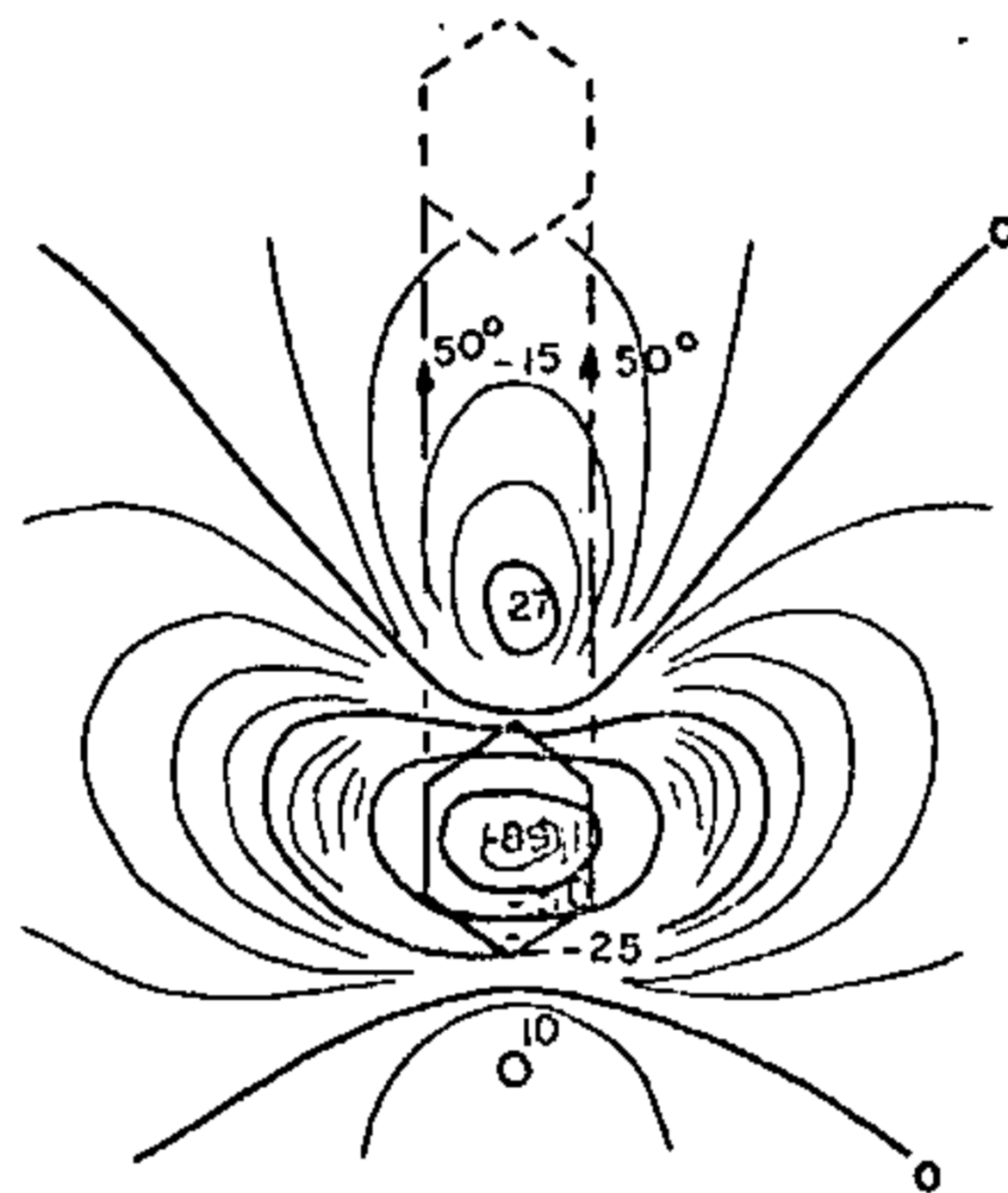
Inclinação =  $-15^\circ$   
 Magnetização = 100  $\gamma$   
 Profundidade = 400 m

30  
 Isanômala da intensidade  
 magnética total em Gammas

0 5 Km



Planta do corpo modelo



## MODELO CHAMINÉ INCLINADO - CURVA TEÓRICA

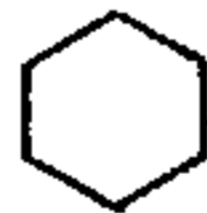
Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

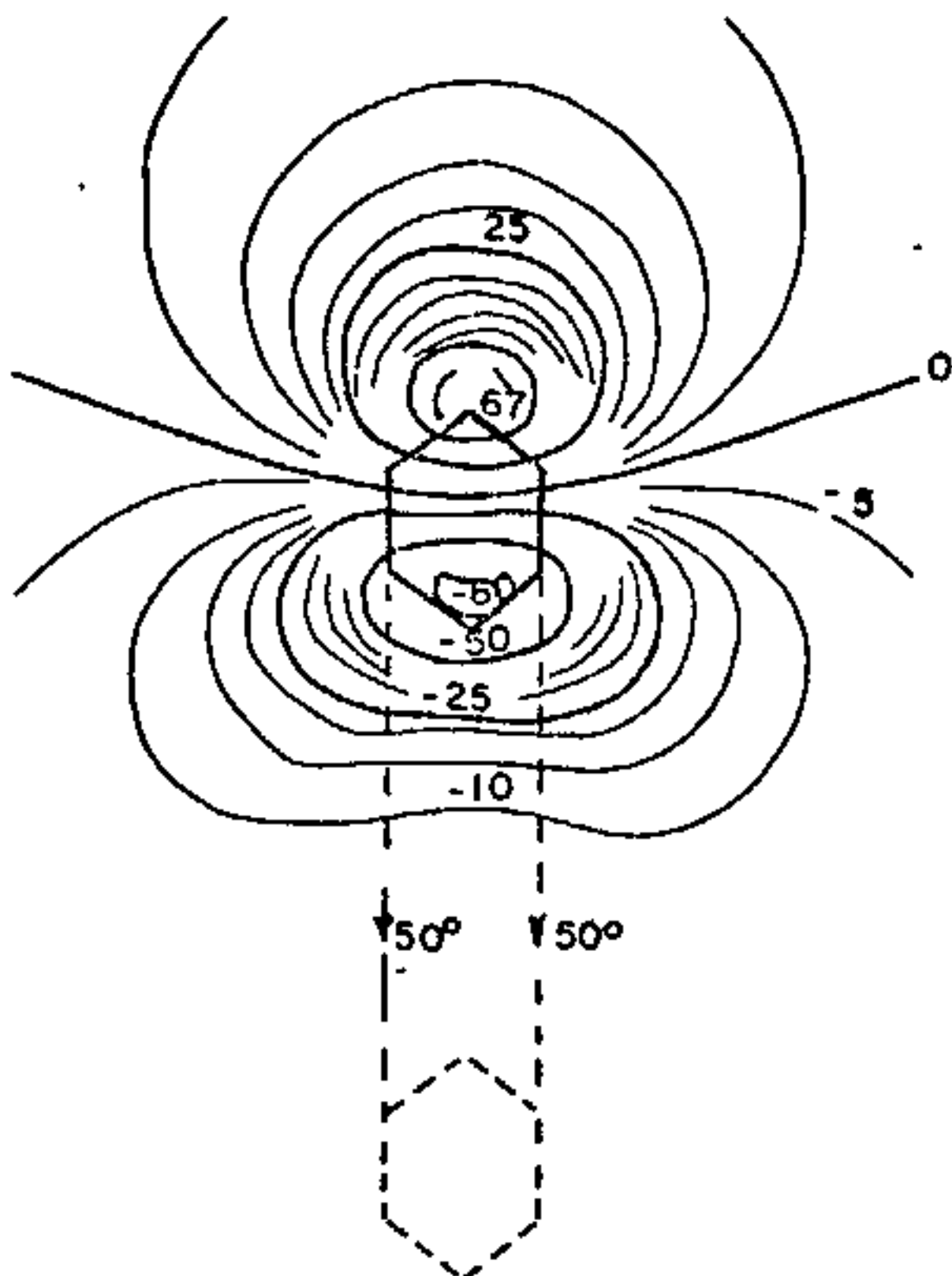
Profundidade = 400 m

30  
Isanômala da intensidade  
magnética total em Gammas

0 5 Km



Planta do corpo modelo



### MODELO CHAMINÉ INCLINADO - CURVA TEÓRICA

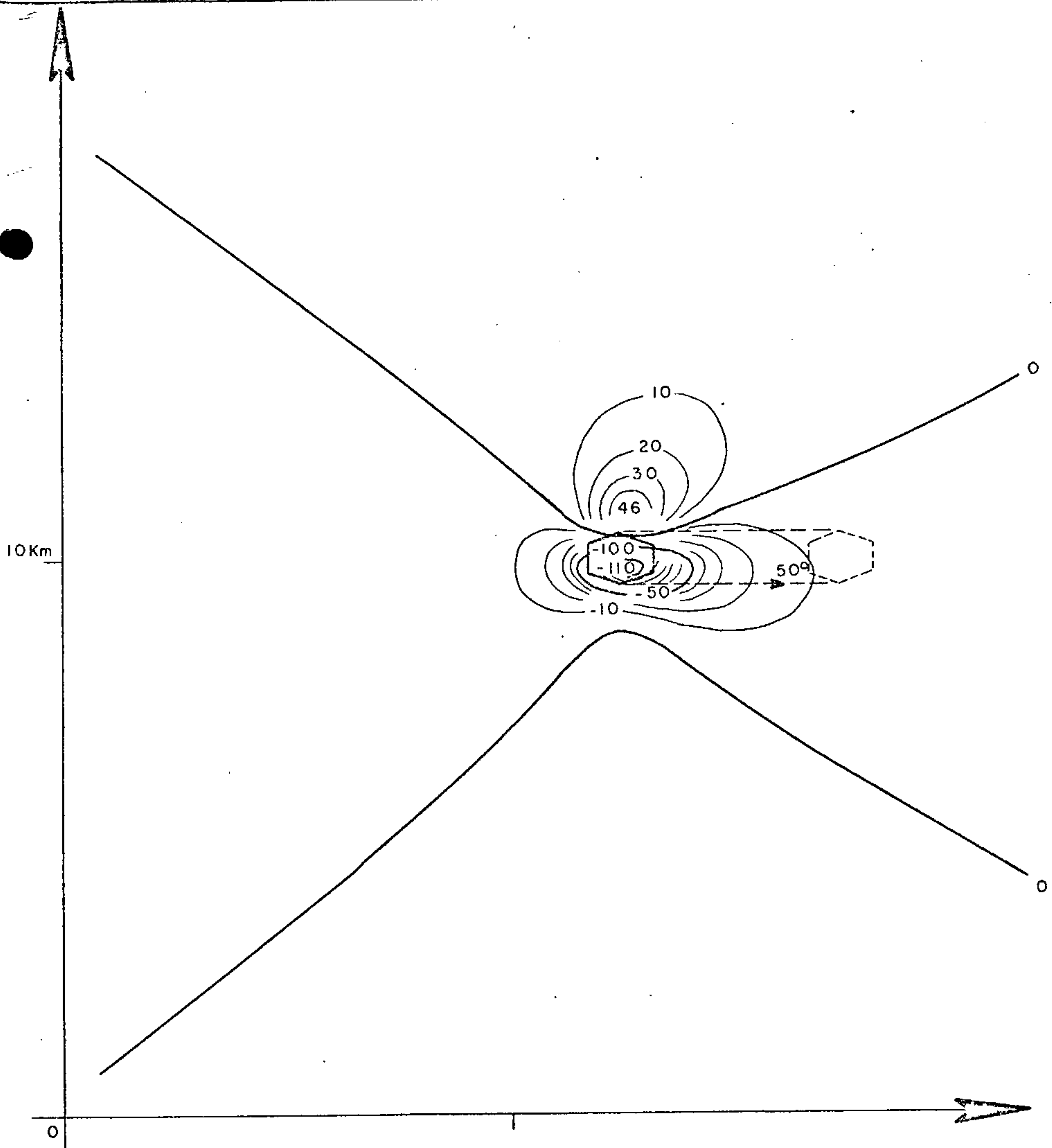
Inclinação =  $-15^\circ$   
 Magnetização =  $100 \gamma$   
 Profundidade = 400m

30  
 Isanômala da intensidade  
 magnética total em Gammas

0 5 Km

Planta do corpo modelo



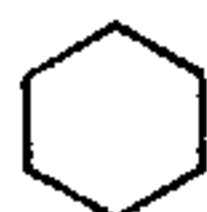


MODELO CHAMINÉ INCLINADO - CURVA TEÓRICA

Inclinação =  $-15^\circ$   
 Magnetização =  $100 \gamma$   
 Profundidade = 400m

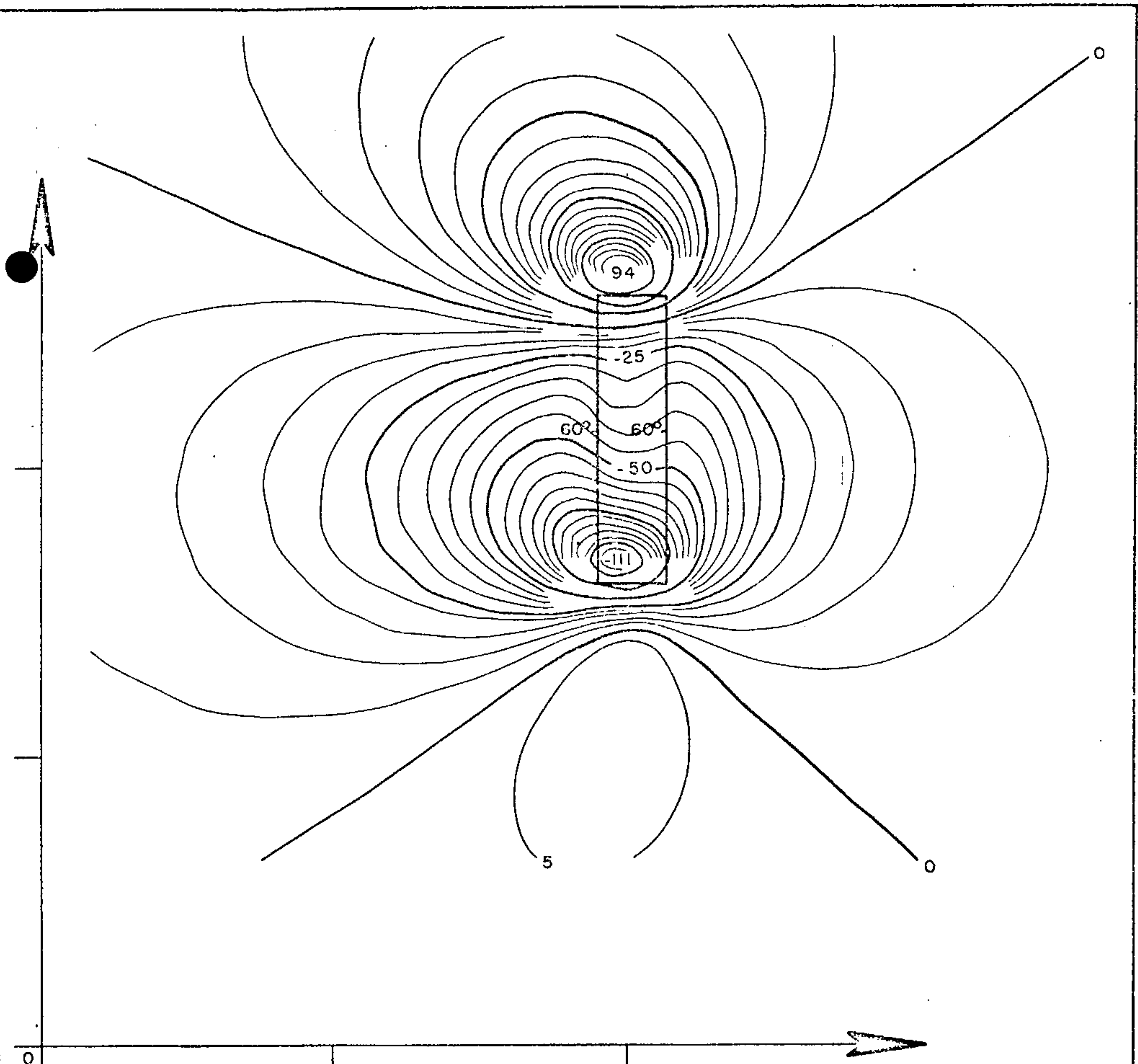
Isanômata da intensidade magnética total em Gammas

0 5 Km



Planta do corpo modelo

PRANCHA 13



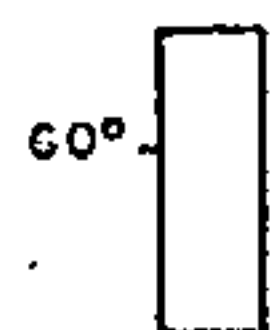
MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

Inclinação = - 15°

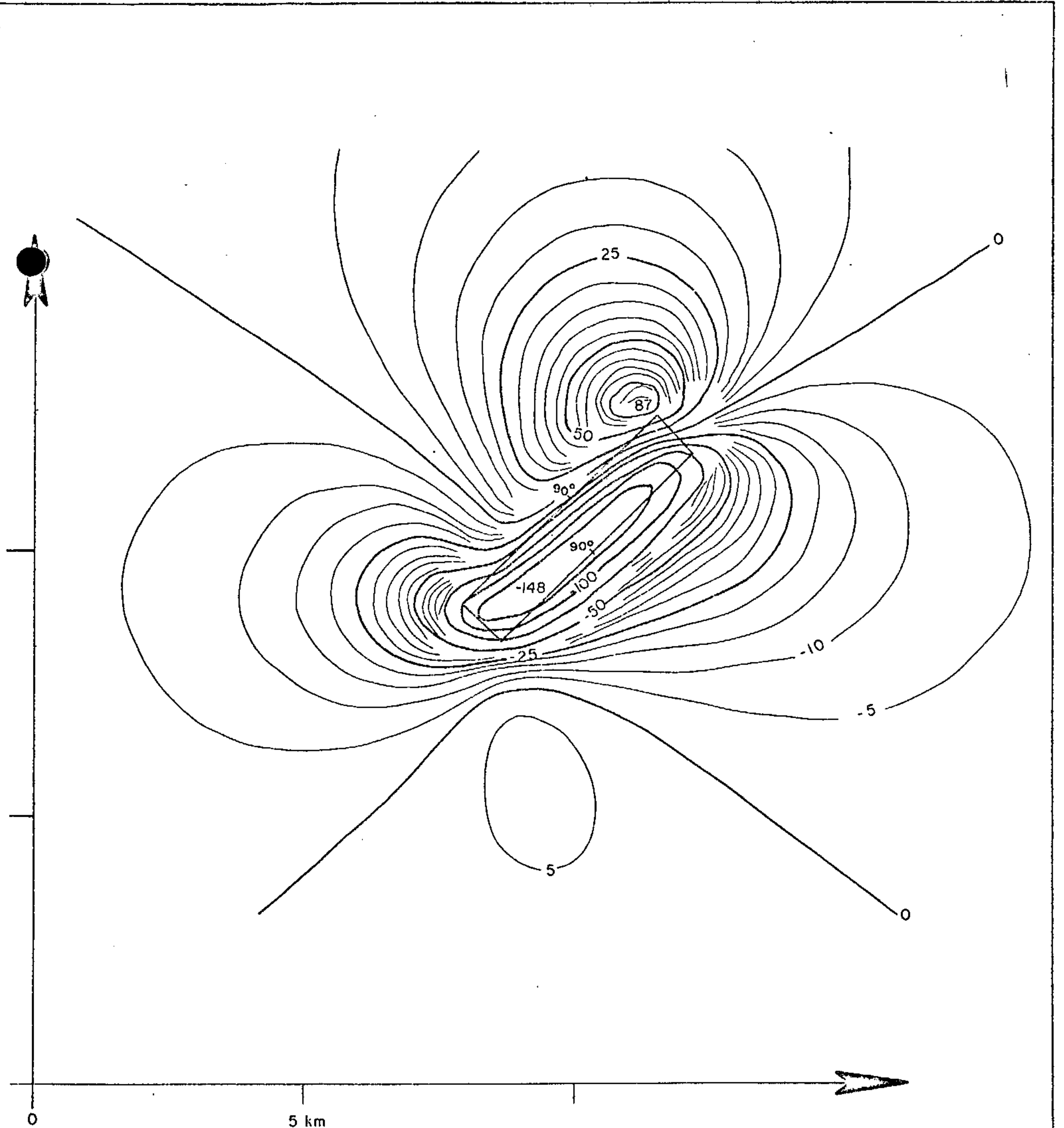
Magnetização = 100 γ

Profundidade = 500m

Isanômala da intensidade  
magnética total em  
Gamas



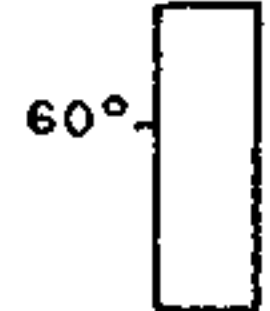
Planta do corpo modelo  
Mergulho 60°



### MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

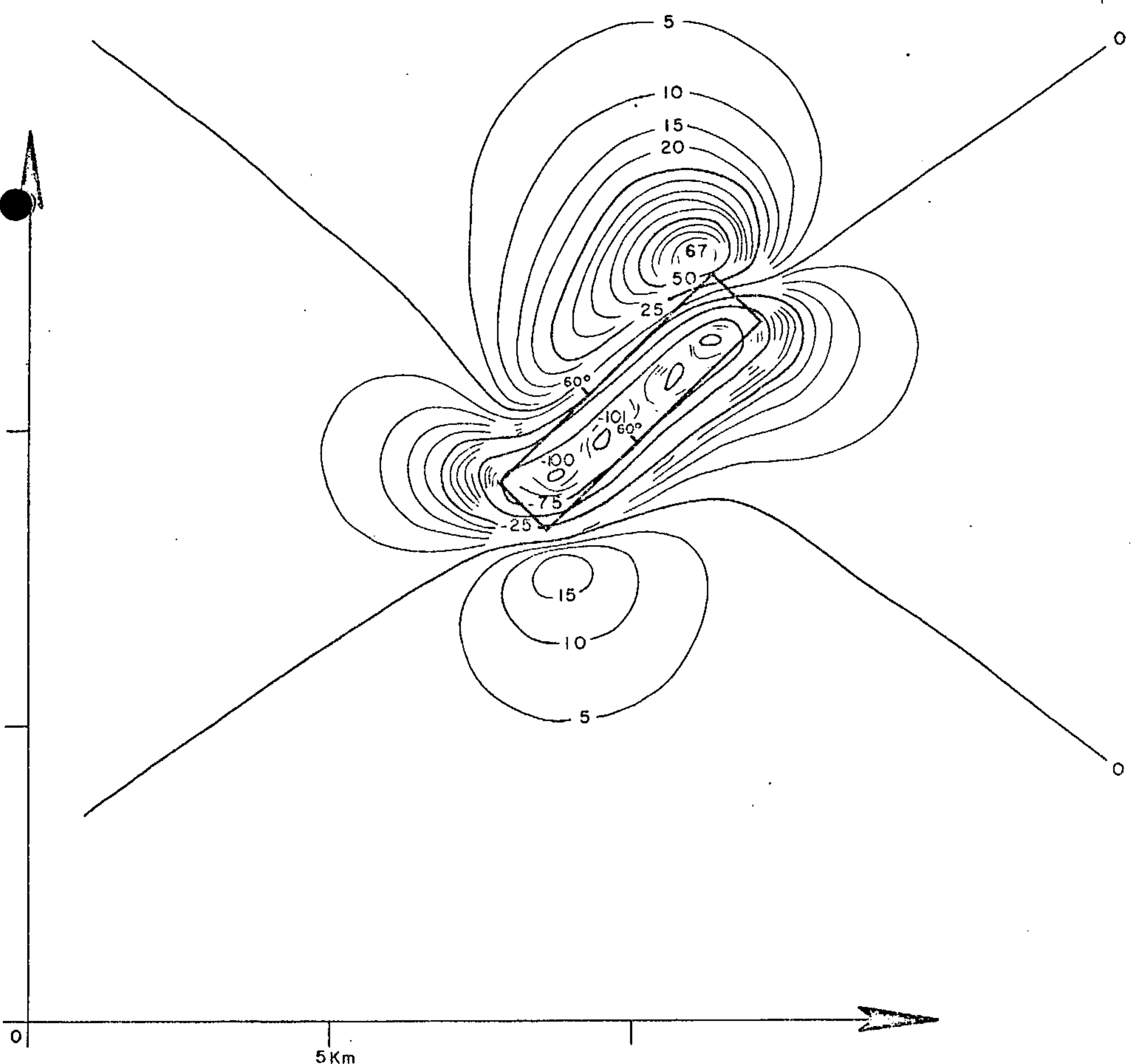
Inclinação =  $-15^\circ$   
 Magnetização = 100  $\gamma$   
 Profundidade = 500m

20- Isanômala da intensidade  
 magnética total em  
 Gammas



Planta do corpo modelo  
 Mergulho  $60^\circ$

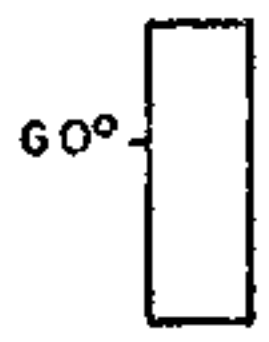
PRANCHA 15



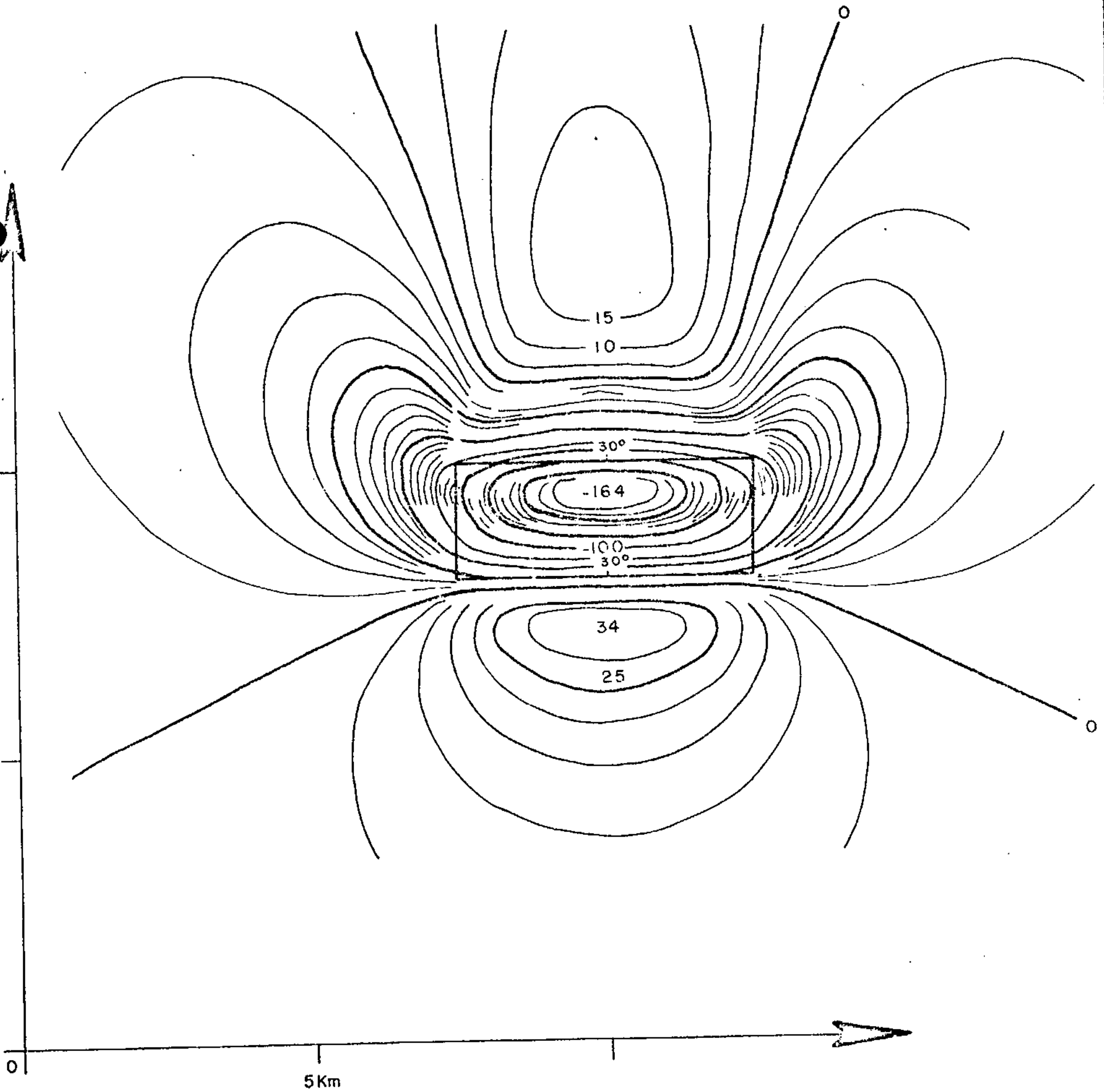
**MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA**

Inclinação = - 15°  
 Magnetização = 100 γ  
 Profundidade = 500m

Isanômas da intensidade  
 magnética total em  
 Gammas



Planta do corpo modelo  
 Mergulho 60°



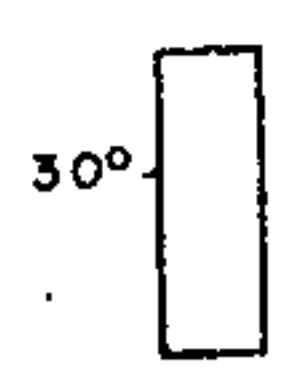
MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

Inclinação = - 15°

Magnetização = 100  $\gamma$

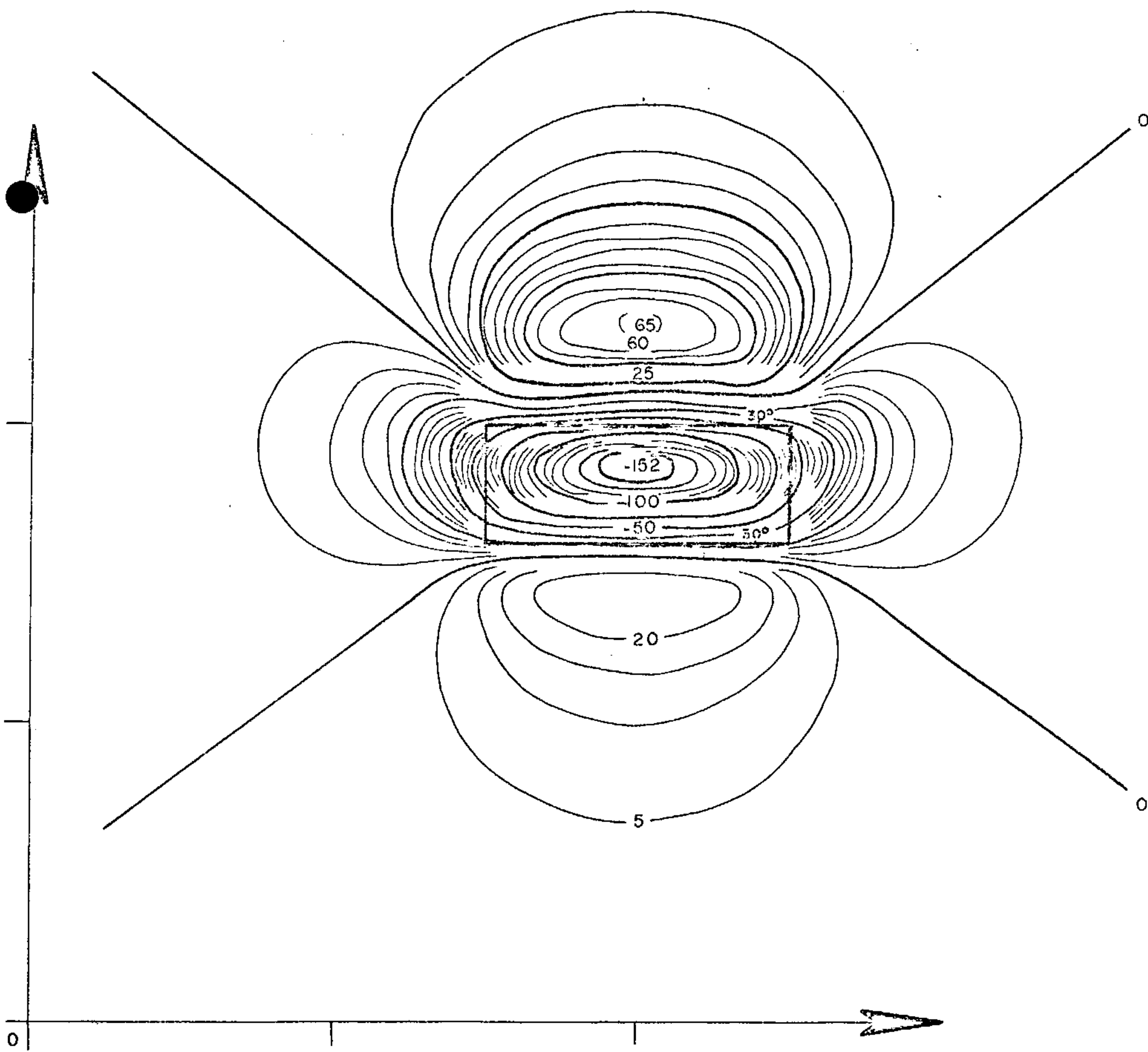
Profundidade = 500m

Isanômas da intensidade  
magnética total em  
Gamas



Planta do corpo modelo  
Mergulho 30°

PRANCHA 17



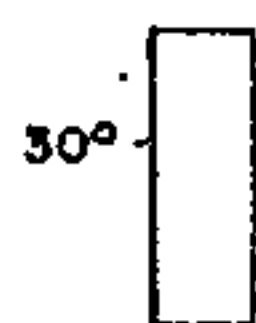
MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

Inclinação = - 15°

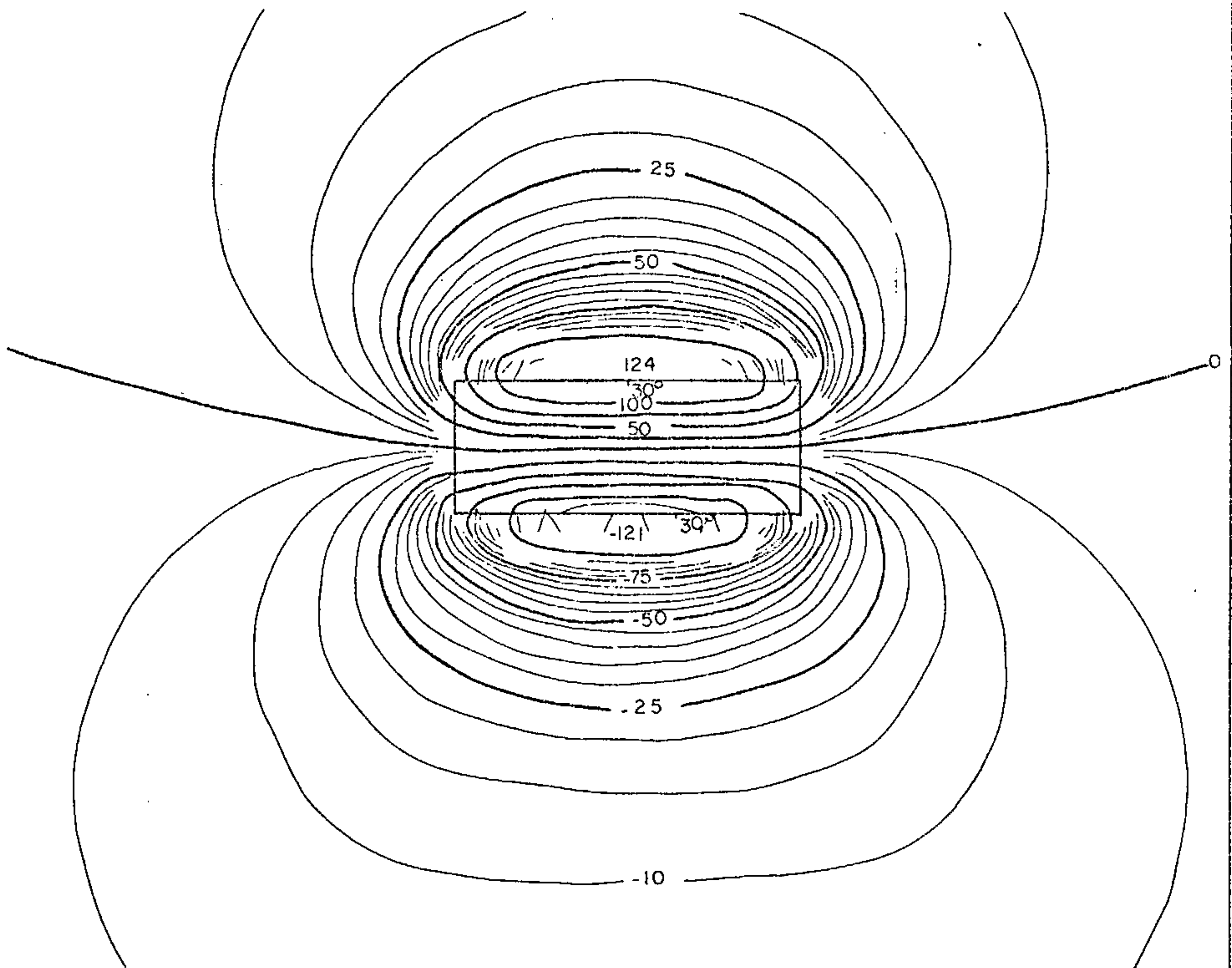
Magnetização = 100 γ

Profundidade = 500m

Isanômala da intensidade  
magnética total em  
Gamas



Planta do corpo modelo  
Mergulho 30°



MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

5 km

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

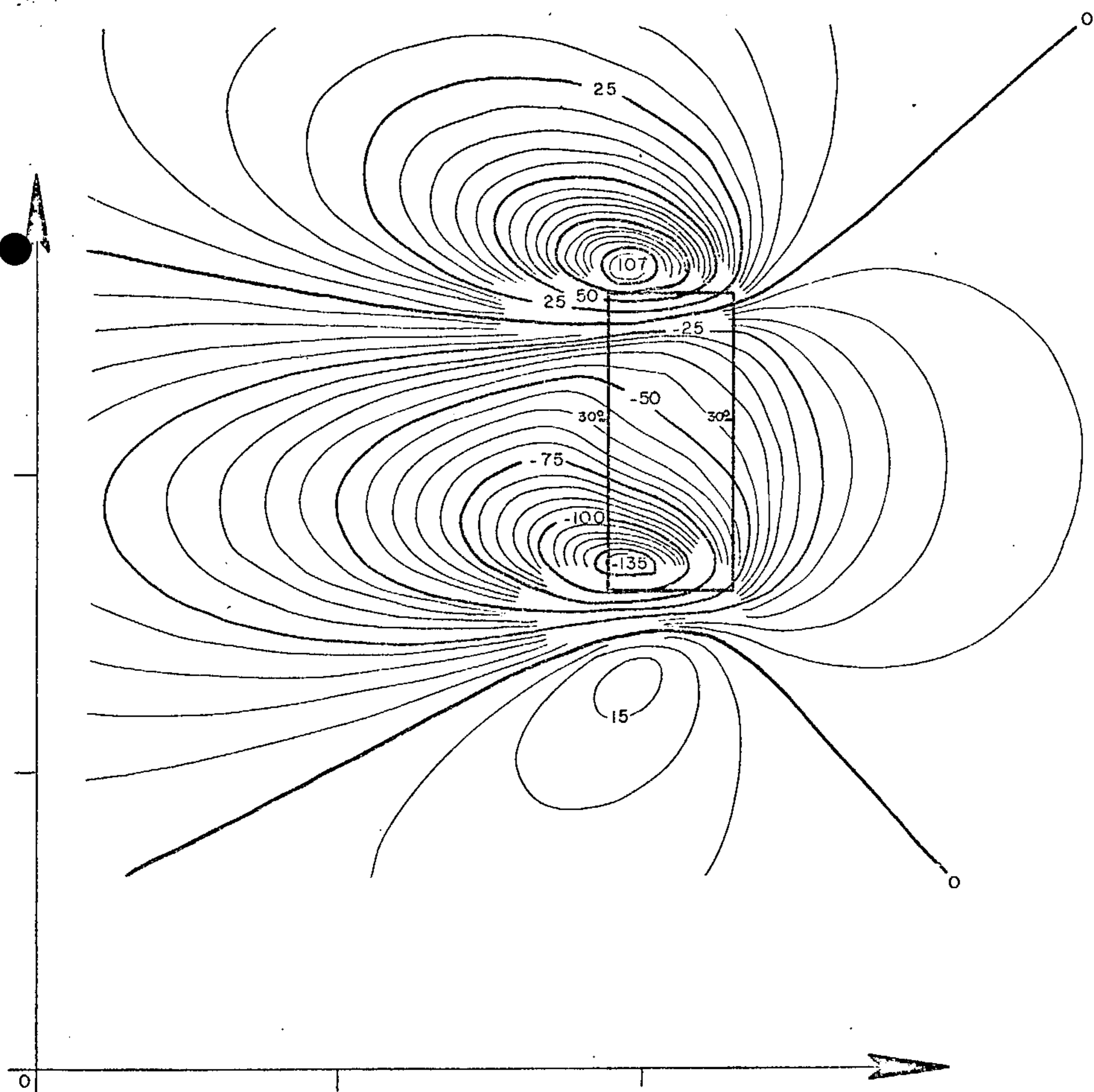
Profundidade = 500 m

20- Isanômala da intensidade magnética total em Gamas



Planta do corpo modelo Mergulho  $60^\circ$

PRANCHA 19



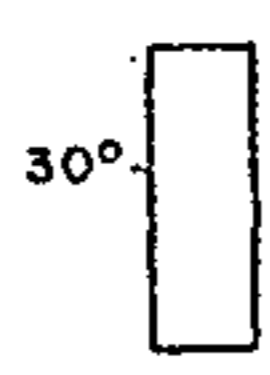
**MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA**

Inclinação = - 15°

Magnetização = 100 γ

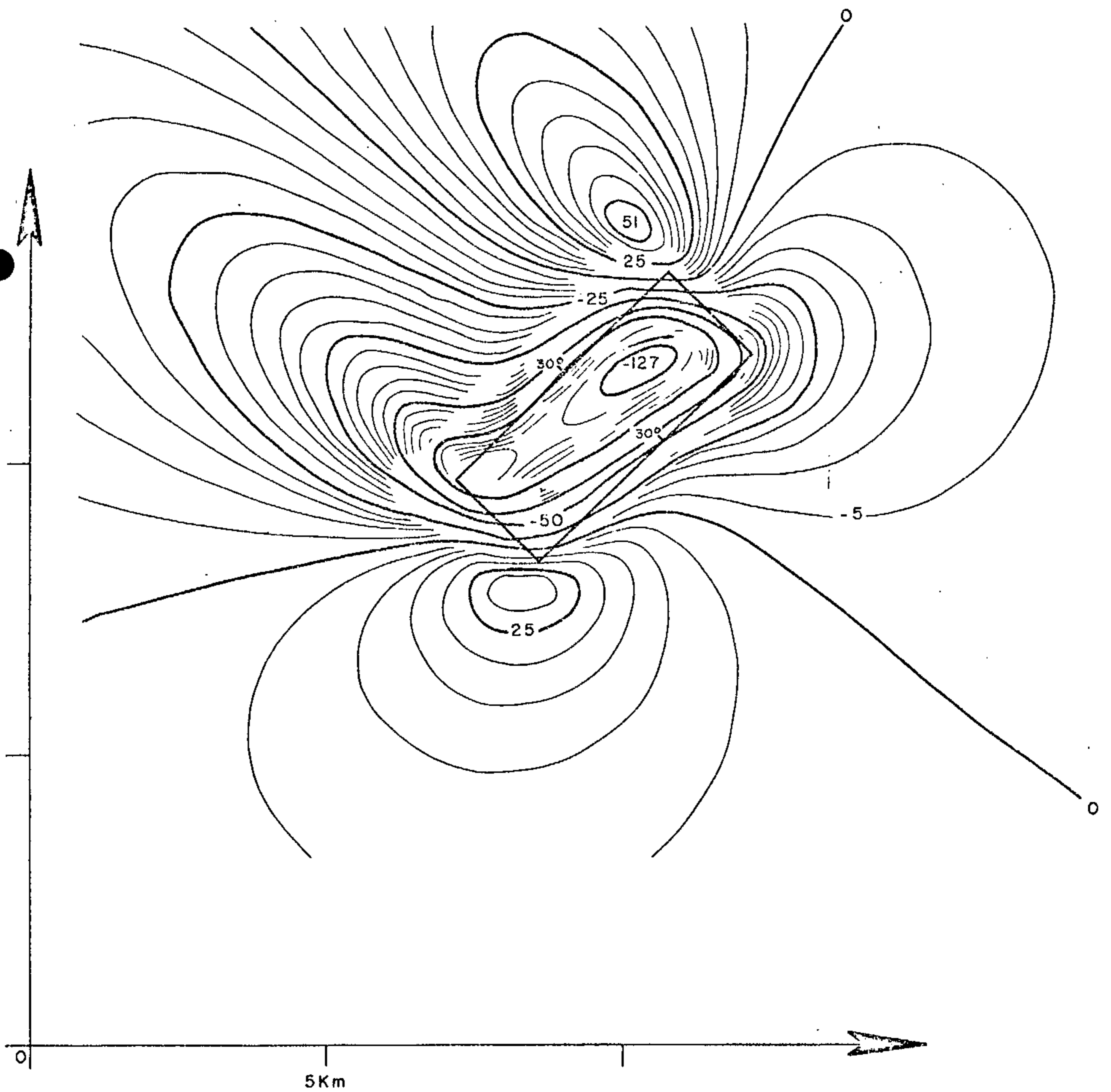
Profundidade = 500m

20 - Isanômala da intensidade magnética total em Gammas



Planta do corpo modelo Mergulho 30°





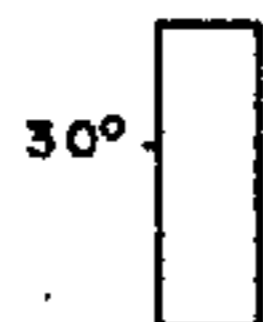
MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

Inclinação = - 15°

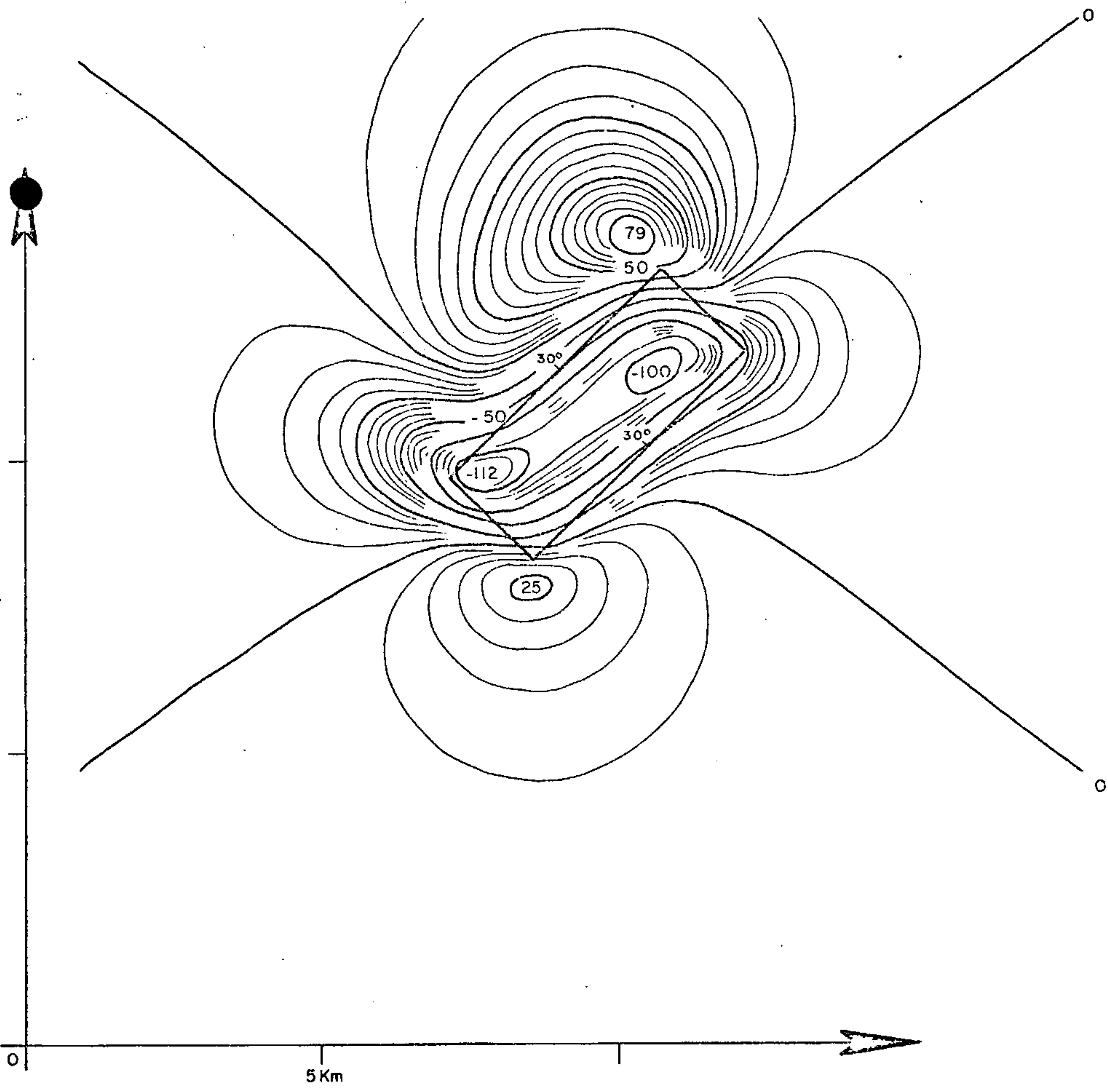
Magnetização = 100  $\gamma$

Profundidade { do topo = 500m  
do base = 10.000m

20- Isanômala da intensidade  
magnética total em  
Gamas



Planta do corpo modelo  
Mergulho 30°



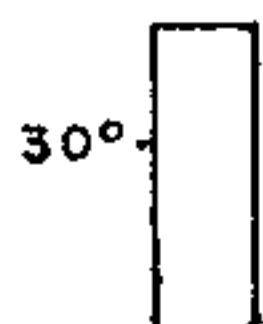
MODELO PLACA ESPESSA - CURVA TEÓRICA

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

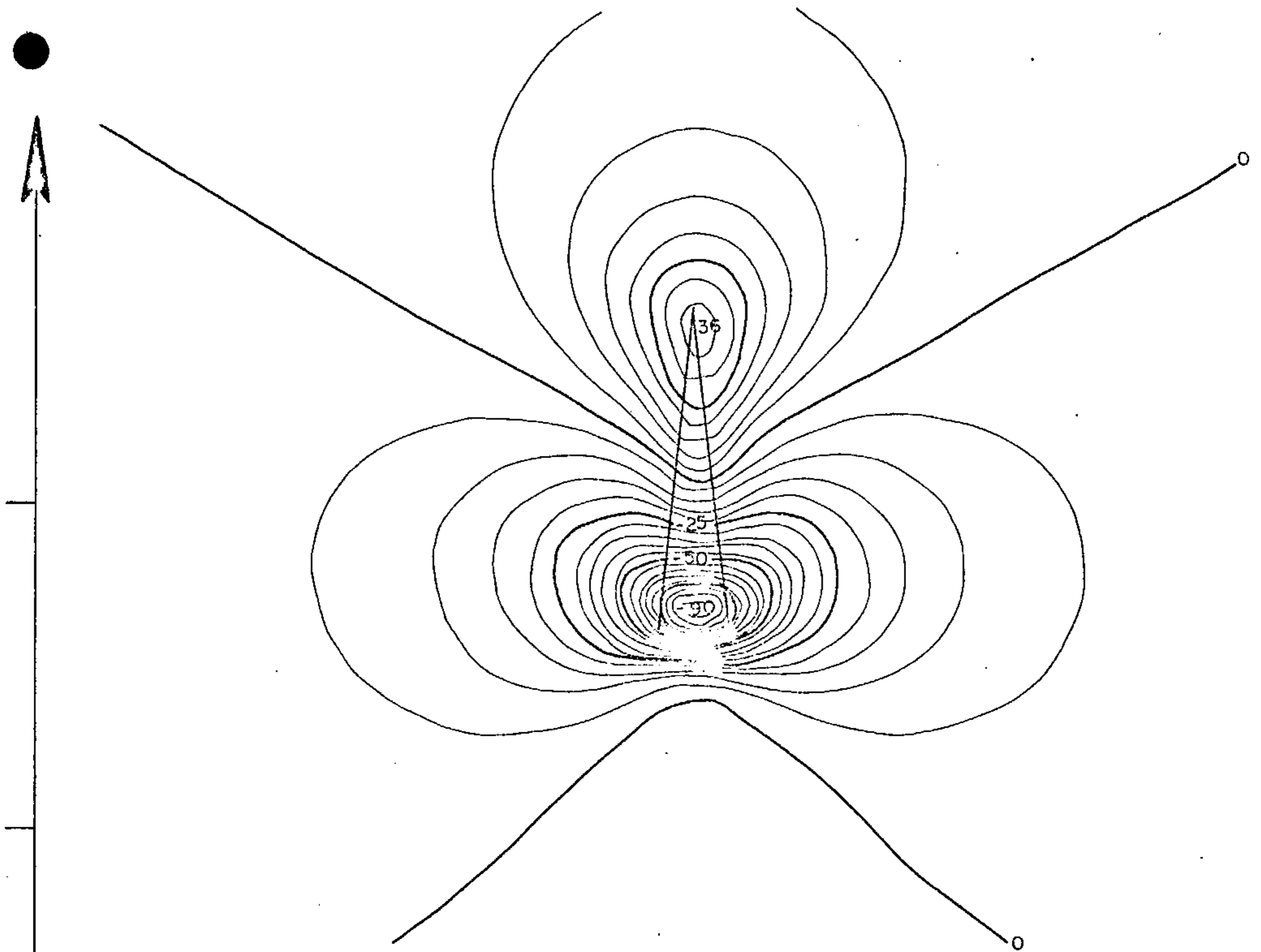
Profundidade { do topo = 500m  
da base = 1.500m

20- Isanómalas da intensidade magnética total em Gammas



Planta do corpo modelo Mergulho  $30^\circ$

PRANCHA 22



MODELO CUNHA VERTICAL - CURVA TEÓRICA

0

5 km

Inclinação =  $-15^\circ$

Magnetização =  $100 \gamma$

Profundidade = 500m

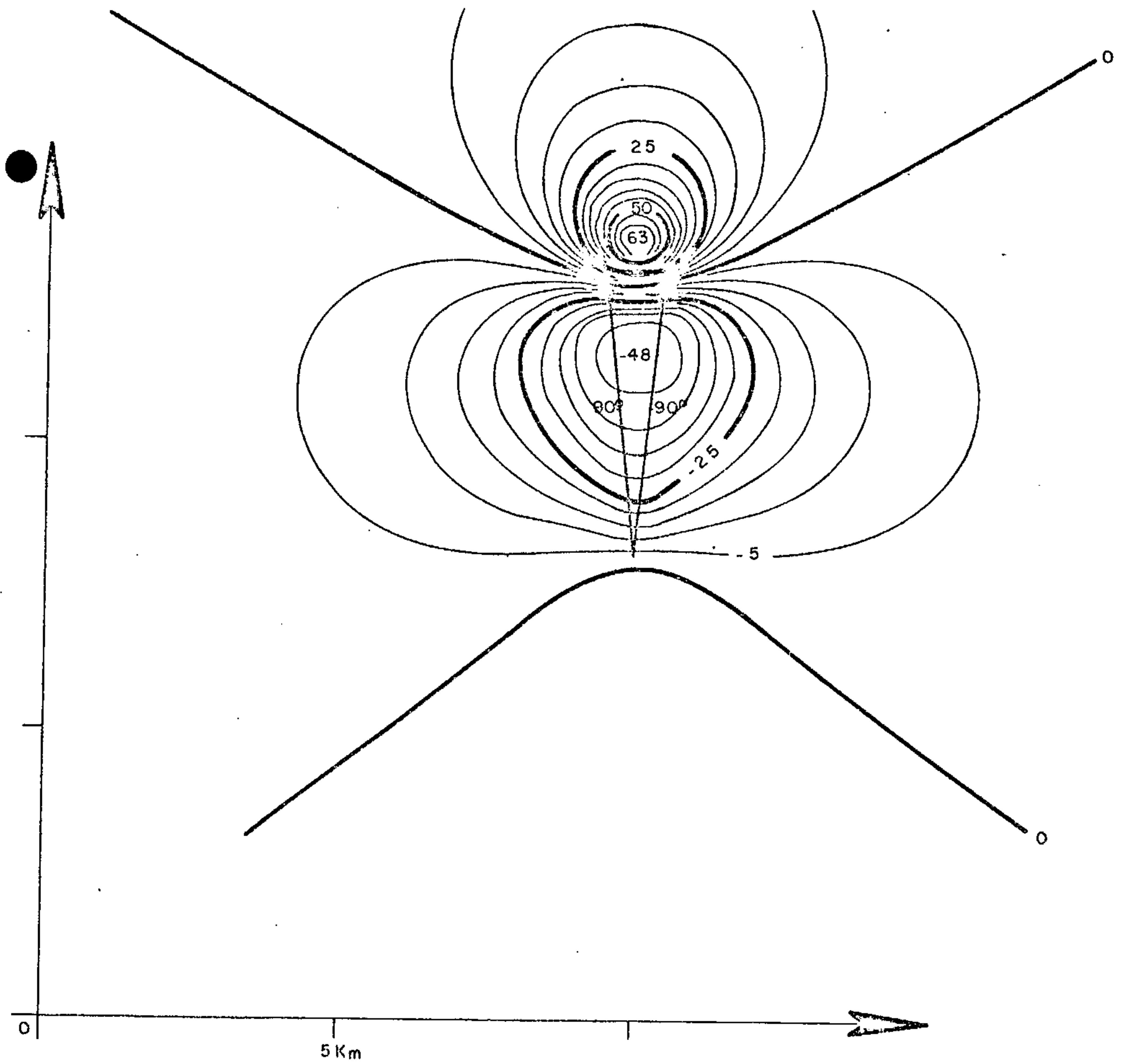
20

Isonôma da intensidade  
magnética total em  
Gamas



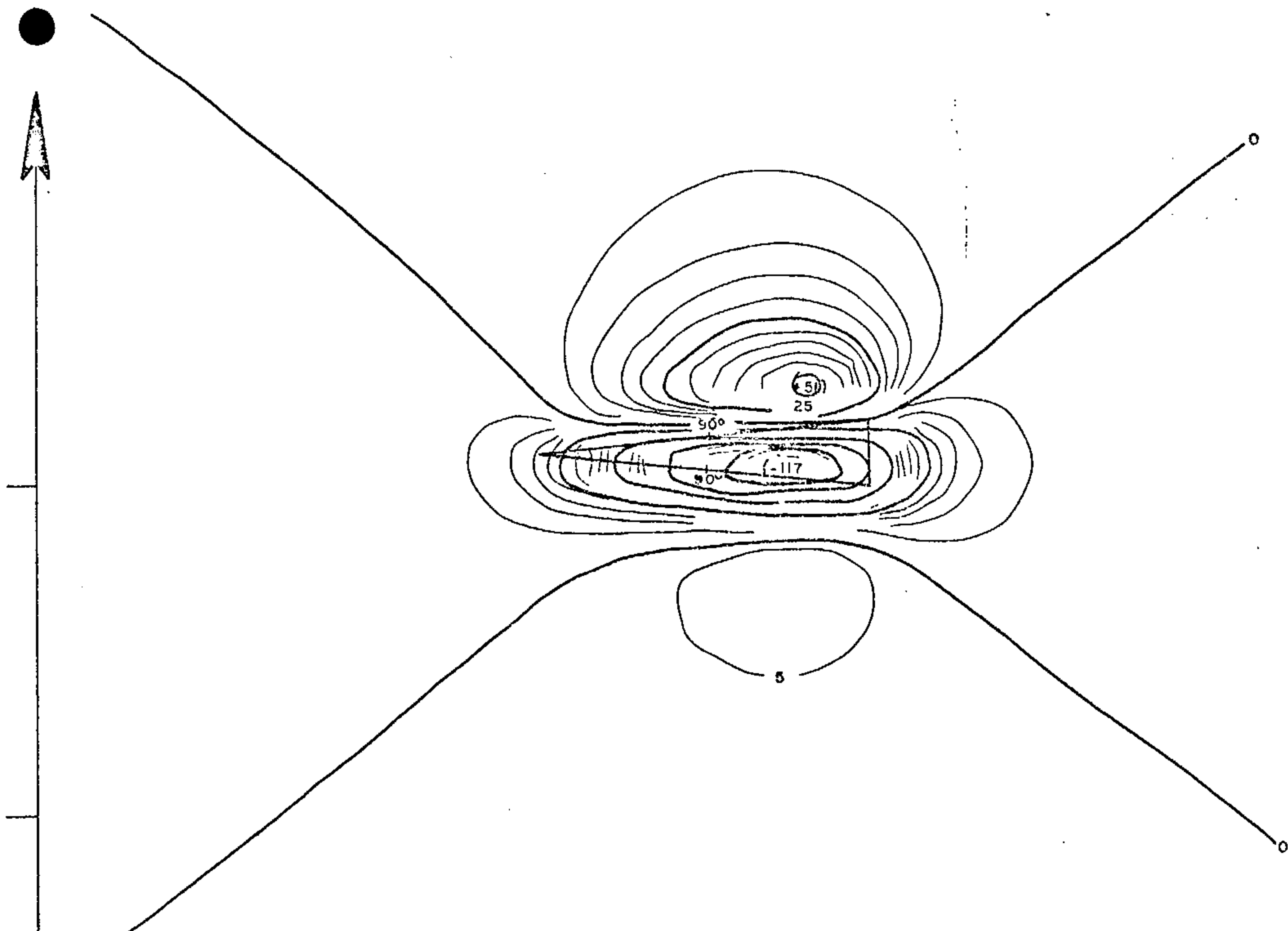
Planta do corpo modelo

PRANCHA 23



MODELO CUNHA VERTICAL - CURVA TEÓRICA

( Leg. V. Fig. - 23 )



MODELO CUNHA VERTICAL - CURVA TEÓRICA

5Km

( Leg. V. Fig. - 23 )

de chaminé com diversos mergulhos, corpos em forma de dique com diferentes direções e mergulhos, e corpos em forma de cunha. Estes modelos podem ser diretamente transferidos para outros casos através de simples problemas de simetria (por exemplo, simetria apresentada para mergulhos oeste ou leste).

Muito importantes são as anomalias de corpos em forma de chaminé, que ocorrem com frequência na área de pesquisa. Sua interpretação através de modelos bi-dimensionais conduz a falsos dados, principalmente a uma falsa profundidade. Os modelos possibilitam determinar os parâmetros de interesse com a transformação das anomalias medidas em anomalias teóricas: pode-se calcular principalmente profundidade e localização do corpo; em vez dos parâmetros separados, obtém-se a expressão equivalente - magnetização x espessura. (Ao contrário da já definida "equivalência geofísica", temos aqui uma equivalência matemática, baseada em fórmula matemática, que vale na prática somente dentro de determinados limites; no caso de uma placa delgada, a anomalia permanece inalterada, desde que o produto espessura ( $b$ ) x magnetização ( $J$ ) seja constante. Desse modo, um corpo com  $J = 100 \gamma$  e  $b = 10 \text{ m}$  produz a mesma anomalia que um corpo com  $J = 1000 \gamma$  e  $b = 1 \text{ m}$ , desde que a profundidade seja muito maior que  $10 \text{ m}$ ).

Especialmente os corpos em forma de dique e cunha devem apresentar o efeito das extremidades de corpos alongados sobre a forma da anomalia; esta influência normalmente é desprezada em uma interpretação bi-dimensional e pode conduzir a interpretações falsas.

Evitou-se discutir pormenorizadamente cada modelo,

uma vez que as pranchas 10 a 25 são bastante elucidativas.

### 3.1.2. Interpretação estrutural

Este tipo de interpretação baseia-se diretamente nas anomalias detetadas. São salientadas feições estruturais características, como a direção ou forma geral (circular, alongada etc), deslocamentos transversais (indício de falhas transversais ), "lineamentos magnéticos " (indício de lineamentos geológicos); são separadas as áreas com diferente caráter magnético. Em muitos casos, ela permite fazer a correspondência entre os dados medidos e as feições geológicas reais. Sua importância reside sobretudo em que ela estabelece uma correlação com a geologia e constitui uma base essencial para a interpretação geológica das anomalias.

Nos anexos 1 a 3 e prancha 26 apresentam-se alguns casos típicos de interpretação estrutural.

O anexo 1 representa anomalias orientadas E-W com interrupções e deslocamentos, que podem ser interpretados como falhas transversais. Em alguns casos, há variação de outros parâmetros característicos da anomalia, como a relação máximo/mínimo, a largura, o que significa que o mergulho e a profundidade variam ao longo da falha inferida. A localização precisa e a direção dessa falha não podem ser deduzidas a partir do mapa de isanômalas; pelo contrário, existem muitas possibilidades, o que está demonstrado através de diferentes símbolos no anexo 1. Os desvios (diferenças) observados (de até  $\pm$  1 km), poderão ser reduzidos através da interpretação de modelos tri-di



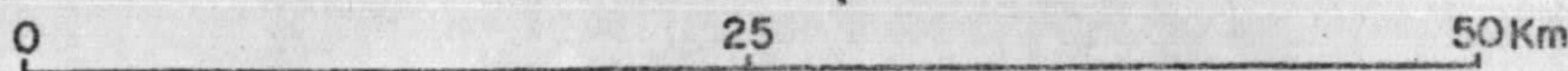
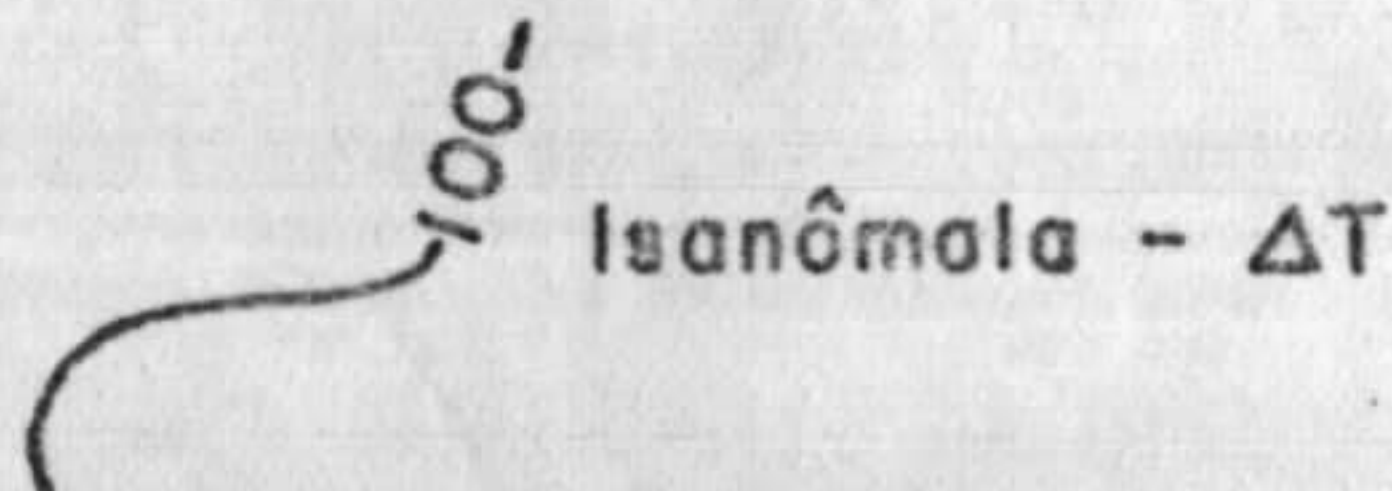
**ÜBERLAGERUNG MAGNETISCHER ANOMALIEN AUS  
VERSCHIEDENEN STOCKWERKEN :**

Grossräumige Anomalie des tiefen Basement, Kleinraumige Anomalien  
(u.a. s. Pfeile) oberflächennaher Körper

**SUPERPOSIÇÃO DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS A  
DIFERENTES NIVEIS.**

Anomalia ampla do embasamento profundo  
Anomalias estreitas (vide setas) de corpos sub-aflorantes

$\Delta T$  - Isanomale (100 Gamma)





mensionais, que pode fornecer pormenores mais corretos . Nestes casos, a direção do corpo segue aproximadamente a das anomalias (a posição dos corpos, contudo, só pode ser obtida através de uma interpretação matemática).

O anexo 2 mostra a anomalia magnética sobre um corpo que emerge de SW para NE. Este soerguimento gradativo manifesta-se através de um estreitamento das isanômalas. Dados quantitativos sobre a profundidade só podem ser obtidos através de modelos tri-dimensionais. A diferença desta anomalia em comparação à anomalia de um corpo com espessura crescente (vide pranchas 23 a 25, modelo de cunha) consiste em que, neste último caso, a intensidade da anomalia aumenta na extremidade mais espessa.

A prancha 26 representa uma sobreposição de anomalias de corpos rasos sobre anomalias de embasamento profundo. Observa-se que as isolinhas do amplo mínimo magnético (profundidade do corpo - 13 000 m sob o nível de vôo), que se estende por cerca de 50 km, estão distorcidas por efeitos de corpos mais rasos (profundidade de 600 m), representados por anomalias estreitas (vide seta na prancha 26). As anomalias derivadas dos dois níveis de profundidades (600 m contra 13 000 m, sob o nível de vôo) podem ser muito bem diferenciadas. A experiência ensina que, em geral, pode-se distinguir as anomalias de corpos desse tipo, desde que possuam uma relação de profundidade do topo (sob o nível de vôo)  $\leq 1:3$ . Matematicamente, esta separação não é rigorosamente possível, isto é, a interpretação contém um erro, que será tanto menor quanto maior for a diferença de profundidade.

Muitas vezes pode-se inferir nos mapas de isanôma

las lineações quase retilíneas que se estendem por dezenas e até centenas de quilômetros. São constituídas, parte por anomalias alongadas, parte por união de anomalias locais, separadas, parte por linhas de limites de anomalias que às vezes demarcam áreas com diferente caráter magnético. Estas lineações foram designadas como "lineamentos magnéticos". Seu significado geológico nem sempre pode ser dado: pode tratar-se de zonas de falha, limites de fácies, "lineamentos geológicos". No anexo 3 estão reunidas algumas dessas formas de anomalias típicas e características da área de pesquisa.

### 3.2. AERC-RADIOMETRIA

Ao contrário da aeromagnetometria, não existe um método específico de interpretação para a aeroradiometria. O mesmo não é necessário, porque a radiação gama provém diretamente de rochas aflorantes ou de uma profundidade máxima de cerca de 1 m.

Obtém-se dados sobre a localização de uma anomalia diretamente das medidas (considerando um determinado cone de radiação efetivo além do emprego de um espectrômetro discriminador para indicar a causa da anomalia - U, Th, K). Por isso, utiliza-se as próprias anomalias detectadas como base para verificação no terreno ("ground-checks"), por meio de pesquisas combinadas geofísicas/geológicas/geoquímicas; normalmente, com esta pesquisa, pode-se determinar de imediato a causa das anomalias.

Como a radiação gama depende da composição das rochas, pode-se determinar diferenças litológicas através dos resulta

dos do levantamento radiométrico. A interpretação litológica dos mapas aeroradiométricos baseia-se nos valores da radiação gama total, assim como no conteúdo de  $K^{40}$ ,  $Bi^{214}(U)$  e  $Tl^{208}(Th)$ .

## 4. GEOLOGIA DA ÁREA DE LEVANTAMENTO

### 4.1. GENERALIDADES

Na descrição de cada folha isoladamente (Volume II) não é possível fazer um apanhado geral sobre a geologia regional ou a estratigrafia de Minas Gerais e Espírito Santo. Por isso, apresenta-se a seguir uma visão global da geologia, a fim de mostrar sobre que suportes se baseou a descrição das folhas. Ao mesmo tempo, esclarece-se a nomenclatura utilizada. A geocronologia das inúmeras séries cristalinas ainda está em curso, de modo que só se pode esboçar um quadro provisório sobre este assunto.

### 4.2. PRÉ-CAMBRIANO

O Pré-Cambriano da área de pesquisa pode ser dividido em três unidades.

A sequência inferior está especialmente bem definida na Zona do Espinhaço e foi aí mapeada por PFLUG & RENGGER (1973) como Super-grupo Pré-Minas, resumidamente Grupo Pré-Minas. Compõe-se sobretudo de gnaisses, migmatitos, xistos, quartzitos e metabasitos, que estão metamorfizados na fácies de xistos verdes a anfibolitos na parte superior.

Sobretudo os gnaisses e migmatitos, assim como os xistos metamórficos da Série Rio das Velhas, do centro do Quadrilátero Ferrífero, e o Grupo Barbacena (metaclásticos, metabasitos, gnaisses, granitos) do sul de Minas Gerais são comparáveis em tempo ao Pré-Minas. Datações cronológicas sistemáticas ainda não existem; o Grupo Pré-Minas certamente é an

terior a 1.800 m.a.

Também ainda não está inteiramente esclarecida a idade do "complexo granítico-gnáissico" arrolado na maior parte dos mapas existentes como Pré-Cambriano Inferior. No Sul de Minas Gerais, este complexo pertence parcialmente ao Grupo Pré-Minas. Igualmente se desconhece a idade do cristalino que aflora sob a transgressão do Bambuí no norte de Minas Gerais (região de Januária).

A sequência média é representada pelo Grupo Minas, que foi muito bem estudado no Quadrilátero Ferrífero e na Serra do Espinhaço. Litologicamente é constituída de metassedimentos clásticos (quartzitos, filitos, etc) e itabiritos. Entre as rochas magmáticas conhecem-se ultramafitos, gabros, diabásios e ocasionais granitos tardi- e post-orogênicos. O grau de metamorfismo varia entre o fácies de xistos verdes e anfibolitos.

Os Grupos Araxá e Ibiá/Canastra podem ser considerados - como os equivalentes cronológicos do Grupo Minas no oeste de Minas Gerais. Os filitos da Série Ibiá foram incluídos juntos aos do Grupo Canastra, que ocorrem lito-estratigraficamente intimamente ligados. Entre o Grupo Canastra, composto predominantemente de micaxistos com ortoanfibolitos, e atribuído até hoje ao Pré-Cambriano Inferior, e o Grupo Canastra (filitos, quartzitos e ocasionais ortoanfibolitos e itabiritos), existem transições, a indicar que ambos os grupos têm a mesma idade e representam diferentes graus de metamorfismo. São, porém, definitivamente mais velhos que o Grupo Bambuí, do Pré-Cambriano Superior, que se sobrepõe aos filitos do Grupo Canastra através de uma discordância angular (p. ex. nos cortes da BR-262).

Também o Grupo D. Silvério (micaxistos, quartzitos, etc) , a leste do Quadrilátero Ferrífero representa um possível equivalente do Grupo Minas.

Não se conhece ainda com detalhe a cronologia do cristalino da parte oriental de Minas Gerais e Espírito Santo. Aqui predominam paragnaisses (com intercalações de quartzitos, mármore, ortoanfibolitos) frequentemente granatíferos e que mostram transição para migmatitos e paragrânitos. Nesta sequência gnáissica alojam-se corpos intrusivos intermediários e básicos pouco decompostos (charnoquitos, dioritos, gabros, noritos) e também granitos pós-tectônicos a norte do Rio Doce. Devido ao alto grau de metamorfismo e às diferentes condições de magmatismo, é muito difícil estabelecer uma diferenciação de idade. As poucas determinações radiométricas existentes até o momento (CORDANI, 1973) indicam que a movimentação orogênica se encerrou junto com a Orogenia Brasileira, antes de aproximadamente 500 m.a.

Também não se determinou de modo definitivo a idade da sequência post-Barbacena no Sul de Minas Gerais (Série São João del Rei, Juiz de Fora e Andrelândia). Baseado em dados estruturais, Ebert atribuiu-lhe idade Post-Minas, enquanto outros autores ainda vêem nela uma equivalente do Grupo Minas (BEURLEN, 1970). A solução deste problema é de importância capital, uma vez que dela depende não só a cronologia do cristalino do Sul de Minas Gerais (Série Paraíba, de Ebert), o qual resulta do aumento de metamorfismo nas Séries Post-Barbacena, como também o enquadramento do cristalino do Espírito Santo (vide acima), que pode ser considerado como o prolongamento da Série Paraíba de Ebert e da Série Paraíba-Desengano de Rosier (do Estado do Rio de Janeiro).

Na região de ocorrência do Grupo Minas também inexiste uma datação radiométrica sistemática. PFLUG (1968) estima o fim da orogenia do Minas em 1 350 m.a.

A sequência superior, com rochas do Pré-Cambriano Superior, mais jovens que o Grupo Minas, é formada pelos Grupos Macaúbas e Bambuí. O Grupo Macaúbas consiste de clásticos grossieiros a finos (com intercalações de xistos verdes) que provavelmente contém ainda camadas glaciais (HETTICH, 1973). No Grupo Bambuí predominam ardósias, siltitos, margas e calcários. Os Grupos Macaúbas e Bambuí constituem o recheio de uma bacia que cobre a parte central e setentrional de Minas Gerais. Suas rochas são anquimetamórficas ou foram metamorfizadas no fácies de xistos verdes de temperatura mais baixa; nas bordas da bacia estão geralmente dobradas.

O Grupo Macaúbas alastra-se para E, a sul de Itacambira, sobre a Serra do Espinhaço. Como o grau de metamorfismo aumenta continuamente para E até finalmente atingir o Grupo Minas, é muito difícil estabelecer uma separação entre os dois Grupos nesta região, o que ainda não foi conseguido de maneira satisfatória.

Dentro das possibilidades, empregou-se na descrição das folhas algumas noções litológicas dentro de ambos os Grupos, uma vez que sua divisão estratigráfica ainda não tem o consenso geral.

#### 4.3. MESOZÓICO E CENOZÓICO

A sedimentação do Mesozóico tem caráter terrestre. Ela provavelmente começou no Jurássico Superior e tem seu ponto máximo no Cretáceo. Depositou-se principalmente arenito, e su

bordinadamente argilito (sedimentação lacustre?) e conglomerados. Os arenitos, parcialmente dentro de uma matriz argilosa, distribuem-se bastante na parte ocidental, setentrional e central de Minas Gerais, formando uma cobertura sobre o Pré - Cambriano.

Os magmatitos compõem parte essencial das rochas do Cretáceo. Duas fases principais podem ser reconhecidas.

Os derrames de basalto do vulcanismo Paraná, que chegam até o oeste de Minas Gerais, pertencem ao Cretáceo Inferior (Grupo São Bento). As intrusivas alcali-ultrabásicas de Patrocínio, Araxá, Tapira etc, devem constituir, com base no mesmo das ultramafititos e carbonatitos, as plutônicas e subvulcânicas correspondentes; estas intrusivas estão muitas vezes relacionadas a um sistema de falhas orientadas WNW a NW e preenchidas por rochas basálticas; estas falhas podem ser seguidas por centenas de quilômetros nos mapas aeromagnéticos até a parte central de Minas Gerais.

Ao magmatismo do Cretáceo Superior pertencem os diques e maciços alcali-basálticos, e sobretudo os tufo, que na região de Patos de Minas ocupam uma grande superfície e frequentemente se intercalam aos arenitos do Cretáceo Superior. (Sequência Mata da Corda).

Na descrição das folhas utilizou-se para o Cretáceo a nomenclatura de GROSSI SAD et al. (1971).

Dois tipos de magmatitos maciços (não xistosos) ainda não classificados ocorrem na área de pesquisa. Na Serra do Espinheiro, um basalto alterado (esverdeado - "diabásio") ocorre preenchendo sistemas de falhas orientados WNW a NW; com base em uma nova descoberta em Pitangui, onde diques de basalto do mesmo



tipo atravessam as camadas do Grupo Bambuí pode-se atribuir -  
lhe idade post-Bambuí. A progressiva alteração deste basalto ,  
contudo, impede que o equiparemos aos do Cretáceo, que ainda  
ocorrem em condições inalteradas.

Em Monte Carmelo foram descobertos gabros e piroxenitos  
que podem ser eventualmente comparáveis às intrusões básicas e  
ultrabásicas do Sul de Goiás. Na região de Monte Carmelo estas  
rochas são sobrepostas pelos arenitos do Cretáceo Inferior (Se-  
quência Areado).

No Cenozóico ocorreu, à exceção dos depósitos fluviais  
nos vales dos rios, uma espessa formação de solo. O Cenozóico  
é representado na maior parte dos casos por um solo laterítico  
residual, que em parte está relacionado aos planaltos (chapa-  
das) mas, em geral, acompanha a morfologia. Em alguns locais ,  
tal cobertura é conhecida como "Terciário" (BARBOSA et al, 1970).  
Com algumas exceções, estas formações jovens não têm qualquer  
influência na configuração das anomalias aeromagnéticas. Têm im-  
portância, contudo, na interpretação das anomalias aerocintilo-  
métricas, uma vez que esses solos, regra geral, mostram uma ra-  
dição total sensivelmente menor em relação à de rochas direta-  
mente aflorantes.

## 5. INTERPRETAÇÃO "GEOLÓGICA-ECONÔMICA" DAS ANOMALIAS AEROGEOFÍSICAS

### 5.1. GENERALIDADES

O principal objetivo da pesquisa geofísica aplicada é o da prospecção de jazidas. Procura-se medir grandezas físicas (campos ou parâmetros) com base em propriedades físicas (condutividade, magnetização, densidade). Com estas medidas, determinam-se alvos: regiões de condutividade, de magnetização, de densidade, etc. e não primariamente um corpo de minério - este é um conceito de Geologia Econômica, e sua comprovação e descoberta é o desígnio da prospecção mineral.

Um corpo de minério, contudo, pode ser assinalado por uma área específica de propriedades físicas; ele pode, por exemplo, destacar-se de sua encaixante por apresentar alta condutividade, devido ao conteúdo de minerais condutores, à composição do minério, etc. Tal correlação de "anomalias" a corpos de minério, contudo, nem sempre é válida; uma anomalia elétrica pode, em vez de um corpo de minério, estar associada a uma zona de falha (p. ex. com água intersticial condutora) ou a camadas de grafita, isto é, a anomalia em si não representa um indício direto de mineralização.

Para ilustrar, apresenta-se um exemplo prático observado na região de Coromandel durante a execução dos trabalhos deste projeto. O anexo 30 mostra um perfil interpretado sobre uma anomalia magnética terrestre (OSTWALD et al., 1974). Determinou-se uma profundidade do corpo magnético, que na concepção do autor seria um magnetito = de 2 m, ou seja, descontando a altura do tripé do magnetômetro, de 1 m sob o terreno, portan

to quase aflorante. A sondagem executada neste local (H 23/24 ) atingiu material magmático, mas a uma profundidade de 32 m.

Esta discrepância entre o cálculo e a sondagem pôde ser esclarecida quando se mediu magneticamente os testemunhos de sondagem; verificou-se que mesmo os primeiros metros da sondagem, portanto o solo, possuem uma forte magnetização de 150 gamas. O corpo magnético, ou seja, o corpo com alta magnetização, era composto pelo solo magnético e pelo magmatito profundo, enquanto o corpo geológico era constituído pelo magmatito.

Para deduzir a presença de minério a partir de uma anomalia geofísica são necessárias pesquisas adicionais para estabelecer a relação entre os parâmetros físicos e as condições reais da jazida e assim determinar se a ocorrência mineral se diferencia da encaixante através de suas propriedades físicas. Isto em geral não é naturalmente possível para anomalias recém detetadas; procura-se, no entanto, chegar a tais relações através de analogias com medidas de teste e pesquisas de laboratório em condições comparáveis.

Tendo em mente estas considerações, é possível obter uma indicação direta - mesmo que não definida - de jazidas, com os métodos utilizados para este levantamento regional. No caso da magnetometria, pode-se detetar indícios sobre jazidas de ferro magnético e, de um modo geral, jazidas que contenham magnetita ou pirrotita; entre estas últimas incluem-se minério pirrotítico de cromita, hematita, manganês e minério de Ni-pirrotita. No caso do levantamento radiométrico, pode-se determinar diretamente os locais de concentração de U e Th na superfície do terreno.

Igualmente valiosas são as indicações indiretas de jazidas, baseadas nas pesquisas aerogeofísicas. Incluem-se, por

exemplo, as indicações de portadores de minérios (ex. intrusivas) e de sistemas de falhas (que podem estar mineralizadas ou serviram de conduto para soluções), assim como a procura e de limitação de "horizontes-guias" geofísicos (que estejam em nítida relação com uma jazida).

Neste contexto, têm especial significado as interpretações estruturais dos mapas aeromagnéticos expostas no item 3.1.2, particularmente quando acompanhadas de informações litológicas derivadas dos dados aerocintilométricos.

## 5.2. PARÂMETROS FÍSICOS DAS ROCHAS

Como os itens anteriores demonstraram, uma interpretação "geológico-econômica" das anomalias pressupõe um conhecimento exato dos parâmetros físicos das rochas, neste caso, da magnetização e da radiação gama.

### 5.2.1 Magnetização

A magnetização de uma rocha depende de seu conteúdo de minerais magnéticos, principalmente titanomagnetita e pirrotita. Existe, assim, uma forte relação entre a magnetização e o tipo de rocha: rochas ácidas são predominantemente não magnéticas, as rochas básicas possuem a magnetização mais forte e rochas ultrabásicas ricas em olivina são primariamente não magnéticas. Como se observam discrepâncias dentro desse esquema - existem granitos magnéticos, diabásios e basaltos não magnéticos, ultrabásicas magnéticas (p. ex. Patrocínio e outras ultrabásicas serpentinizadas) - é necessário determinar as propriedades magnéticas das rochas em cada área de pesqui

sa.

Medidas de magnetização em amostras de rochas ou em rochas aflorantes são executadas no campo com a Balança de Schmidt (Askania Gf6) e com o "Kappameter" (ABEM).

No caso da Balança de Schmidt determina-se a magnetização induzida através do desvio do sistema magnético; pode-se ademais efetuar uma estimativa da magnetização remanente.

O "kappameter" mede somente a susceptibilidade magnética, isto é, permite calcular a magnetização induzida, tanto em amostras, como diretamente na rocha aflorante.

Ambos métodos são muito rápidos, mas não muito precisos. A precisão das medidas isoladas não desempenha um papel diferenciador, uma vez que a distribuição estatística dos valores entre as amostras é muito grande. Para um trabalho mais preciso, determina-se com estes métodos uma boa média estatística e escolhem-se no campo amostras representativas para medidas de laboratório, onde se calcula especialmente a remanência. Tais medidas são realizadas no laboratório de determinação de magnetismo do CGBA, com uma sonda de Förster (precisão de  $10^{-5}$  cgs).

Uma outra alternativa de obter informações sobre a magnetização de rochas subaflorantes consiste em executar medidas do campo magnético ao longo de perfis e, a partir das anomalias, determinar a magnetização de modo mais ou menos qualitativo. Este método foi muito utilizado na área de pesquisa, face à presença de espesso manto de intemperismo na região.

Os resultados das determinações de magnetização es

tão descritos em relatórios específicos (vide bibliografia). Neste relatório, apresentar-se-á apenas um apanhado geral, para facilitar a compreensão dos mapas de anomalias e para possibilitar uma interpretação orientativa.

Os itabiritos possuem a mais alta magnetização, com valores entre 2.000 e 90.000 gamas, onde a magnetização remanente ( $J_r$ ) supera bastante a magnetização induzida ( $J_i$ ): Fator de Koenigsberger  $Q = J_r/J_i = 70$ . Magnetizações da mesma ordem de grandeza devem ocorrer em rochas alcalinas tipo Patrocínio, como se pode concluir da comparação das intensidades de suas anomalias; amostras destas rochas, contudo, não foram estudadas.

Intensa magnetização, da ordem média de algumas centenas de gamas (em uma amostra mediu-se até 10 000 gamas) apresentam os basaltos ( $K_i$ ) e os tufos ( $K_s$ ) do oeste de Minas Gerais, como demonstram suas anomalias.

Um panorama geral sobre as rochas intrusivas é melhor obtido em bases regionais. Observa-se que estes tipos de rochas da parte N e NE de Minas Gerais e do Estado do Espírito Santo, como também os gnaisses e migmatitos, possuem uma magnetização média de algumas centenas de gamas, de modo que tanto as rochas ácidas como as básicas destas regiões são em geral magnéticas. As rochas gabroides possuem as mais altas magnetizações, com valores de até 1 500 gamas.

Em contrapartida, verifica-se que, na parte centro-meridional e setentrional de Minas Gerais, as rochas ácidas e as rochas intermediárias são não-magnéticas ( $J = 1$  gama), enquanto as rochas básicas possuem em média magnetização de algumas centenas de gamas.

Anomalias fracas são detetadas sobre as rochas do Pré-Minas na região da Serra do Espinhaço, indício de uma fraca magnetização. Particularmente interessantes são as magnetizações das rochas ultrabásicas, que possuem em média 50 gamas (máximo de até 1.000 gamas).

Os quartzitos são predominantemente não magnéticos, encontrando-se, contudo, algumas anomalias sobre os mesmos, as quais devem ser atribuídas a intercalações de horizontes magnéticos.

As rochas do Bambuí e do Macaúbas são em geral não magnéticas; em alguns locais, fracamente magnéticas. Na região ao sul de Montes Claros, as fracas anomalias ali encontradas devem ser causadas por pirrotita disseminada dentro das camadas do Macaúbas.

Algum interesse apresentam as fracas anomalias de Januária e Vazante, nas regiões de mineralizações de Pb e Zn, cuja causa ainda é desconhecida (vide descrição das folhas).

Os "diabásios" descritos no ítem 4.3., cuja posição estratigráfica não foi ainda bem definida, são fracamente magnéticos ou não magnéticos.

Pôde-se apresentar apenas uma visão resumida sobre a magnetização das rochas com base nos conhecimentos atuais. Recomenda-se, no decorrer de outros trabalhos, recolher e pesquisar todos os materiais de dados relacionados às propriedades magnéticas de rochas, a fim de determinar uma correlação entre as rochas e a magnetização.

#### 5.2.2. Radiação gama

As informações sobre a radiação gama das rochas

existentes resultam de uma comparação dos mapas de isoradiação com a geologia da área. Não se pode, contudo, estabelecer um esquema geral, de vez que somente 28% da área do projeto, localizados a W, N e E de Minas Gerais e em parte do Espírito Santo, possuem mapas de anomalias.

Como a experiência mostra, a radiação total é mais intensa na rocha fresca do que sobre solos. Além disso, os solos provenientes de rochas mais radiativas apresentam maior radiação do que aqueles derivados de rochas menos radiativas. As pesquisas têm demonstrado que o solo laterítico da área estudada constitui um solo residual e, regra geral, sofreu um transporte muito pequeno.

Alta radiação total foi registrada sobretudo no complexo alcali-ultrabásico de Patrocínio (máx. de 345 cps), sobre os tufos alcalinos do Cretáceo Superior do oeste de Minas Gerais (Sequência Mata da Corda, máximo de 220 cps) e sobre os granitos maciços do norte do Espírito Santo e E de Minas Gerais (Umburatiba, máximo de 671 cps). Também sobre as intrusões alcalinas de Araxá, Tapira e Poços de Caldas que, com exceção de um teste sobre Araxá, não foram radiometricamente medidas, devem ocorrer altos valores de radiação.

Valores médios de radiação total ocorrem especialmente nas áreas de afloramentos do Grupo Bambuí (80-100 cps) nas regiões de micaxistos, filitos e quartzitos do oeste de Minas Gerais (Grupos Araxá e Canastra) e nas regiões de gnaissés do Espírito Santo e E de Minas Gerais. Nas áreas de gnaisses ocorrem fortes anomalias locais sobre as zonas de fusão magmática (migmatitos) e sobre for



mações graníticas.

Radiação total baixa (abaixo de 50 cps) caracteriza as regiões de ocorrência do Cretáceo Inferior (basalto, arenito), de arenitos do Cretáceo Superior, assim como dos solos de intemperismo que ocorrem bem espalhados sob forma arenosa ou laterítica na área de pesquisa. Uma exceção constitui o solo sobre os vulcanitos do Cretáceo Superior que, com radiação total bem intensa, mostram que as substâncias radiativas sofreram somente carreamento - parcial durante os processos de intemperismo.

A radiação total permite fazer uma correta correlação litológica em rochas de grande ocorrência que apresentem radiação quase homogênea, desde que se conheça de modo aproximado a intensidade de radiação das rochas da área pesquisada. Uma delimitação das diferentes unidades de rochas, contudo, é especialmente difícil quando ocorre uma cobertura de solo espessa, o que normalmente acarreta uma diminuição total. Também o solo pode adquirir características bem diferentes das rochas imediatamente subjacentes, devido a transportes locais de soluções.

Nas áreas com tectônica de dobramento bem impressa pode-se, com os mapas de anomalias, determinar ocasionalmente a direção e a alternância litológica das diferentes sequências de rochas (vide folha E 3, Volume II).

Excetuando a radiação total, as razões entre os teores de radiação discriminados correspondentes aos elementos Th, U e K podem fornecer outras indicações sobre a litologia, mesmo no caso da existência de uma cobertura de solo.

Os teores calculados para os valores extremos dos mapas de anomalias foram inter-relacionados, sem considerar suas diferentes ordens de grandeza, dado o tipo de representação em diagrama. Na descrição das folhas, uma forte predominância de tório significa apenas um aumento relativo do teor de Th, já que o teor de K supera o de Th no mínimo por um fator de 10. Na avaliação de dados, verifica-se que a razão Th/K é mais apropriada para correlações litológicas.

A razão numérica Th/K é muito maior que 1 no corpo alcali-ultrabásico de Patrocínio, no granito de Umburatiba (e nos granitos de tipo semelhante do E de Minas Gerais e N do Espírito Santo), nos vulcanitos do Cretáceo Superior do W de Minas Gerais e raramente nos basaltos do Cretáceo Inferior de Coromandel. A radiação de Th tem diferentes origens; nos vulcanitos alcali-argilosos do Cretáceo Superior (Fácies Fatos da Sequência Mata da Corda), por exemplo, ela deriva provavelmente do Th que, junto com impurezas de Ce, está incorporado ao Ca dentro da abundante perowskita.

Uma predominância nítida de K em relação ao Th ocorre nas regiões de ocorrência do Grupo Bambuí (particularmente nos fácies siltico e argiloso), nas áreas de micaxistos, xistos e quartzitos do W de Minas Gerais (Grupo Araxá, Canastra), nos gnaisses do E de Minas Gerais e N do Espírito Santo, assim como nos basaltos do Cretáceo Inferior da borda da Bacia do Paraná, em Coromandel.

As sequências areníticas do Cretáceo e os solos lateríticos sobre o Grupo Bambuí têm uma posição intermediária (transporte de K?). Os solos sobre as rochas ri

cas em tório conservam ainda na maioria a razão Th/K original. Nestes casos ainda é possível correlacionar as unidades de rochas com base na razão Th/K, mesmo nas áreas de uma formação geológica com radiação total variável. Não se pode obter dados sobre a solução e transporte de U e K a partir de comparações dos mapas de anomalias com os conhecimentos geológicos; a grande diferença do teor de K nos solos de intemperismo do Bambuí e nos solos das áreas de gnaiss, como os do Espírito Santo, indicam diferentes processos de solução e transporte, cujas causas devem ser procuradas nas diferentes condições climáticas e geomorfológicas.

### 5.3. EXEMPLOS TÍPICOS

#### 5.3.1. Generalidades

A interpretação "geológico-econômica" das anomalias aeromagnéticas e cintilométricas baseia-se em sua forma e nas propriedades físicas das rochas (magnetização e radiação gama), além da intensidade das anomalias magnéticas, no caso de corpos magnéticos situados aproximadamente no mesmo nível. Um bom conhecimento da geologia, assim como um trabalho de campo para a identificação dos corpos causadores de diferentes formas de anomalias, constituem pressupostos importantes nesta interpretação.

Uma vez conhecidas e usadas como bases para trabalho de uma área geologicamente homogênea, as relações entre os tipos de anomalias e as feições geológicas (rochas, estruturas, falhas) podem ser aplicadas - com as devidas

reservas - para os mesmos tipos de anomalias das vizinhanças. Uma extrapolação de interpretação para distâncias maiores deve ser feita com maior cautela.

A interpretação geológica segue-se a interpretação "mineira", em que se empregam relações já conhecidas a partir dos resultados geofísicos, entre mineralização e magmatismo, fácies, rochas cristalinas, assim como indícios diretos e indiretos.

A seguir discutem-se algumas anomalias típicas da área de pesquisa e sua interpretação geológica esquemática, a partir da qual deverão ser realizados os trabalhos complementares e escolhidos os métodos de prospecção.

### 5.3.2. Aeromagnetometria

#### Itabiritos

Como indicação direta de jazidas com a aeromagnetometria deve-se citar as anomalias de itabirito (an.5). Elas se apresentam com forte intensidade (de até alguns milhares de gamas), que varia de acordo com a espessura e teor de magnetita das camadas; podem ser seguidas por grande extensão na superfície, mas se subdividem localmente em alguns trechos. Um exemplo típico representam as anomalias do Quadrilátero Ferrífero. Como método de prospecção recomenda-se naturalmente a magnetometria, em que a profundidade de um corpo detectado deve ser cuidadosamente pesquisada através desse método, com vistas a seu potencial econômico.

No caso de indícios indiretos, inicia-se primeiro com a correlação dos tipos de rochas e a interpretação

ção das estruturas geológicas a partir dos mapas aerogeofísicos, para depois tecer considerações de ordem econômico-mineral.

### Embasamento

O embasamento cristalino (tipo escudo antigo) em geral é passível de conter jazidas; pode-se esperar nele os mais diferentes tipos de jazidas metamórficas (Escandinávia, Canadá, Austrália, África do Sul). A condição prévia para um aproveitamento econômico, contudo, é que o embasamento se encontre à superfície ou a uma profundidade minerável.

Neste caso, a parte principal da interpretação reside na determinação de profundidades e na comprovação da existência de estruturas magnéticas interessantes. Os anexos 6 e 10 mostram a forma dessas anomalias, com uma interpretação esquemática; constituem anomalias intensas, com uma direção comum, abrangendo uma grande área. Estes tipos de anomalias ocorrem principalmente no noroeste de Minas Gerais. Desconhece-se se estas anomalias estão relacionadas a corpos do Minas ou do Pré-Minas.

Os métodos principais para trabalhos complementares são: magnetometria e métodos geoeletricos (EM, IP, Eletro-resistividade, SP), mapeamento geológico e geoquímica.

O embasamento cristalino "profundo" da área de pesquisa não mostrou "de per si" quaisquer mineralizações dignas de nota. Nos mapas aeromagnéticos, contudo, são localizáveis - sobretudo no norte de Minas - altos do embasamento "profundo" sob o Bambuí, nos quais as ro

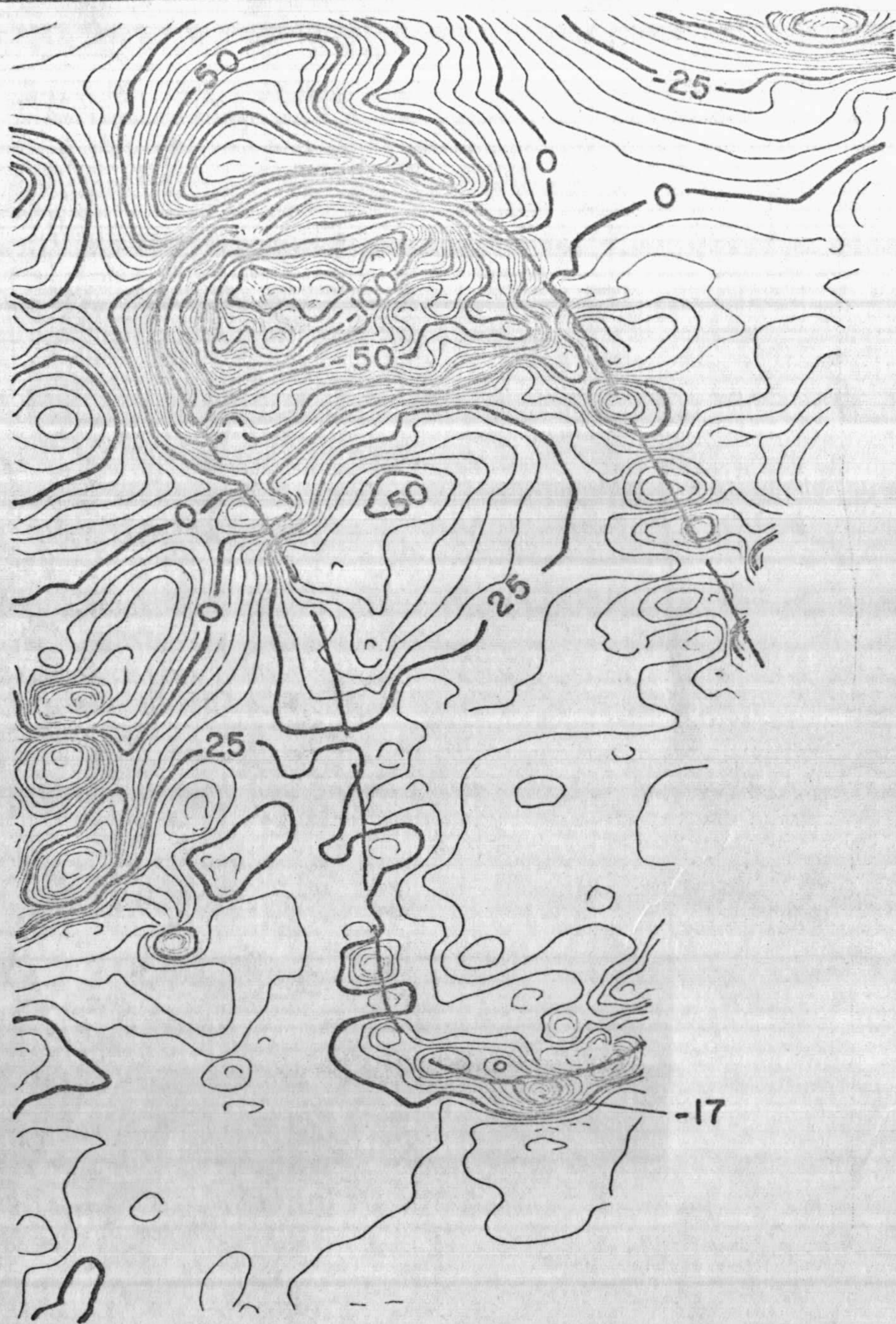
chas carbonáticas do Bambuí estão mineralizadas com Pb , Zn e F (vide esquema do anexo 2). Estes altos dentro do Bambuí são promissores em princípio também para outras mineralizações sinsedimentares (p. ex. Cu). Mineralizações nas sequências médias do embasamento serão descritas a seguir.

### Maçiços Intrusivos

Jazidas magmáticas podem estar ligadas a maçiços intrusivos. A detecção de tais maços é portanto de uma grande ajuda para trabalhos complementares de prospecção. Nos mapas aeromagnéticos eles se manifestam sob forma predominantemente arredondada e pequena extensão lateral (tipo "maço magnético"). Nestes casos admite-se , em princípio, que as anomalias fortes são causadas por rochas básicas (em parte também ultrabásicas) e as mais fracas, por granitos (vide ítem 5.2.1.).

Rochas aflorantes intermediárias a básicas e ultrabásicas possuem interesse com vistas a mineralizações de Cr, Ni, Co, Cu. Como exemplos esquemáticos, podemos citar as anomalias (vide an. 7) sobre os corpos intrusivos intermediários a básicos (diorito, gabro, norito) do sul do Espírito Santo (Aimorés, Iuna, Lagoa Branca). Estes tipos de anomalias ocorrem também sobre intrusões migmatíticas (Castelo, Conceição de Muqui) e podem alternar com as primeiras.

Como trabalhos complementares recomendam-se inicialmente pesquisas geológicas e geoquímicas, para obter noções sobre o potencial mineral. Caso se obtenham indícios positivos, deve-se executar medidas geofísicas (magnetometria, métodos geoeletricos, radiometria) a fim de



**ANOMALIENTYP UNMAGNETISCHES MASSIV**

Unmagnetisches Kerngebiet, umgeben von magnetischen Randanomalien

**ALKALIGRANIT INTRUSION JACINTO**

**TIPO DE ANOMALIA - MACIÇO NÃO MAGNÉTICO**

Núcleo não magnético, circundado por anomalias magnéticas periféricas

**INTRUSÃO ALCALI - GRANÍTICA DE JACINTO**

$\Delta T$  - Isanomale in Gamma  
Isanômala da intensidade magnética total em Gammas

0 25 Km



determinar sua localização exata, dentro da grande área aerogeofísica. Nas áreas estudadas, os levantamentos geoquímico-geológicos só em um caso produziram resultados que justificassem trabalhos subsequentes.

### Pegmatitos

Jazidas pegmatíticas podem ser esperadas em faixas estreitas dentro de rochas ácidas, graníticas. Se as rochas graníticas são não-magnéticas, como em grande parte da área de pesquisa, o campo magnético mostra um máximo amplo, praticamente imperturbado (nas condições de inclinação magnética de Minas Gerais). Os granitos são geralmente circundados por anomalias periféricas, que em muitos casos podem ser interpretadas como zonas de contato ricas em magnetita. A prancha 27 mostra um exemplo destas anomalias sobre a intrusiva alcali-granítica de Jacinto.

Anomalias do mesmo tipo são observadas sobre complexos granítico-gnaíssicos, como mostra o anexo 8. Nesse exemplo, as anomalias periféricas a W são interpretadas como falhas (material magnético intrudido em falha), a N como horizonte magnético, possivelmente da Série São João del Rey, e a E, como anfibolito e granito. Na área de pesquisa conhecem-se jazidas pegmatíticas de pedras coradas, de Zn, Li, Be, Nb e Ta, que também podem ser indicadas por estes tipos de anomalias.

Granitos e gnaisses graníticos magnéticos correspondem naturalmente aos denominados "maciços magnéticos". Em Conceição do Muqui, por exemplo, um pegmatito com gemas (água-marinha) está ligada a um maciço migmatítico -



fortemente magnético.

Informações adicionais importantes sobre estas rochas e tipos de jazidas devem ser adquiridas com os levantamentos aero-radiométricos complementares executados (vide ítem 5.3.3), desde que os pegmatitos sejam fortemente radiativos.

Se o maciço se encontra sob alguma cobertura (ordem de km), deve-se ter por objetivo mineralizações de diques nas rochas da cobertura. Nestes casos e nos já mencionados anteriormente, recomenda-se nos programas de trabalhos complementares, realizar primeiro um reconhecimento geoquímico-geológico, para obter informações sobre a característica das rochas, a tectônica e a mineralização. Só nos casos de indícios promissores deverão ser executadas pesquisas geofísicas posteriores.

### Chaminés

Anomalias circulares, que ao contrário dos tipos acima discutidos de "maciços magnéticos", representam anomalias tipo-chaminé, ocorrem de modo frequente em Minas Gerais. Sabendo-se que os complexos alcali-ultrabásicos da região W (Patrocínio, Araxá, Tapira) coincidem com estas anomalias (magnéticas e radiométricas), sua interpretação geológica é evidente.

Estes complexos têm interesse econômico muito grande para prospecções ulteriores, já que a eles podem estar associadas mineralizações de Cu, Ni, Ti, fosfato, terras raras, urânio etc. O anexo 9a mostra exemplos destes tipos de anomalias (designadas com o número 1); sua interpretação esquemática geológico-econômica, é mostrada

no anexo 9a.

Os trabalhos complementares devem começar com levantamentos geoquímicos, aos quais se seguem medidas geofísicas (radiometria, magnetometria e especialmente métodos geoelétricos, os últimos sobretudo para mineralizações de sulfetos) para delimitar as zonas mais interessantes dentro de grandes áreas aerogeofísicas.

Anomalias do mesmo tipo, mas de muito menor diâmetro, indicam também corpos (básicos) tipo chaminé. Sondagens em um desses corpos (vide anexo 9a anomalias de nº 4) indicaram possível rocha quimberlítica alterada. É aconselhável uma prospecção na região dessas anomalias com vistas a diamante (outros exemplos, vide também anexo 9a, nº 4 e interpretação esquemática no anexo 9a).

Para trabalhos complementares recomenda-se o emprego principalmente de magnetometria e radiometria secundados pela geoquímica.

#### Lineamentos magnéticos

O tipo de anomalia "lineamento magnético" já foi tratado no item 3.1.2 (vide também an. 9a nº 2 e anexo 9a). Ele é interpretado como provável zona de falhas ou diques.

Diques são interessantes do ponto de vista da prospecção mineral no caso de serem mineralizados ou terem servido como conduto de soluções. Diques de basalto geralmente carecem de interesse. Recomenda-se que a prospecção seja efetuada de preferência nos locais onde o dique não apresente qualquer anomalia magnética, mas onde

possivelmente continue. Como método, sugere-se em primeiro lugar a geoquímica (combinada naturalmente com a geologia) para verificar se existem mineralizações de particular interesse; somente se isso ocorrer deve-se empregar a geofísica, especialmente métodos geoeletricos.

As rochas que causaram as anomalias de lineamento e as anomalias em forma de chaminé do W de Minas Gerais devem ser originadas do vulcanismo do Cretáceo; elas se encontram bem próximas aos basaltos (vide an. 9a) e o vulcanismo correspondente deve ser atribuído aos mesmos processos tectônicos.

#### Basaltos e tufos

Campos magnéticos perturbados de distribuição ampla, com anomalias pequenas e irregulares de algumas centenas de gamas, são típicos da região de ocorrência dos basaltos e tufos cretácicos que jazem horizontalmente no W de Minas Gerais (vide an. 9a, nº 3 e an.9c).

Com a magnetometria não é possível estabelecer uma diferenciação entre estes dois tipos de ocorrência; contudo, os tufos, ao contrário dos basaltos, evidenciam - se por intensas anomalias radiométricas, especialmente pelo teor de Th (vide anexo 9b).

Em relação a jazidas minerais, estas áreas apresentam interesse, como nas regiões de tufos do Cretáceo Superior, que foram prospectadas pelo DNPM para a pesquisa de bentonita; a distribuição das anomalias de tufos deve igualmente representar possíveis ocorrências deste material.

### Migmatitos

Campo magnético perturbado de ampla distribuição mostram também as regiões de migmatitos do SW de Minas Gerais (vide an. 10). Uma análise acurada mostra que estes se diferenciam das anomalias de tufos e basaltos: as anomalias pequenas, que se manifestam através de um enrugamento das isanômalas, sobrepõem-se a anomalias amplas bem definidas.

As anomalias pequenas devem ser atribuídas a rochas aflorantes ou pouco profundas; a causa das amplas deve ser procurada, segundo estimativas, entre 1 a 5km de profundidade.

As anomalias devem ser explicadas por processos de migmatização: com o aumento da temperatura das rochas - que no nosso caso compreende evidentemente grandes unidades (algumas centenas de quilômetros) - por material magnético apropriado, ocorrem magnetizações (com formação das anomalias irregulares); se a migmatização prossegue até a mobilização dos materiais das rochas, pode-se chegar à configuração de maciços intrusivos, que, como descrito, podem formar anomalias homogêneas de grande extensão. Em relação à sua interpretação (significado) do ponto de vista de jazidas, vale o que foi dito para os "maciços" (vide an. 7).

### Ultrabásicas

As ultrabásicas, intrusivas olivínicas da área de pesquisa, causam anomalias aeromagnéticas relativamente fracas (an. 11); o que pode ser devido a uma serpentiniz

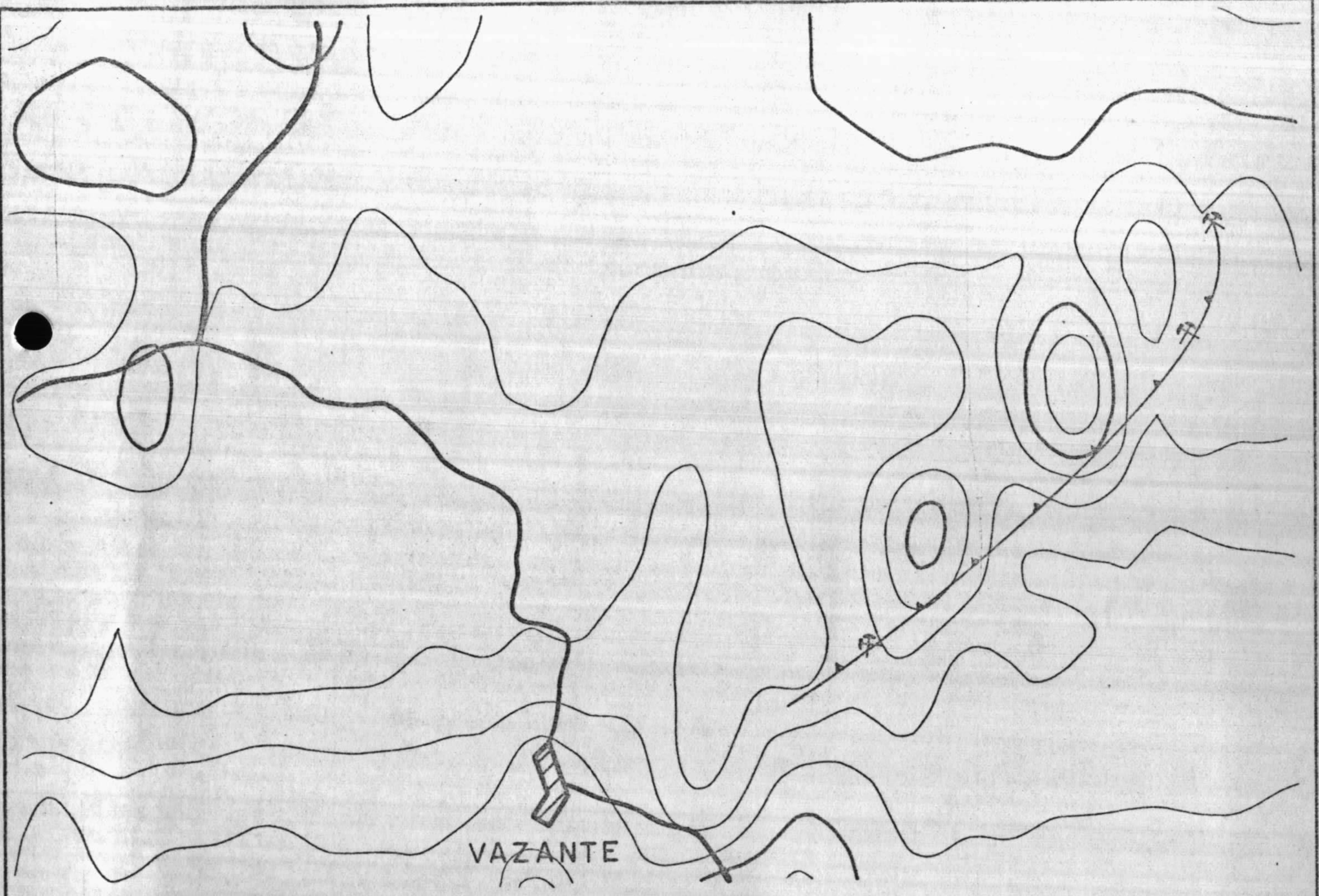
zação incompleta destas rochas. Com isto, torna-se difícil estabelecer uma correlação; existe a possibilidade, no entanto, de seguir as fracas anomalias de ocorrências conhecidas. Estas têm interesse especial, já que mineralizações de Cr, Ni, Pt, Cu podem estar ligadas a elas; é o caso, por exemplo, de Serro e Serra da Canastra (Cr) e de Pratópolis (Ni, Morro do Níquel).

Para trabalhos complementares, recomenda-se principalmente magnetometria, geoquímica, mapeamento geológico específico e radiometria, esta como complementação da magnetometria - sobre estas ultrabásicas observou-se uma radiação gama muito baixa.

#### Mineralizações de Pb-Zn-F

Não se pode até o momento estabelecer de modo definitivo a relação causal entre as fracas anomalias magnéticas e as mineralizações de Pb-Zn-F de Januária/Itacarambi e a mineralização de Zn de Vazante (pr. 28) dentro do Bambuí; é possível que esses minérios contenham minerais magnéticos. Uma vez que a causa não está esclarecida, é problemática uma correlação direta de mineralizações desse tipo com os mapas de anomalias. Existe, no entanto, a alternativa de prospectar as fracas anomalias localizadas diretamente nas proximidades de jazidas e ocorrências conhecidas. Por outro lado, as mineralizações de Januária/Itacarambi estão dentro de regiões de altos do cristalino, que podem ser localizados através dos mapas aeromagnéticos (vide atrás - Embasamento).

Para trabalhos complementares são adequados, segundo os conhecimentos atuais, principalmente geoquímica



ANOMALIE IM GEBIET DER  
Zn - LAGERSTÄTTE VAZANTE

ANOMALIA NAS PROXIMIDADES DA  
JAZIDA DE Zn DE VAZANTE

STÖRUNG  
FALHA

LAGERSTÄTTE  
JAZIDA

$\Delta T$  - ISANOMALE

10  $\gamma$

Isanomala de intensidade magnetica  
total em Gammas

e mapeamento geológico de detalhe, que podem ser apoiados, nos casos concretos, por pesquisas geofísicas (VLF, IP, magnetometria).

### Outras ocorrências

Outras jazidas importantes de Minas Gerais são as de Al (bauxita) e de Mn (Quadrilátero Ferrífero - Lafaiete). Estas mineralizações não apresentam qualquer anomalia aeromagnética definida; não se exclui, contudo, a possibilidade delas causarem ocasionais anomalias fracas. Não existe, no momento, qualquer carta topográfica com precisão suficiente para se poder estabelecer uma comparação direta dos mapas de anomalias com a localização das jazidas conhecidas.

### 5.3.3. Aero-radiometria

Em relação à prospecção mineral, a aero-radiometria funciona como método direto, já que se pode determinar, diretamente, enriquecimentos de U e Th na superfície a partir dos registros discriminados.

Como, devido a problemas técnicos, mal se levantou radiometricamente um terço da área de pesquisa, não se pode tirar conclusões sobre possíveis mineralizações para toda a área. Isto sucede principalmente porque 60% da parte sobrevoada não compreende regiões de cristalino que, conforme os conhecimentos atuais, devem ser consideradas mais promissoras que os sedimentos do Pré-Cambriano Superior e do Mesozóico.

Durante o sobrevôo da região de Umburatiba e Governador Valadares foram detetadas rochas graníticas , dentro do cristalino do E de Minas Gerais, com alta porcentagem de Th e U na radiação total.

Um levantamento especial sobre os quartzitos do Grupo Minas de Pequi detetou igualmente altos valores de Th e U sobre rochas conglomeráticas.

Altos valores de radiação e de conteúdo de Th e U foram igualmente registrados sobre o complexo alcali ultrabásico de Patrocínio.

Não existem conhecimentos sobre a intensidade de radiação gama de pegmatitos, uma vez que não foram confeccionados mapas de anomalias radiométricas sobre os pegmatitos explorados a E e NE do Estado de Minas Gerais.



## 6. BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA, A.L.M., GROSSI SAD, J.H., TORRES, N. e MELLO, M.T.V, 1966  
Description of the Preliminary Geologic Map of the Middle Rio  
Doce. Amer. Geol. Inst. Intern. Field Inst., Guidebook, Brazil ,  
III/1 - III/7.
- BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C & CUNHA, C.A.B.R., 1970 -  
Geologia da região do Triângulo Mineiro. Minist. Minas e Energia  
DNPM, bol. 136.
- BEUERLEN, H., 1973 - Blei-Zink-Fluorit-Vererzungen in den Karbo  
natgesteinen der Bambui-Gruppe, Minas Gerais, Brasilien. Muenster  
Forsch. Geol. Palaeont., H. 31-32, s. 117-143, 2 fig., 6 pran  
chas, Muenster.
- BOSUM, W., 1968 - Ein automatisches Verfahren zur Interpretation -  
aeromagnetischer Anomalien nach der Methode der kleinsten Qua  
drate. Geoph. Prospect., vol. XVI, nº 1, s. 107 - 126, 8 fig. ,  
Leiden.
- BOSUM, W., 1970 - Examples of Basement Mapping by Airbone. Magne  
tic Surveys. Boll. de Geofisica Teorica ed Applicata, XII, 45-46,  
s. 45-59, 9 figuras. Trieste.
- BOSUM, W., 1973 - O levantamento aeromagnético de Minas Gerais e  
Espírito Santo e sua sequência quanto a estrutura geológica .  
Rev. Brasil. de Geociências, vol. 3, p. 149-159 São Paulo.
- BOSUM, W., & MOLLAT, H., 1975 - Relatório sobre a interpretação de  
mapas de isanomalias magnéticas na região noroeste de Minas. Ge  
rais. CGBA/DGGM. Belo Horizonte.
- CONVÊNIO DNPM-CPRM, 1970 - Projeto Fosfato de Cedro do Abaeté. Re  
latório inédito, 74 pag., fotos, mapas. Belo Horizonte.

CONVÊNIO DNPM-CPRM, 1971 - Projeto Leste de Tocantins/Oeste do Rio São Francisco. Esboço geológico de compilação, escala 1:1 000 000. Salvador.

CONVÊNIO DNPM-CPRM, 1971 - Projeto Folha do Rio de Janeiro. Mapas geológicos 1: 250 000, Folhas

Passos SF-23-V-A

Formiga SF-23-V-B

Varginha SF-23-V-D

Divinópolis SF-23-X-A

Barbacena SF-23-X-C

Juiz de Fora SF-23-X-D

CONVÊNIO DNPM-EFMOP, 1974 (?) - Setor G da Geotransversal E-W. Mapa geológico 1: 250 000. Rio de Janeiro.

CONVÊNIO GEOFÍSICA BRASIL-ALEMANHA, 1972 (interno) - Mapas geológicos. 1: 100 000. Folhas

Brasília de Minas

Coração de Jesus

Montes Claros

Jequitaí.

CORDANI, U.B., 1973 - Síntese dos dados geocronológicos disponíveis para a região oriental da Plataforma brasileira. XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Bol. 2, p. 27-27. Aracajú.

DNPM, 3º Distrito, 1967 - Esboço geológico de Minas Gerais. Mapa escala 1: 1 000 000. Belo Horizonte.

DORR, I.V.N., 1969 - Physiographic, stratigraphic and structural - development of the Quadrilatero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. Prof. Paper 641-A, 110 pag. Washington.

EBERLE, W.G., 1972 - Petrographische und geologische Untersuchungen

in der Umgebung von Diamantina (Espinhaço-Zone, Minas Gerais ,  
Brasilien). Beih. Geol. Jb, 121, pag. 5-58, 5 fig. 10 pranchas ,  
Hannover.

EBERLE, W.G., 1974 - Reconhecimento geológico de Patos de Minas, Co  
romandel, Monte Carmelo - Minas Gerais. CGBA/DGGM. Belo Horizon  
te.

EBERLE, W.G., 1975 - Relatório de prospecção geoquímica e sondagens  
Anomalia F, Coromandel, Minas Gerais. CGBA/DGGM. Belo Horizonte.

EBERT, H., s/data - Mapa estrutural do Sul de Minas e adjacências.

EBERT, H., s/data - Os Paraibides entre São João del Rey (Minas Ge  
rais) e Itapira (São Paulo) e a bifurcação entre Paraibides e  
Araxaides. Manuscrito, 37 pg., 3 mapas.

ELLERT, R., 1959 - Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de  
Poços de Caldas. Univ. S. Paulo, Fac. Fil. Cie. Letras., Bol. 237,  
Geol. 18, 63 pg, 23 fig., 1 mapa. São Paulo.

FRANK, R., 1969/70 - Geologische Karte der Serra Mineira (Espinha  
ço Zone, Minas Gerais, Brasilien) 1: 100 000. Manuscrito. Heidel  
berg.

GEIPEL, H., BOSUM, W., & LAHNER, L., 1974 - Projeto de verificação  
de anomalias radiométricas - Umburatiba, Minas Gerais. CGBA/DGGM  
Belo Horizonte.

GEOEXPLORAÇÕES LTDA., 1968 - Mapas geológicos. Folhas  
Pirapora 1: 250 000  
Diamantina 1: 100 000

GEOEXPLORAÇÕES LTDA., 1969 - Mapa geológico folha Rio Vermelho es  
cala 1: 100 000.

GORLT, G., 1972 - Fazieswechsel und Metamorphose in der westlichen  
Serra Negra (Espinhaço-Zone, Minas Gerais, Brasilien). Geol. -

- Rdsch., 61, pg. 166-201, 20 fig., 2 pranchas 1 tab. Stuttgart.
- GROSSI SAD, J.H., CARDOSO, R.N., & COSTA, M.T., 1971 - Formações cretácicas em Minas Gerais: uma revisão Rev.Bras. Geocie., Vol. 1, nº 1, pag. 2-13. São Paulo.
- HAGEN, D., MOLLAT, H., BOSUM, W., 1974 - Reconhecimento geológico-geoquímico: Guandu/Castelo, Minas Gerais/Espírito Santo. CGBA / DGGM Belo Horizonte.
- HAGEN, D., ULRICH, H.J., 1974 - Prospecção geofísica experimental área de Tijuco, Município de Januária, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- HETTICH, M., 1973 - Zur Stratigraphie und Genese des Macaubas noerdlich der Serra Negra, Espinhaço-Zone (Minas Gerais, Brasilien). Dissertação inédita, 42 pg., 8 fig., 8 fotografias. Freiburg.
- KEHRER, P., 1972 - Zur Geologie der Itabirito in der suedlichen - Serra do Espinhaço (Minas Gerais, Brasilien). Geol. Rdsch. 61 , nº 1, pg. 216-249, 15 fig., 2 tab. Stuttgart.
- KIND, E.G., 1964 - Formel zur Berechnung magnetischer Anomalien dreidimensionaler Modellkoerper und Programm fuer Rechenautomaten Bundesanstalt fuer Bodenforschung, (inédito).
- LAHNER, L., 1972 - Bericht ueber die Gelaendebefahrung São João del Rei-Piedade. CGBA/DGGM, 6 pág., 3 fig. (notas internas).
- LAHNER, L., BOSUM, W., et al., 1973 - Reconhecimento geológico - geoquímico de Buenópolis, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- LAHNER, L., BOSUM, W., 1974 - Reconhecimento geológico-geoquímico de Morada Nova de Minas, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- LAHNER, L., & GEIPEL, H., 1973 - Geologisch-geophysikalische Vor

untersuchung der szintillometrischen Anomalie von Governador Valadares, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte (relatório de viagem - interno).

LAHNER, L., PAULSEN, S., & BOSUM, W., 1973 - Reconhecimento geológico-geoquímico de Conselheiro Pena/Alvarenga, Minas Gerais . CGBA/DGGM Belo Horizonte.

LAHNER, L., HAGEN, D., & BOSUM, W., 1975 - Reconhecimento geológico-geoquímico da Serra da Canastra, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.

LIANDRAT, E. & LEAL, J., 1972 - Mapa geológico da folha de Vitória. Rev. Bras. de Geografia, vol 34, nº 2, pg. 120-130. Rio de Janeiro.

MOLLAT, H. & BOSUM, W., 1974 - Reconhecimento geológico-geofísico: Serra das Almas, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.

MOLLAT, H., HAGEN, D., & ULRICH, H-J., 1975 - Reconhecimento geológico-geofísico na região de Cachoeiro-Mucurici, Espírito Santo . CGBA/DGGM Belo Horizonte.

MORAES, L.J., 1935 - Depósito niquelífero da Fazenda da Graminha , Estação de Sinimbu, Município de Cataguazes - Estado de Minas Gerais. DNPM, rel. 536. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, F.A. & QUEIROZ, E.T., 1972 - Projeto Espírito Santo-Rel. 01 - Ocorrências minerais. CPRM Belo Horizonte.

OSTWALD, J., & al., 1975 - Prospecções geofísicas e geológico-geoquímicas em áreas geomagneticamente anômalas: Coromandel, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.

PAULSEN, S., & al.; 1974 - Reconhecimento geológico-geoquímico: Ipanema/Pocrane, Minas Gerais . CGBA/DGGM Belo Horizonte.

- PAULSEN, S. et al., 1974 - Reconhecimento geológico-geoquímico : Pratinha-Argenita-Tapira-Serra da Canastra, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- PAULSEN, S. et al., 1975 - Reconhecimento geológico-geofísico : Januária-São Francisco-Carinhanha, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- PAULSEN, S., MOLLAT, H., & BOSUM, W., 1974 - Reconhecimento geológico-geoquímico: Felixlândia /Curvelo , Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- PAULSEN, S. et al., 1974 - Reconhecimento geológico-geofísico : Janaúba, Rio Pardo de Minas, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- PFLUG, R. & RENGGER, F., 1973 - A evolução geológica da margem SE do Craton São Francisco. XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Bol. 2, pg. 28-30. Aracaju.
- PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1972 - Relatório sobre levantamento aeromagnético dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Relat. nº 70 155/1, 32 pg, 172 anexos, Hannover.
- PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1972 - Relatório sobre levantamento aeroradiométrico no Estado de Minas Gerais. Relatório nº 071 155/2 , 27 pg., 51 anexos, Hannover.
- PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1973 - Relatório sobre levantamento aerogeofísico nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Relat. nº 721 006, 22 pg., 75 anexos, Hannover.
- PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1973 - Relatório sobre levantamento aerogeofísico nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Relat. nº 721 006a, 22 pg. 87 anexos, Hannover.
- PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1973 - Relatório sobre processamentos aerogeofísicos nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Relat. nº 721 006b, 22 pg. 87 anexos, Hannover.

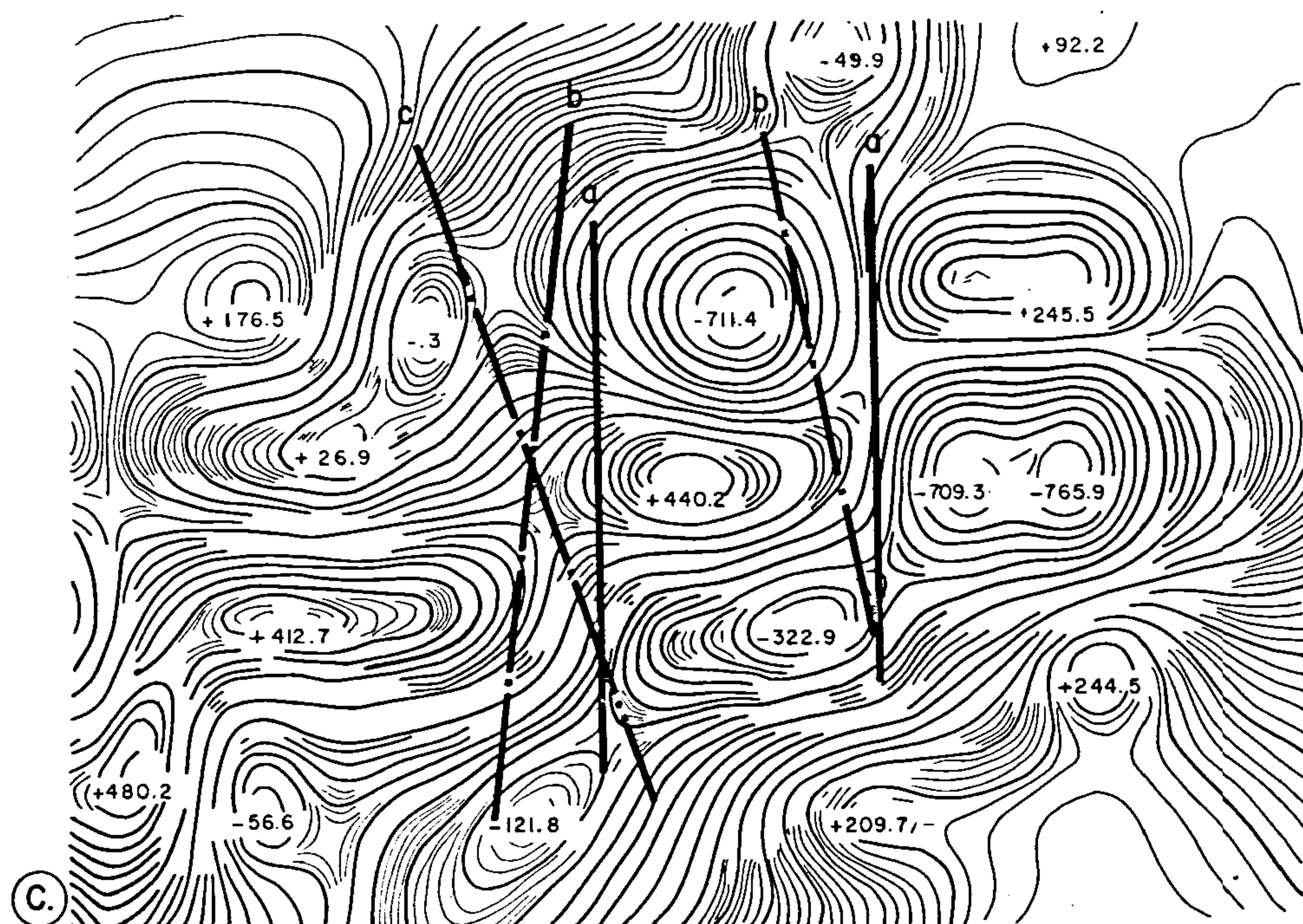
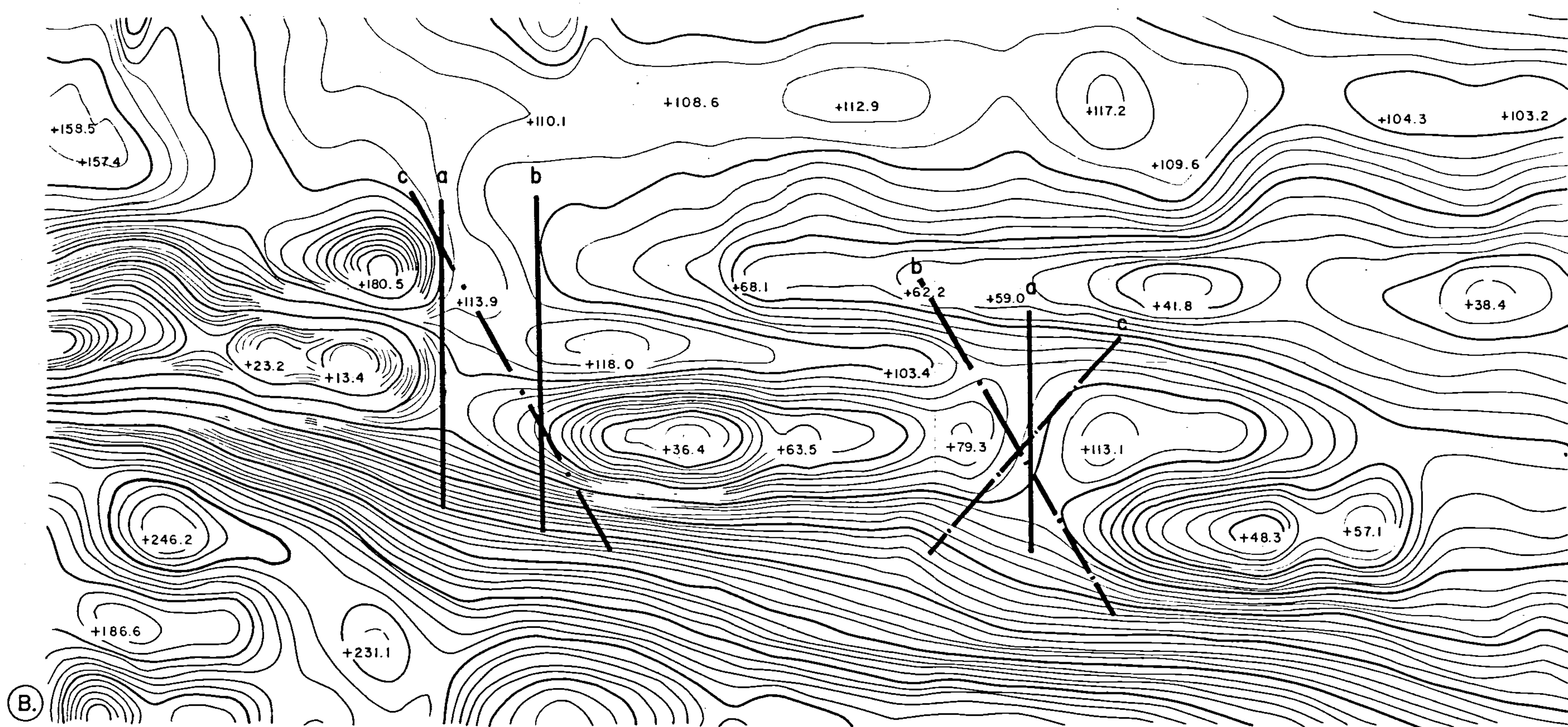
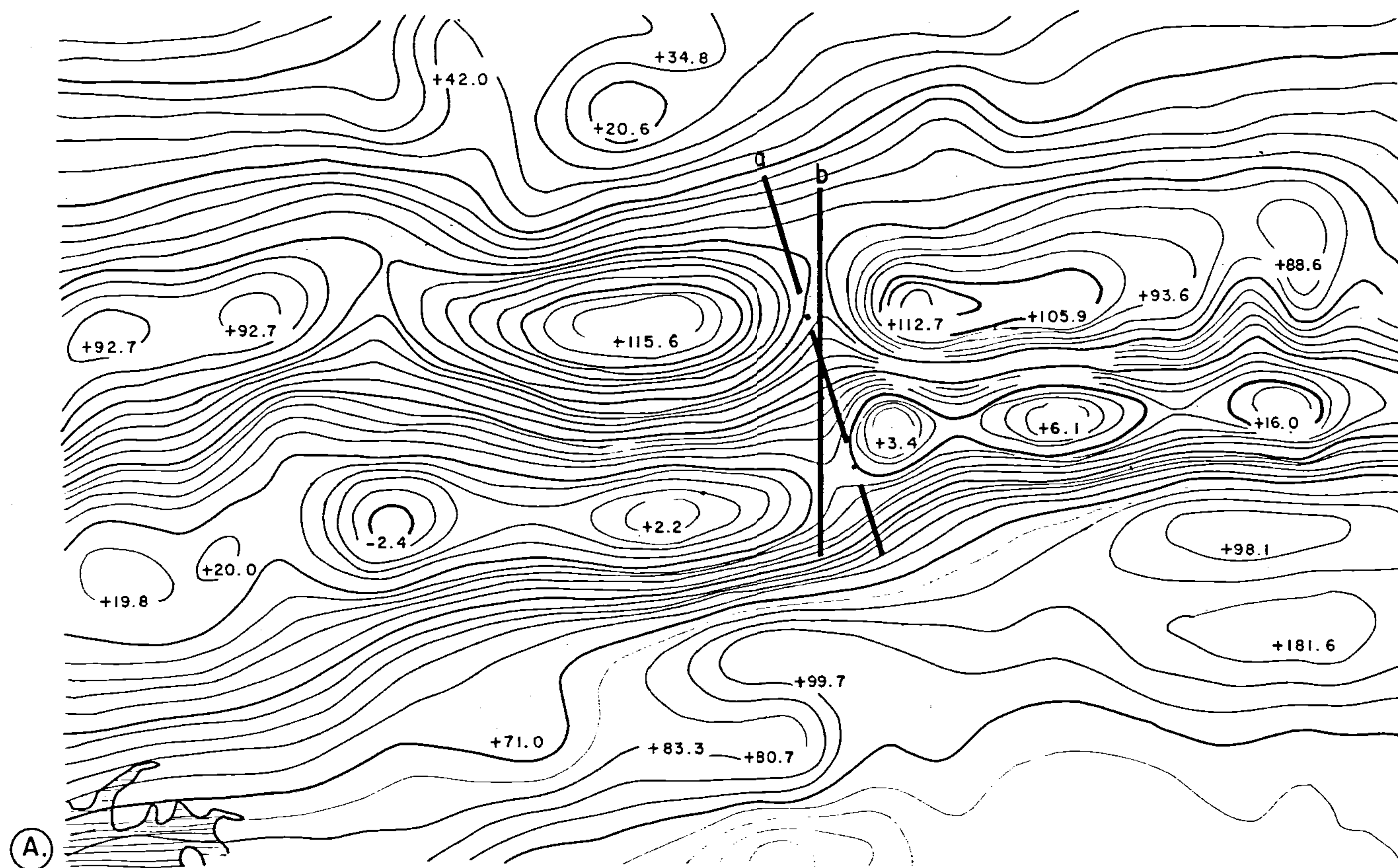
- geofísicos especiais nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Relat. nº 721 006 b, 11 pg., 60 anexos, Hannover.
- PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1974 - Relatório sobre processamento de levantamentos aero-raíométricos nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Relat. nº 721 006c, 14 pg., 17 anexos, Hannover.
- PROSPEC, s/data - Projeto Goiânia: Geologia da Região Sul de Goiás. Relat. Prel. nº 511 DNPM/6D. Mapas geológicos 1: 250 000. Folhas  
Buritis  
Unai  
Paracatu  
(Guardamor)
- PROSPEC, s/data - Levantamento geológico aerogeofísico: Região de São João del Rei - Mapa litológico-estratigráfico 1: 100 000.
- QUEIROZ, E.T. & al., 1973 - Projeto Espírito Santo: Relatório de fotointerpretação preliminar. CPRM Belo Horizonte.
- RENGER, F., 1970 - Fazies und Magmatismus der Minas-Serie in der suedlichen Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasilien. Geol. Rdsch., vol 59, nº 3, pg. 1253-1292, 25 fig., 1 tab., 1 prancha, Stuttgart.
- RICHTER, P. et al., 1975 - Reconhecimento geológico-geoquímico : Pitangui-Papagaios-Pequi, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- RICHTER, P., HAGEN, D. & BOSUM, W., 1973 - Reconhecimento geológico-geofísico: Papagaios, Minas Gerais. CGBA/DGGM Belo Horizonte.
- ROBERTSON, J.F., 1963 - Geology of the lead-zinc Deposits in the Município de Januária, State of Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. Bull. 1110-B, 110 pg, 21 fig., 4 pranchas, Washington.

SCHMIDT, H.L., 1972 - Fazieswechsel in der jungproterozoischen São Francisco Série bei Bocaiuva, Espinhaço-zone, Minas Gerais, Brasilien. Beih. Geol. Jb., vol. 121, pg. 37-64 - 9 fig. 4 pranchas Hannover.

SCHOBENHAUS, C., 1971 - Mapa geológico da Serra do Espinhaço entre Porteirinha e Monte Azul, Norte de Minas Gerais. DNPM.

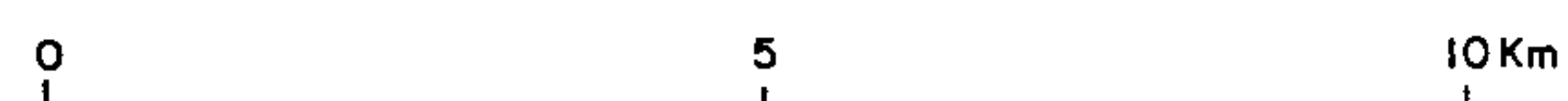
SCHOELL, W.U., 1972 - Der suedwestliche Randbereich der Espinhaço-Zone, Minas Gerais, Brasilien. Geol. Rdsch. vol. 61, nº 1, pg. 201-216, 7 fig., Stuttgart.





DAS ERSCHEINUNGSBILD VON QUERSTÖRUNGEN  
IM ISANOMALENPLAN DER AEROMAGNETIK

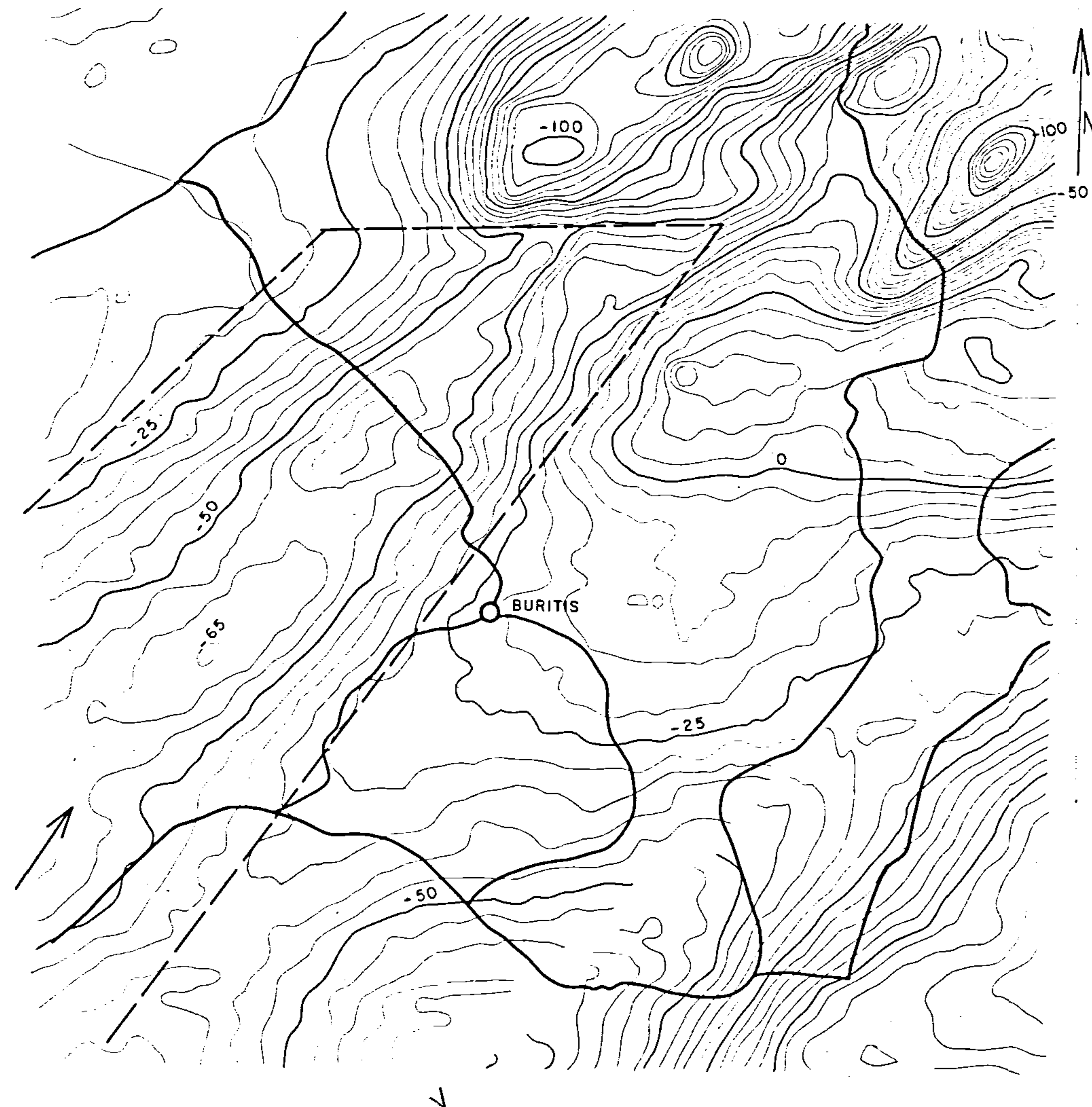
EFEITO DE FALHAS TRANSVERSAIS NO  
MAPA DE ISANOMALIAS AEROMAGNÉTICAS



- $\Delta T$  - ISANOMALE  
ISANÓMALA -  $\Delta T$
- STÖRUNG  
FALHA
- MÖGL. VERLAUF  
POSSIVEL TRAÇADO

ANEXO I

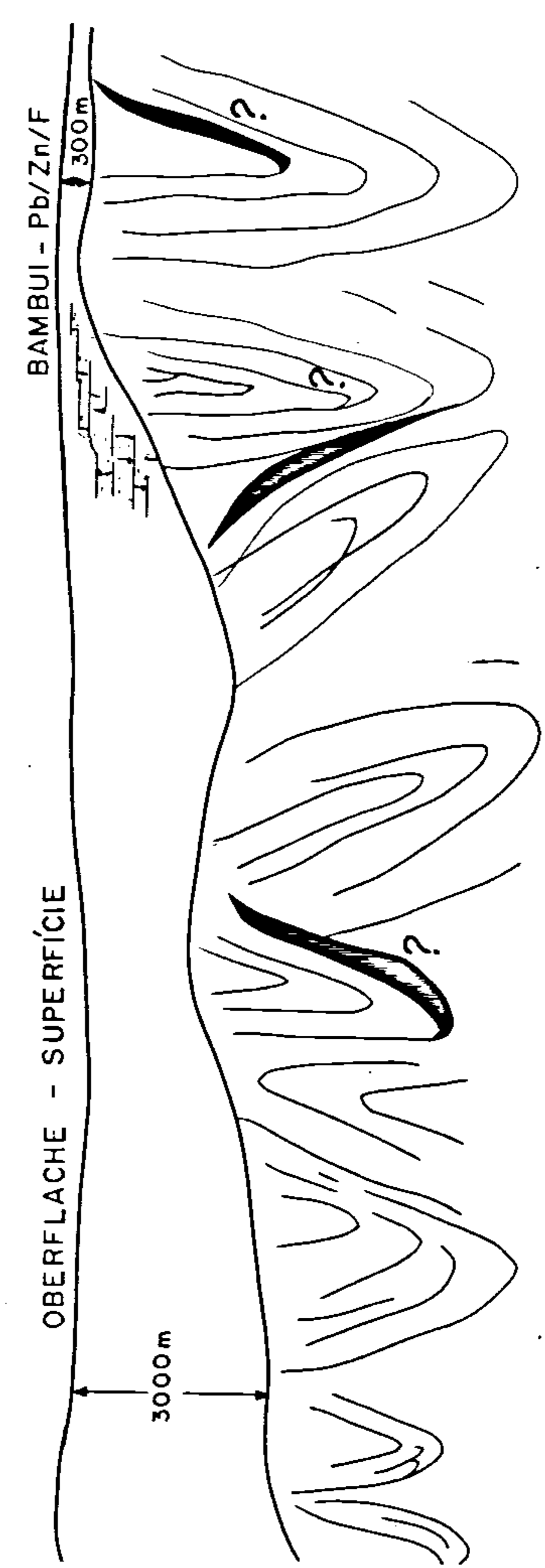
ANOMALIAS -  $\Delta T$   
CORPO MAGNÉTICO ASCENDENTE A NE



0 30 Km

$\Delta T$  - ANOMALIEN  
STÖRKÖRPER SW-NE AUFTAUCHEND

PERFIL GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO N-S



EMBASAMENTO  
COM POSSIVEIS JAZIDAS  
METAMORFICAS

BASEMENT  
MIT MÖGLICHEN  
METAMORPH.  
LAGERST.

SCHEMATISCHES N-S PROFIL

ANEXO 2

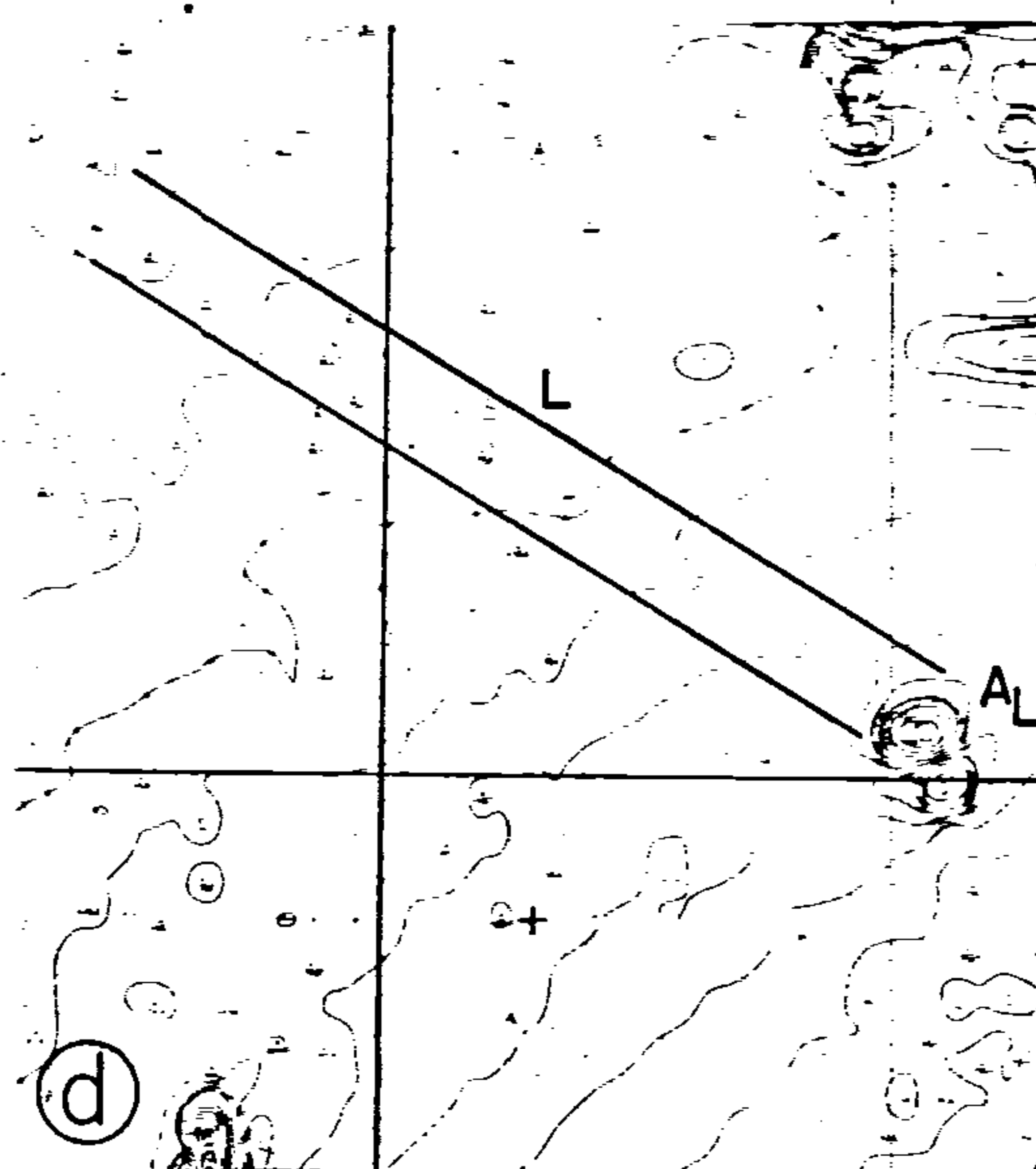
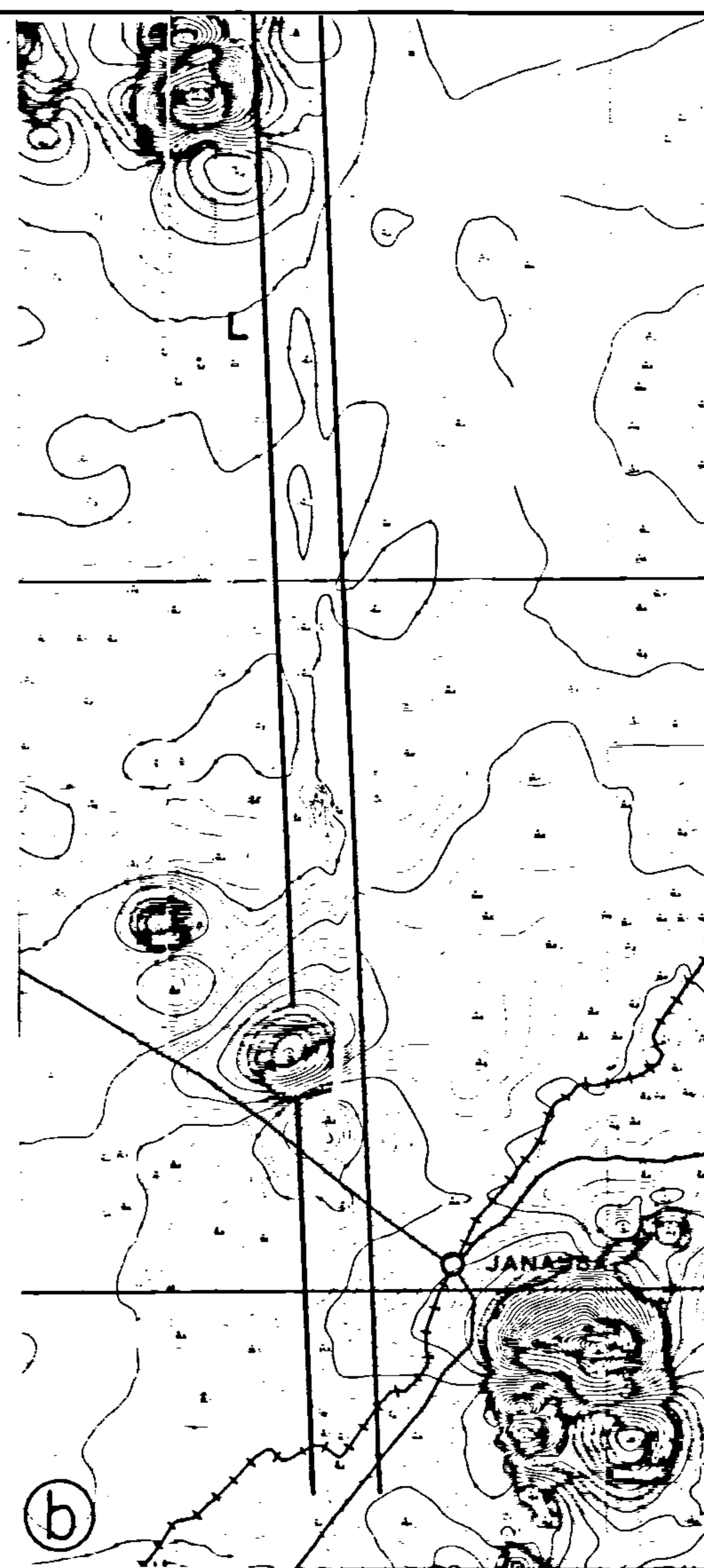
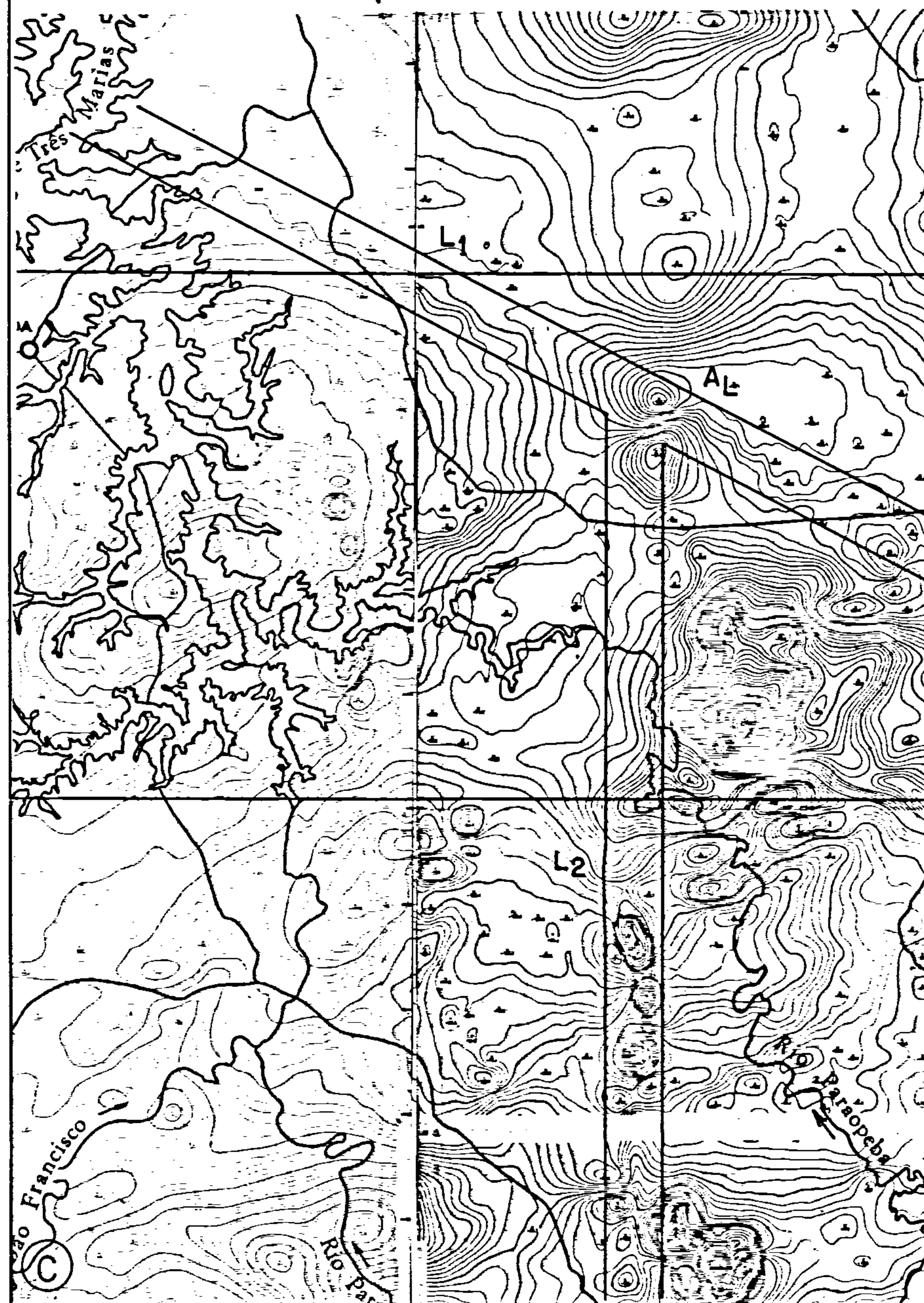
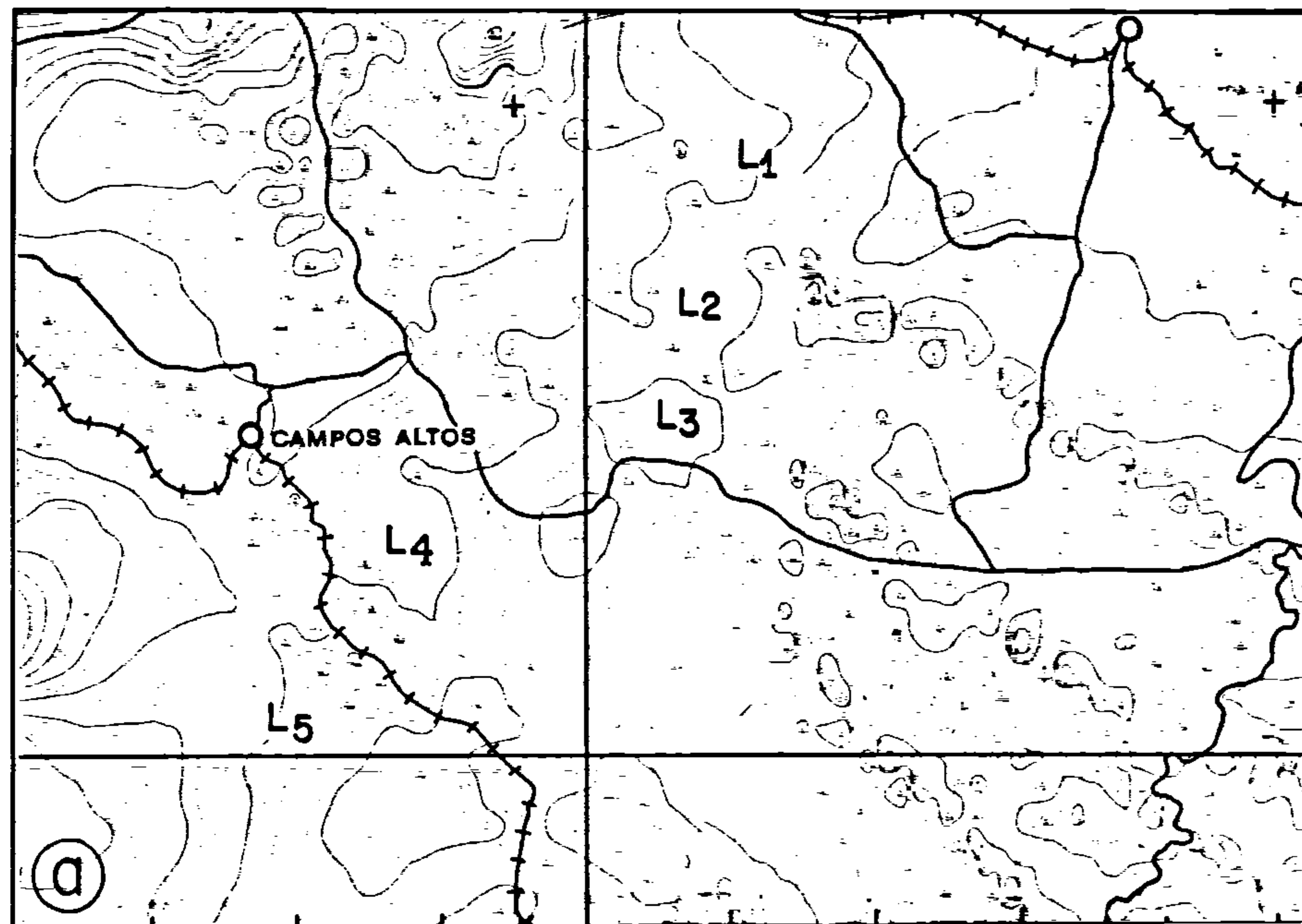


FIG. Abb-29

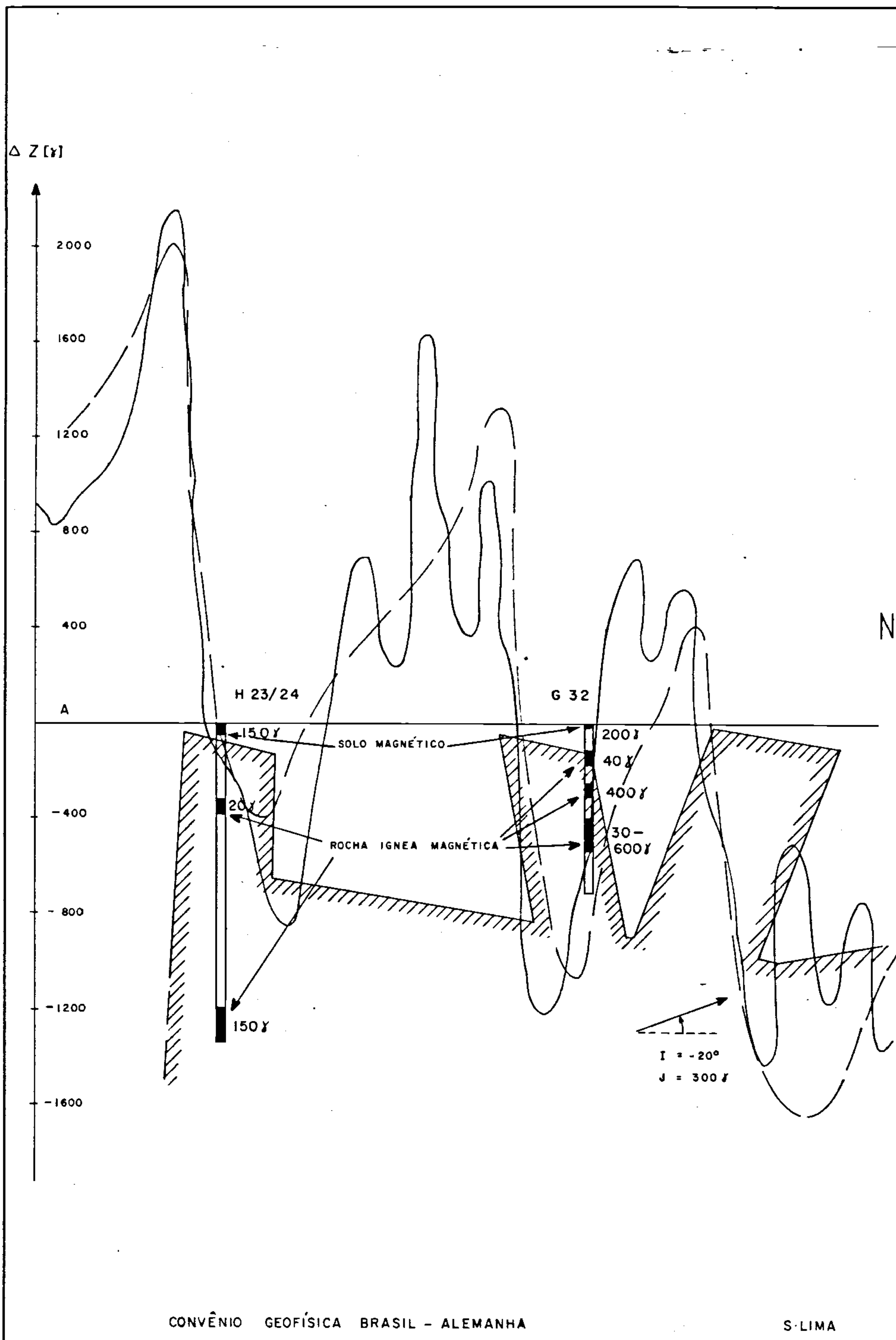
BEISPIELE MAGNETISCHER LINEAMENTE (L)  
GEGEBEN DURCH

- a) ZENTRALE STREICHENDE ANOMALIEN
- b) ZENTRALE STREICHENDE ANOMALIEN UND RANDLAGE  
LOKALER A.
- c) L<sub>1</sub> ZENTRALE STREICHENDE ANOMALIEN  
L<sub>2</sub> ZENTRALE LOKALE A. UND RANDLAGE  
FLÄCHENHAFTER A.  
MAN BEACHT E LOKALE A.(AL) IM SCHNITTPUNKT VON  
L<sub>1</sub> UND L<sub>2</sub> (BASISCHE INTRUSION?)
- d) ZENTRALE STREICHENDE A.(L) UND ZENTRALE  
LOKALE ANOMALIE (AL) (BASISCHE INTRUSION?)

EXEMPLOS DE ALINHAMENTOS MAGNÉTICOS (L),  
DADOS POR:

- a) FAIXAS MAGNÉTICAS
- b) FAIXAS MAGNÉTICAS E MARGINAIS A ANOMALIAS CIRCULARES
- c) L<sub>1</sub>: FAIXAS MAGNÉTICAS  
L<sub>2</sub>: ANOMALIAS CIRCULARES E MARGINAIS A ANOMALIAS AMPLAS.  
OBSERVA-SE A ANOMALIA CIRCULAR AL NA INTERSECÇÃO  
DE L<sub>1</sub> E L<sub>2</sub> (INTRUSÃO BASICA?)
- d) FAIXA MAGNETICA (L) E ANOMALIA CIRCULAR (AL)  
(INTRUSÃO BASICA?)

0 25 Km



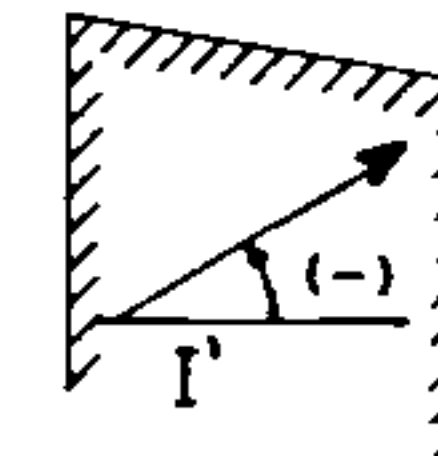
LEGENDA



CURVA MEDIDA



CURVA CALCULADA



CORPO MODELO

$I'$

INCLINAÇÃO APARENTE

$J$

MAGNETIZAÇÃO



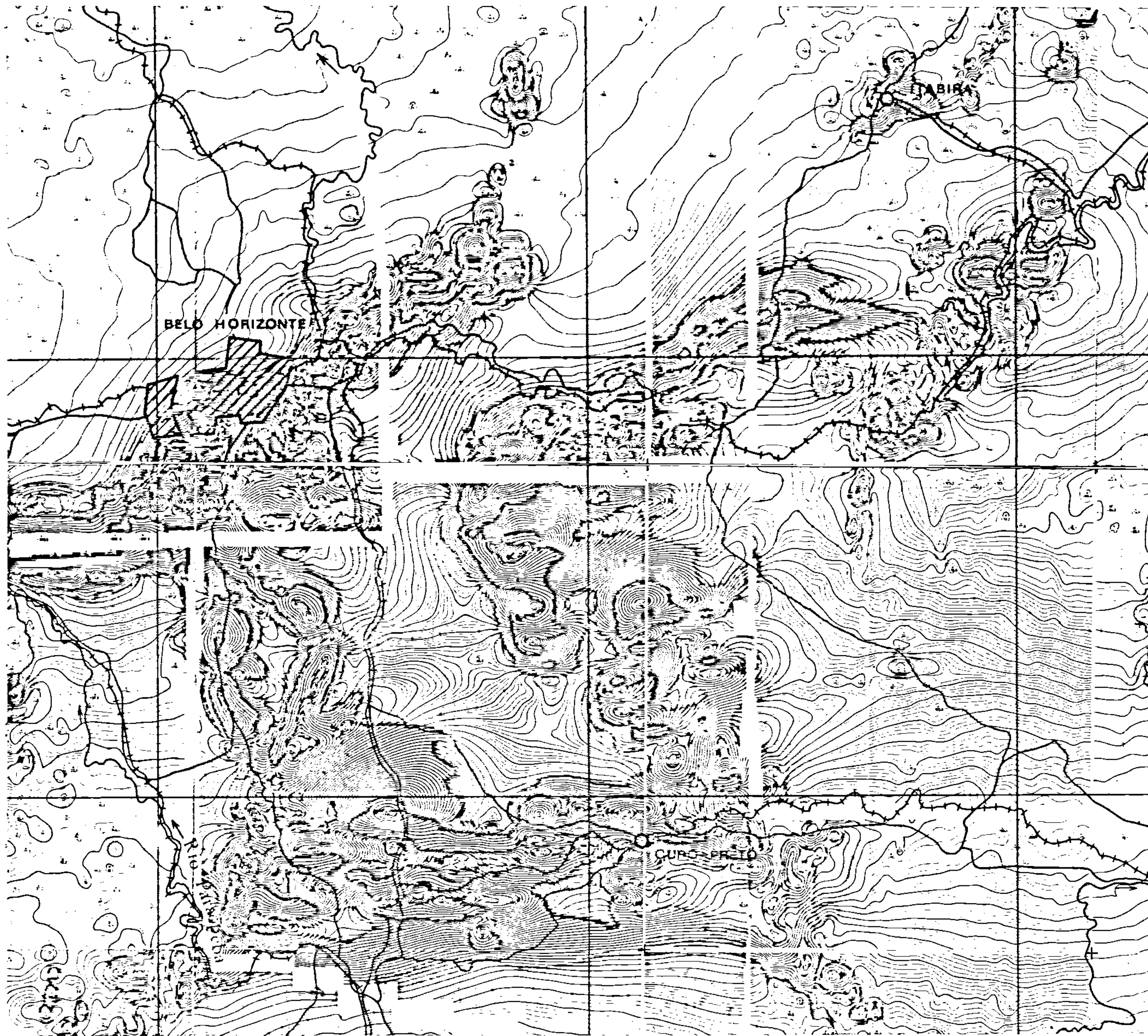
100  $\gamma$

SONDAGENS COM ZONAS  
MAGNETICAS  
( $J = 100 \gamma$ )

PERFIL MAGNÉTICO —  
ANOMALIA F COROMANDEL

COMPARAÇÃO: INTERPRETAÇÃO — SONDAGEM  
CORPO GEOFÍSICO — CORPO GEOLOGICO

0 100m



QUADRILÁTERO FERRÍFERO

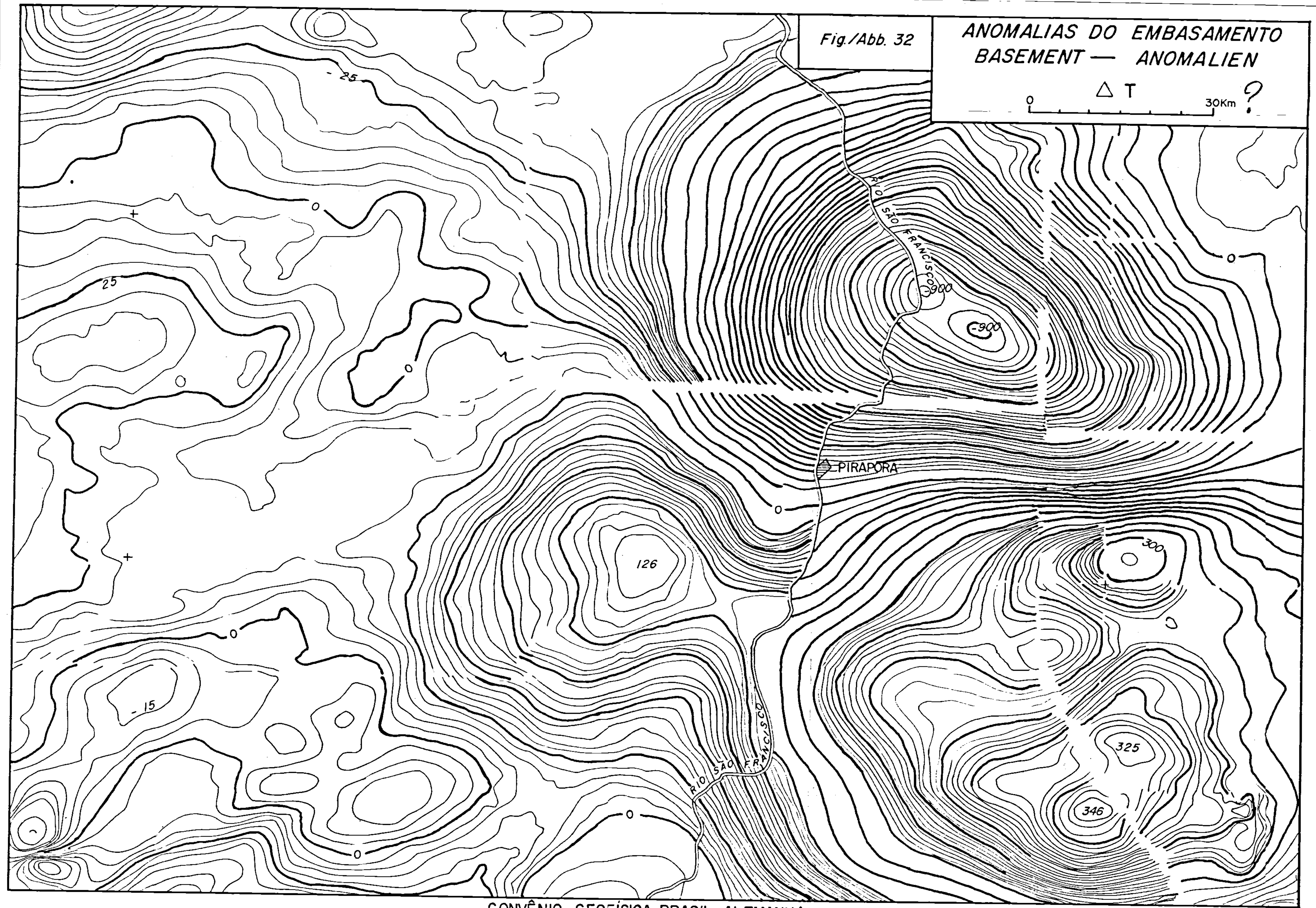
ITABIRIT - ANOMALIEN  
ANOMALIAS DE ITABIRITO

0 25 Km

ANEXO 5

Fig./Abb. 32

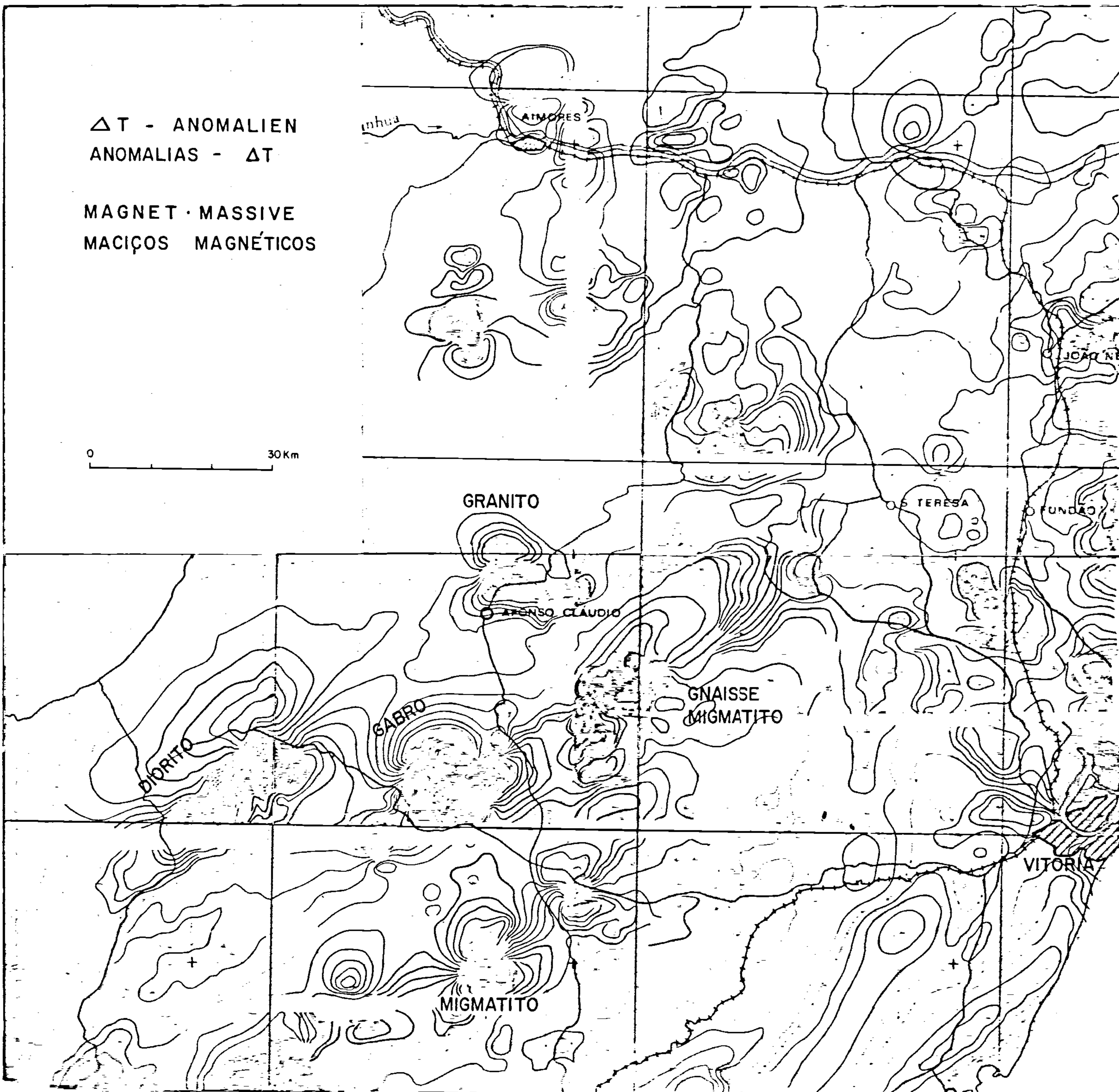
ANOMALIAS DO EMBASAMENTO  
BASEMENT — ANOMALIEN



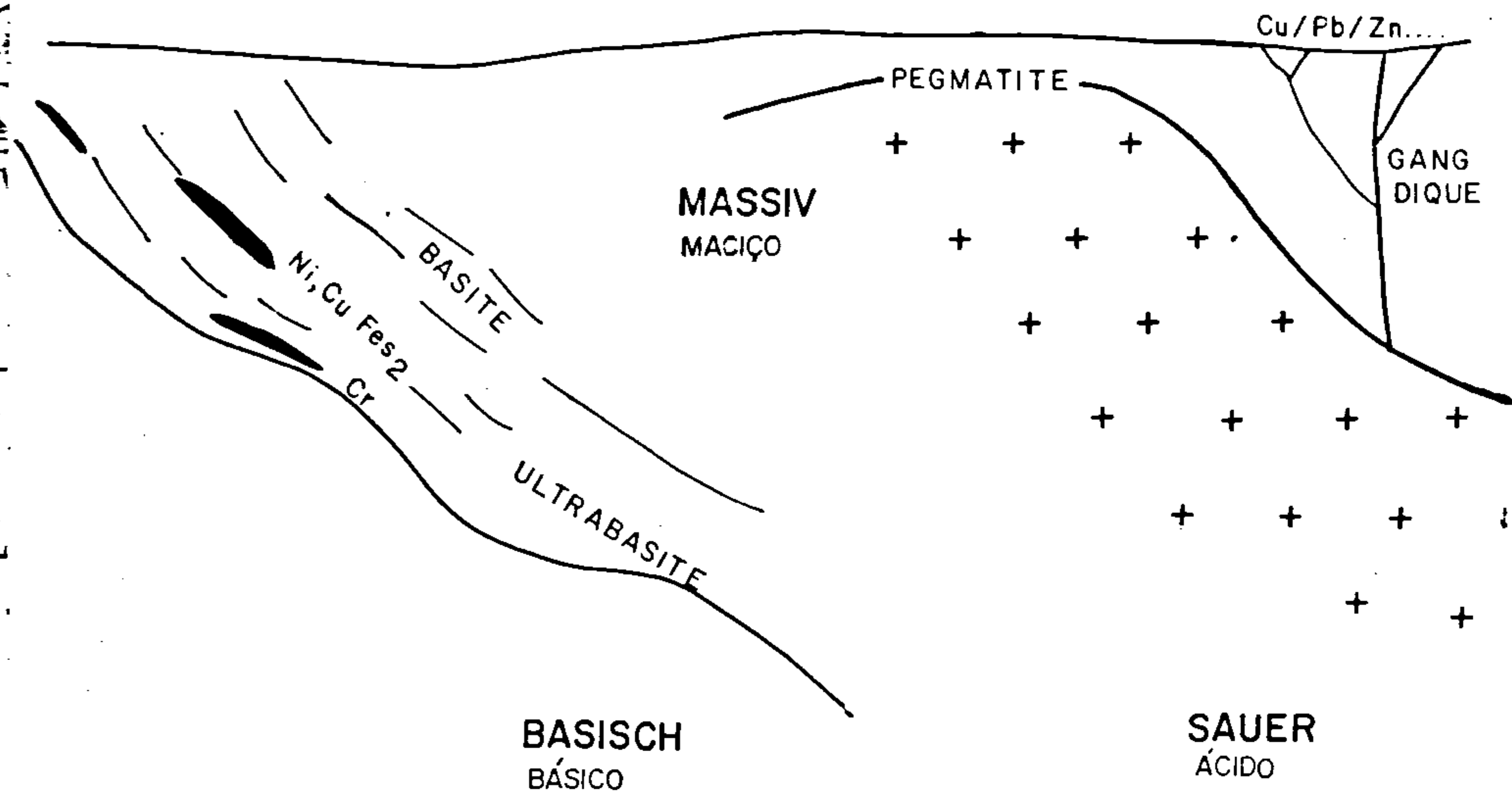
$\Delta T$  - ANOMALIEN  
ANOMALIAS -  $\Delta T$

MAGNET · MASSIVE  
MACIÇOS MAGNÉTICOS

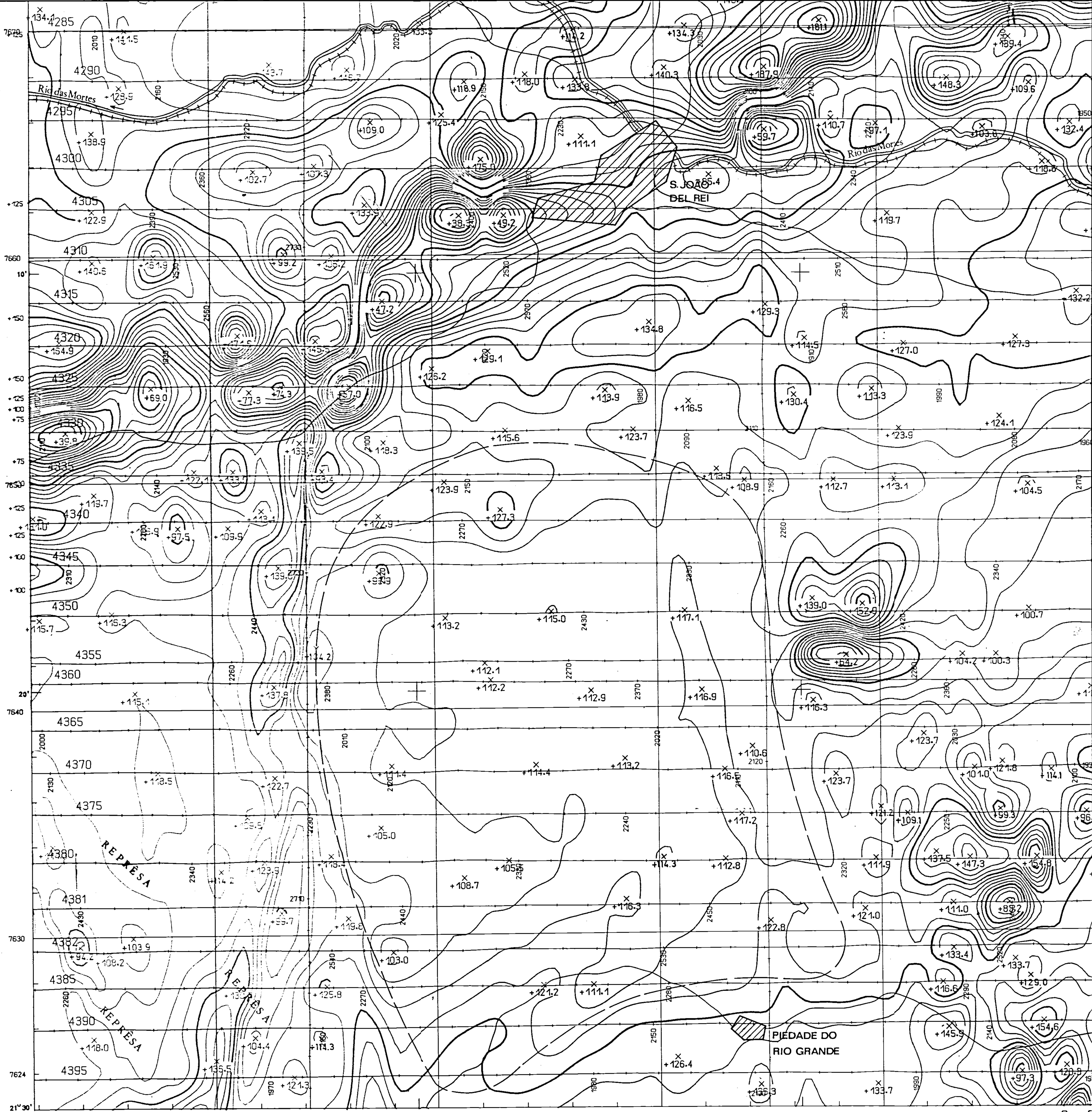
0 30km



PRINZIP · GEOL · / LAGERST · DEUTUNG (SCHEMA n. BORCHERT)  
INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA ESQUEMATICA -



ANEXO 7



**ESPECIFICAÇÕES GEOFÍSICAS**

MAGNETÔMETRO ( PROTONS ) : PRAKLA PM 24  
GEOMETRICS G 803

PRECISÃO DO MAGNETÔMETRO : ±1 T

ESPAÇAMENTO ENTRE MEDIDAS : ~60 m

ISO-ANÔMALAS DA INTENSIDADE  
MAGNÉTICA TOTAL COM  
VALORES EXTREMOS,  
EQUIDISTÂNCIA 5 T

INCLINAÇÃO MAGN. MÉDIA : 24°S

DECLINAÇÃO MAGN. MÉDIA : -17°

INTENSIDADE MAGN. MÉDIA : 24 000 T

CAMPO REGIONAL REDUZIDO. ÉPOCA 1971,5

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| $T(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2$                |                                 |
| $\Delta x = x - 7.800 \text{ km}$                                     | $\Delta y = y - 610 \text{ km}$ |
| $a_0 = -24.104 - 0.02 (\text{ALT. V\ddot{O}O} - 1.200 \text{ m}) [T]$ |                                 |
| $a_{10} = -0.850 61$  | $a_{01} = 0.319 61$             |
| $a_{20} = -0.000 602 33$  | $a_{11} = -0.000 323 82$        |
| $a_{02} = -0.000 365 12$  |                                 |

LINHA DE VÔO COM NÚMERO  
E MARCA FIDUCIAL : 4075

ESPAÇAMENTO

DAS LINHAS DE MEDIDAS : 2 km

DAS LINHAS DE CONTRÔLE : 14 - 20 km

ALTURA CONST. DE VÔO  
SÔBRE NÍVEL DO MAR : V. ÍNDICE

ALTURA MÉDIA SÔBRE TERRENO : 400 m

NAVEGAÇÃO PELO SISTEMA DOPPLER / FILME

AMARRADA AOS MAPAS TOPO. DISPONÍVEIS  
OU PONTOS DE TRIANGULAÇÃO

ESCALA 1:100 000

SISTEMA UTM MERIDIANO CENTRAL 45° O. GR.  
ELIPSOIDE INTERNACIONAL

**ÍNDICE**

DAS ÁREAS DE MEDIDAS  
NA FÔLHA COM NÚMERO  
E ALTURA DE VÔO EM m

DAS FÔLHAS ADJACENTES

|               |              |               |
|---------------|--------------|---------------|
| SF-23-X-A-III | SF-23-X-A-IV | SF-23-X-A-V   |
| SF-23-X-C-I   | SF-23-X-C-II | SF-23-X-C-III |
| SF-23-X-C-IV  | SF-23-X-C-V  | SF-23-X-C-VI  |

14  
1370

ANOMALIENTYP UNMAGNETISCHES MASSIV

UNMAGNETISCHES KERNGEBIET, UMGEBEN VON MAGNETISCHEN  
RANDANOMALIEEN

GRANIT - GNEIS KOMPLEX S. JOÃO DEL REI

TIPO DE ANOMALIA-MACIÇO NAO MAGNÉTICO

NÚCLEO NÃO MAGNÉTICO, CIRCUNDADO POR  
ANOMALIAS MAGNÉTICAS PERIFÉRICAS

COMPLEXO GRANITO-GNAISSICO  
DE SÃO JOÃO DEL REI

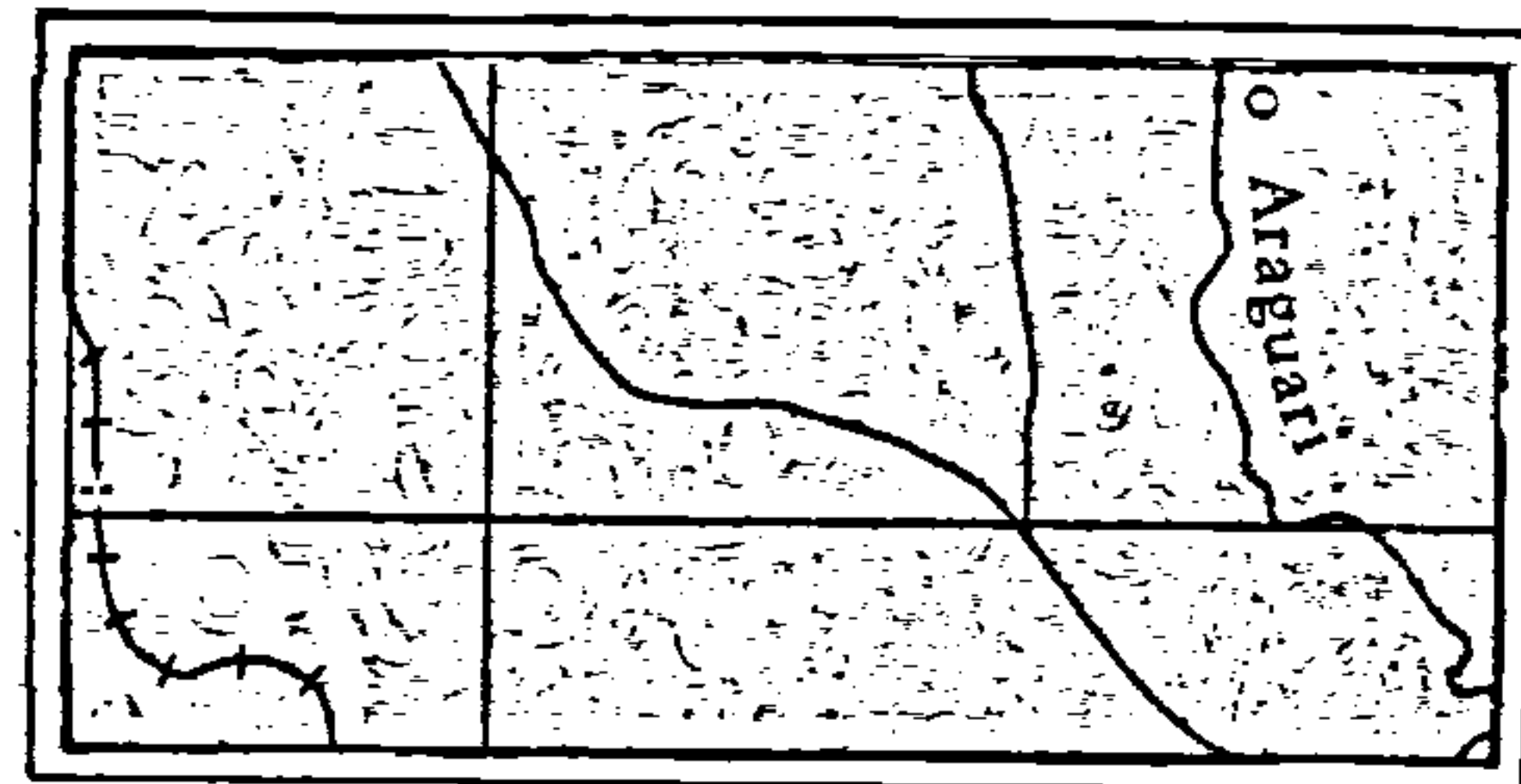
FIG. Abb-35  
FÔLHA SF-23-X-C-II

ANEXO 8



# ANOMALIEN - TYP TIPO DE ANOMALIA

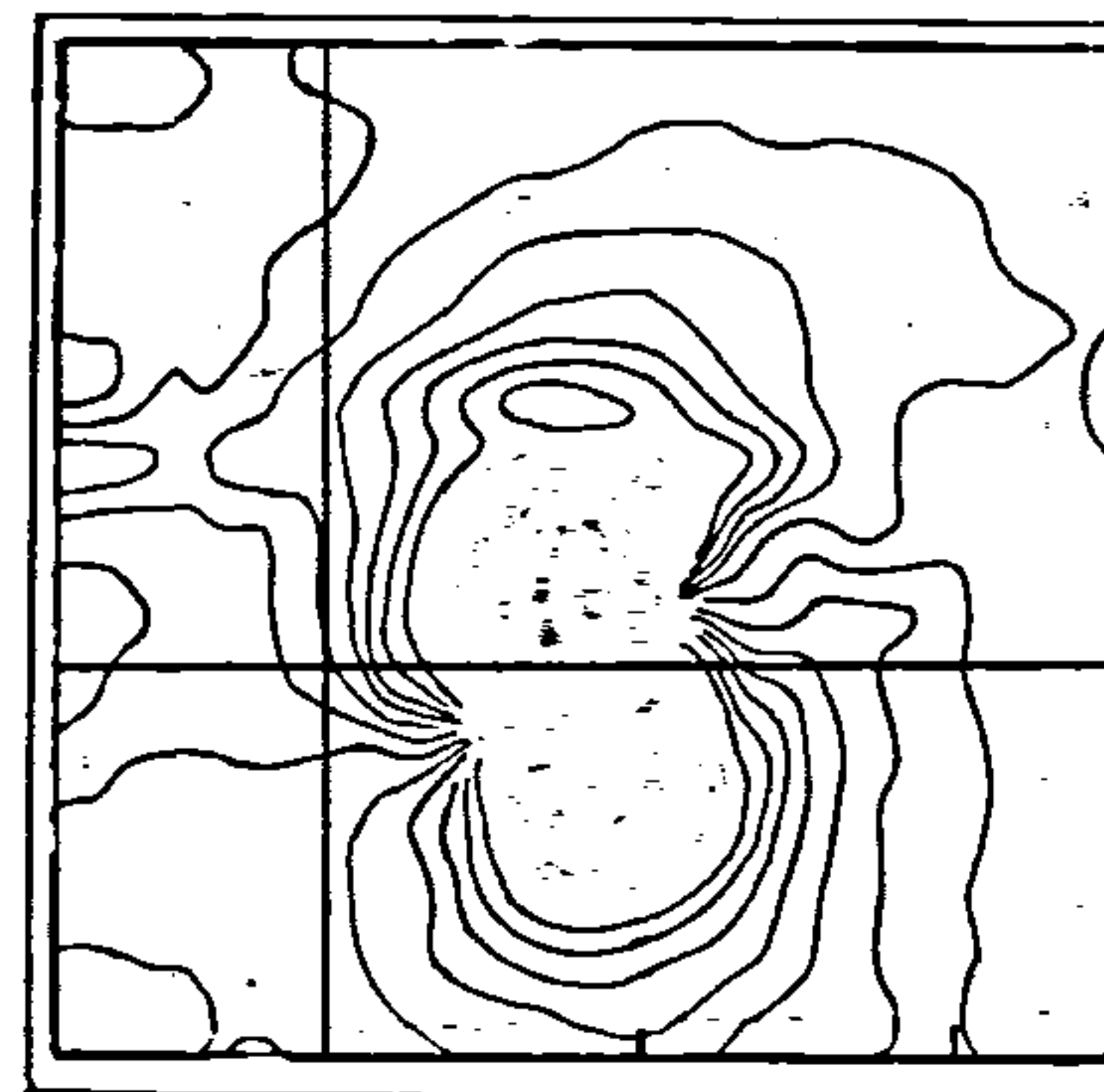
BASALT  
BASALTO



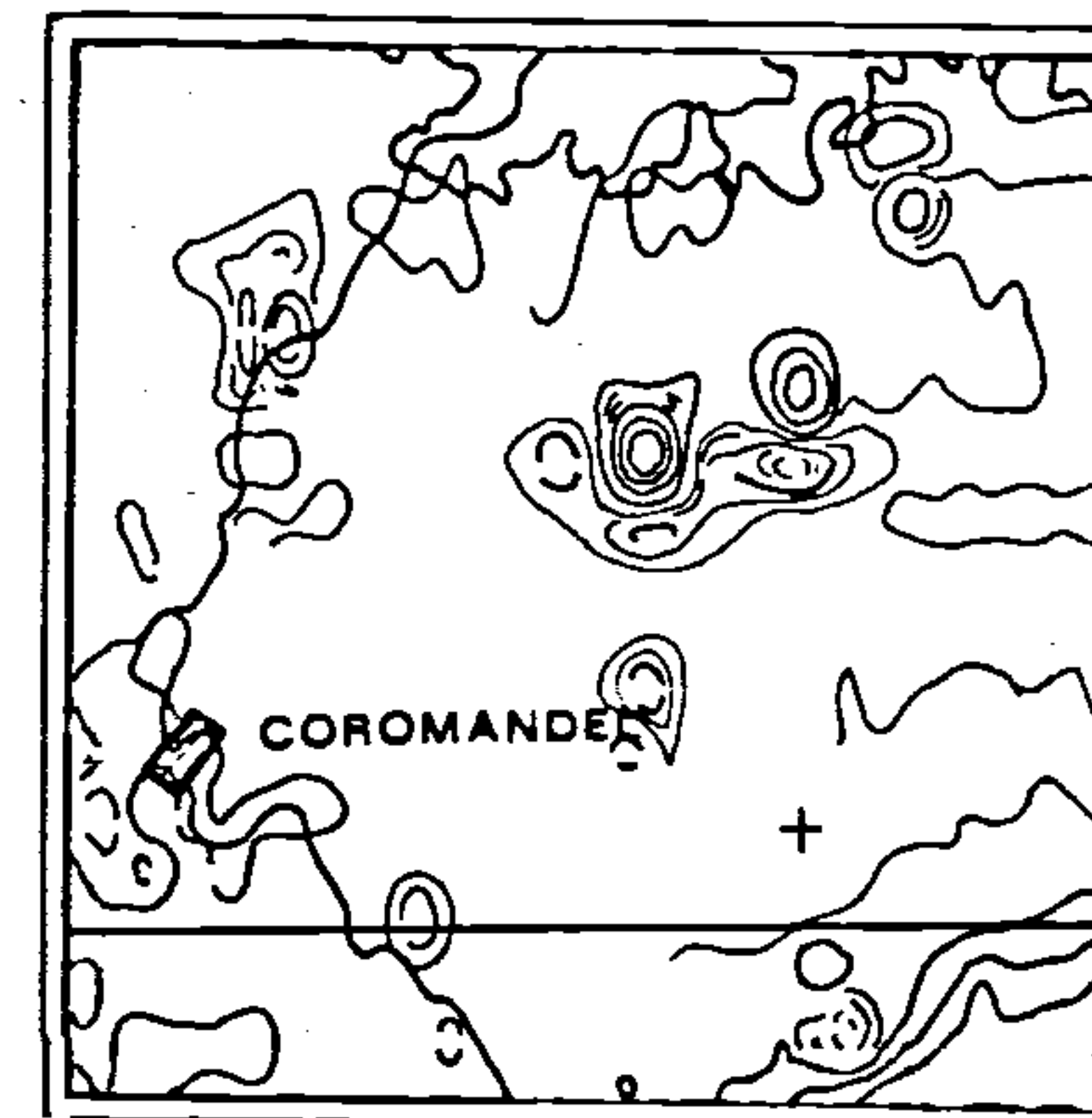
LINEAMENT  
LINEAMENTO



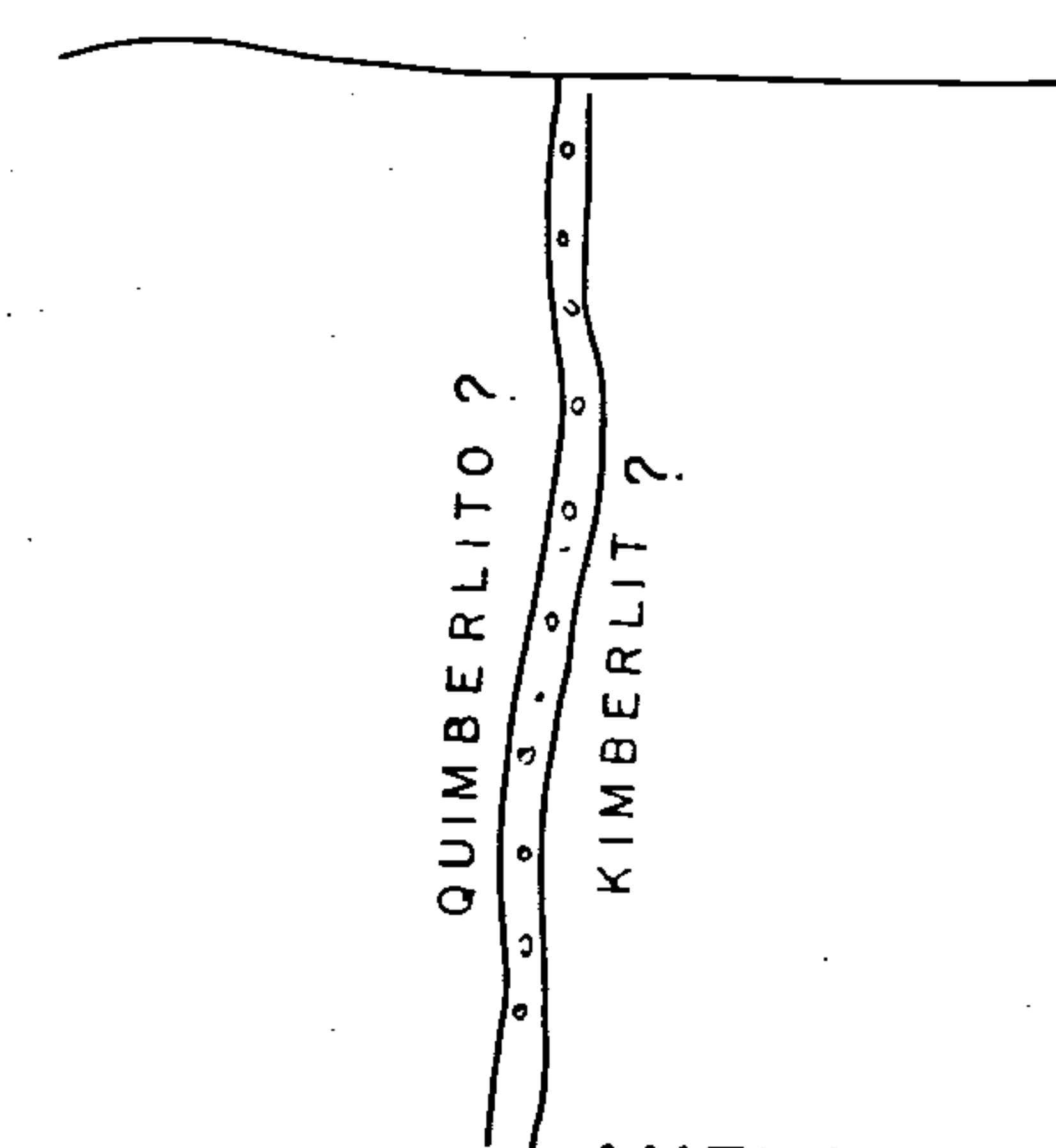
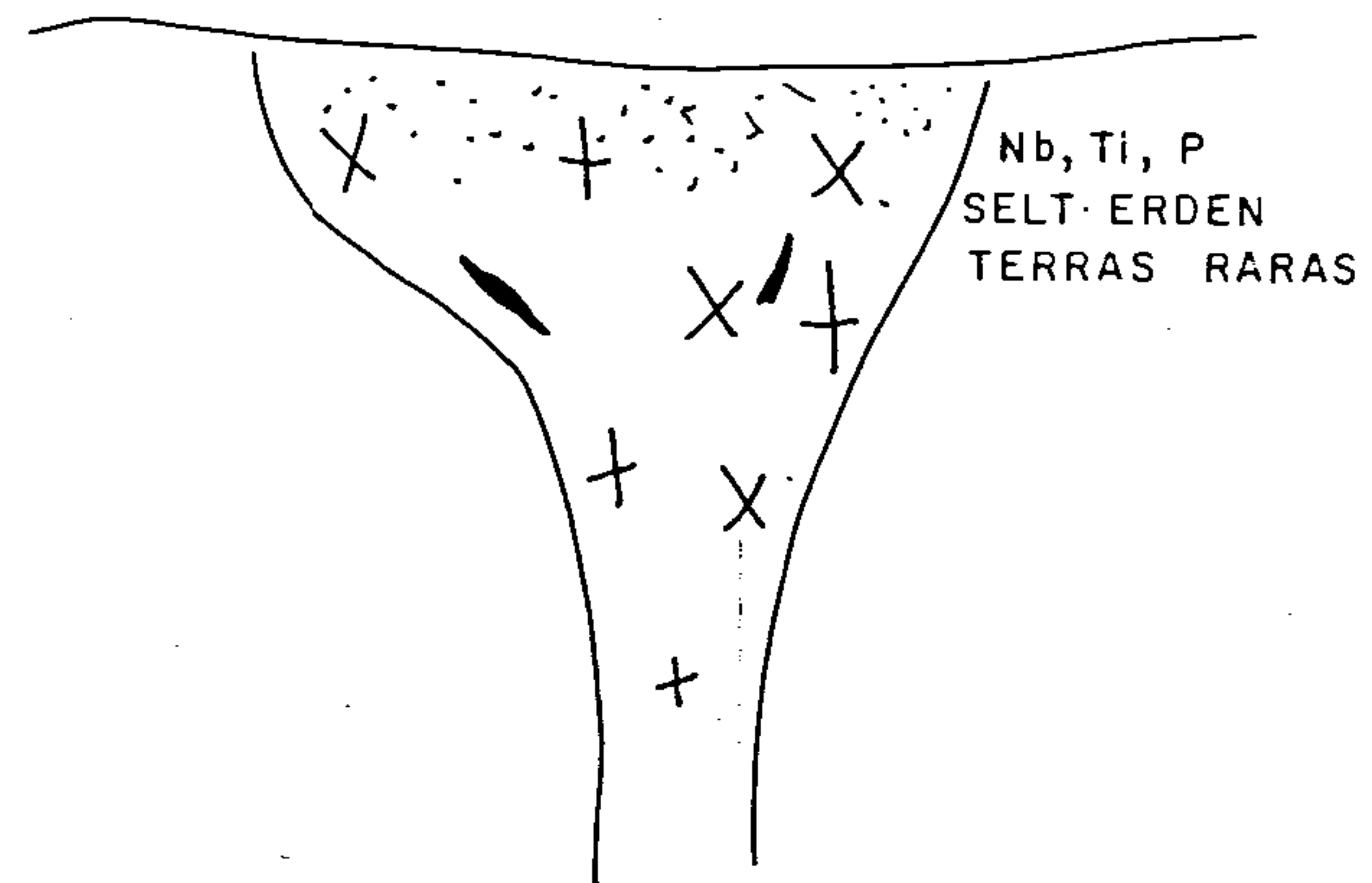
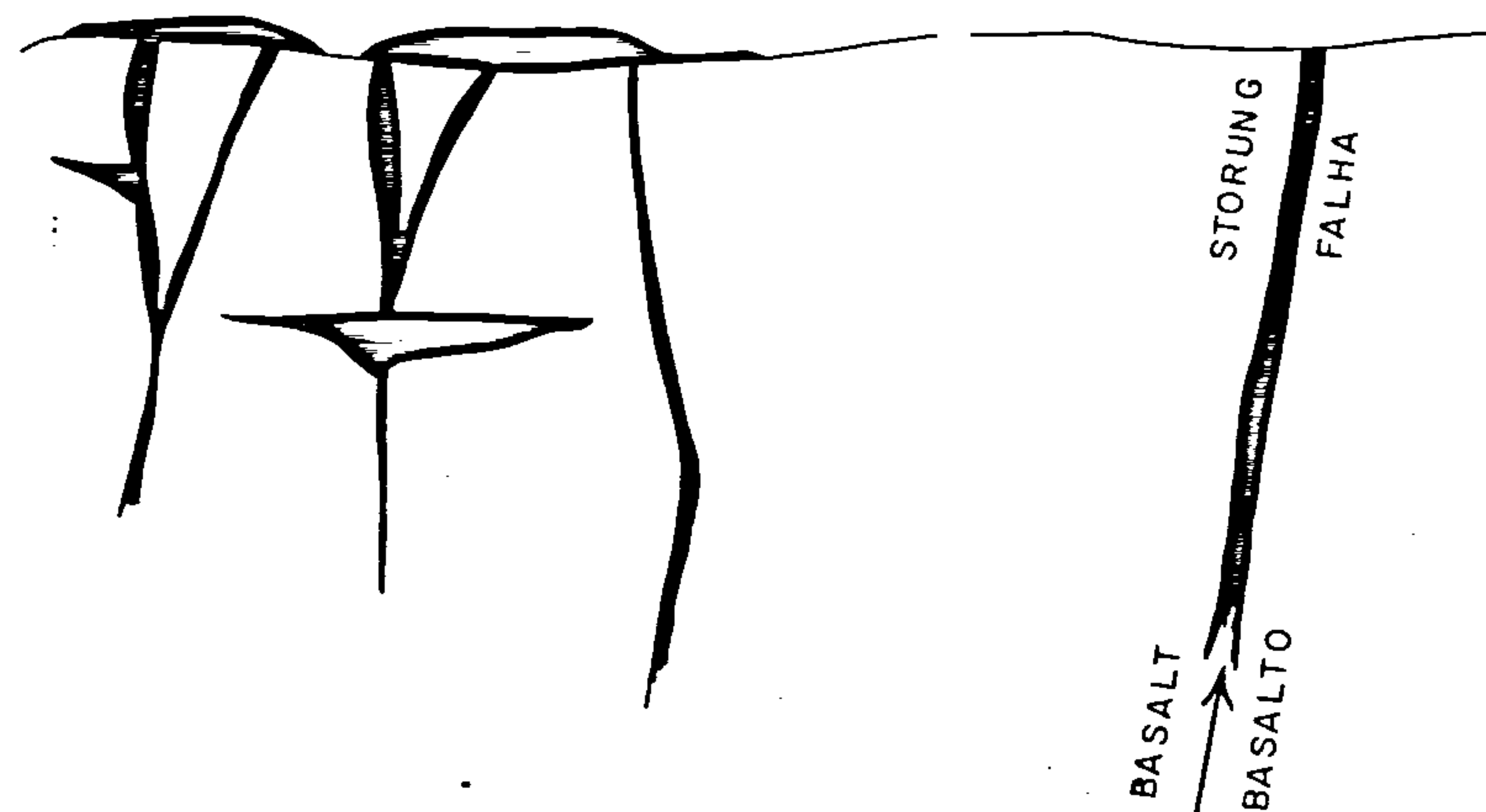
ALKALI - KOMPLEX  
COMPLEXO ALCALINO



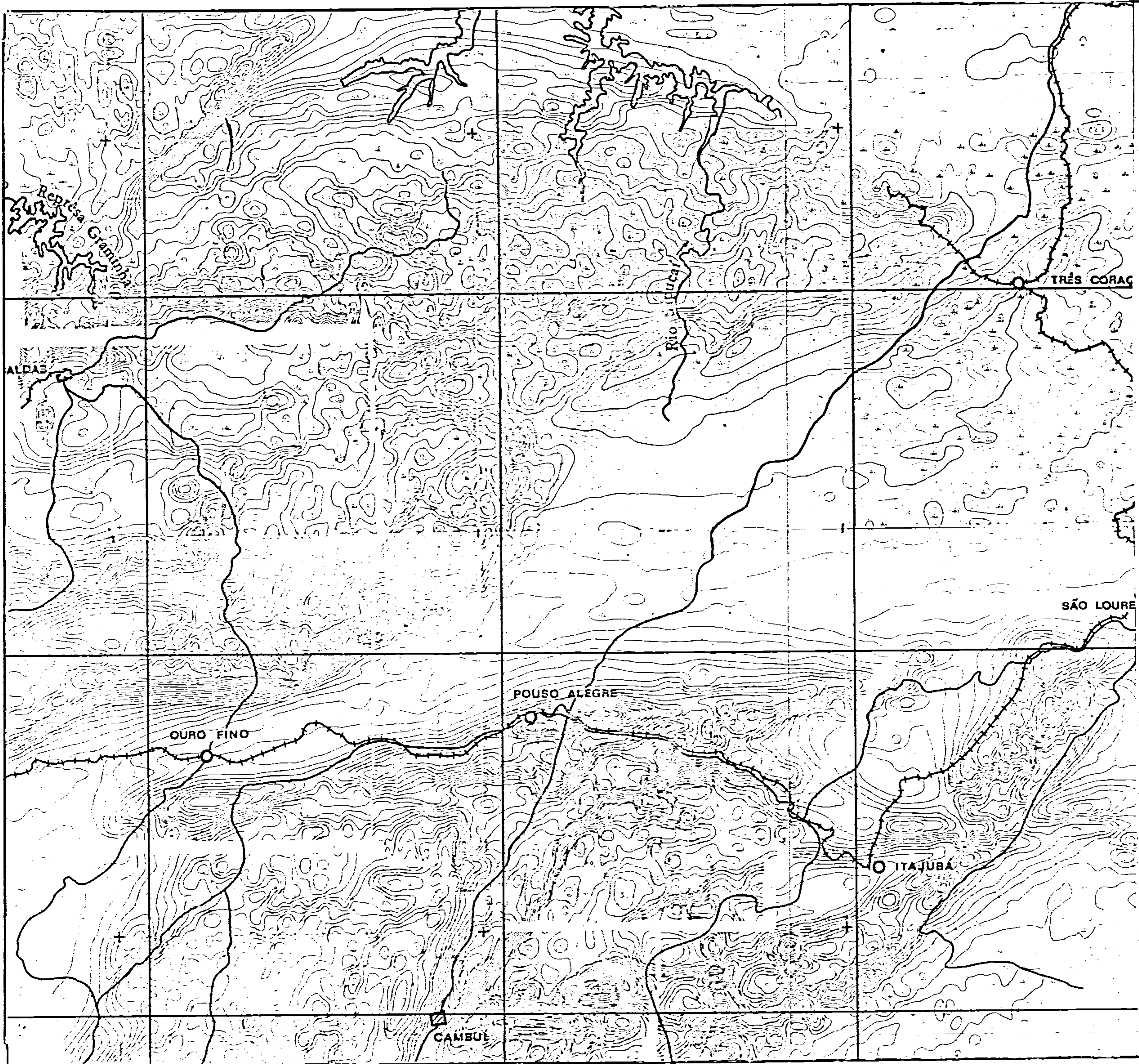
PIPE  
CHAMINÉ



PRINZIP. DEUTUNG  
INTERPRETAÇÃO ESQUEMATICA



ANEXO 9c

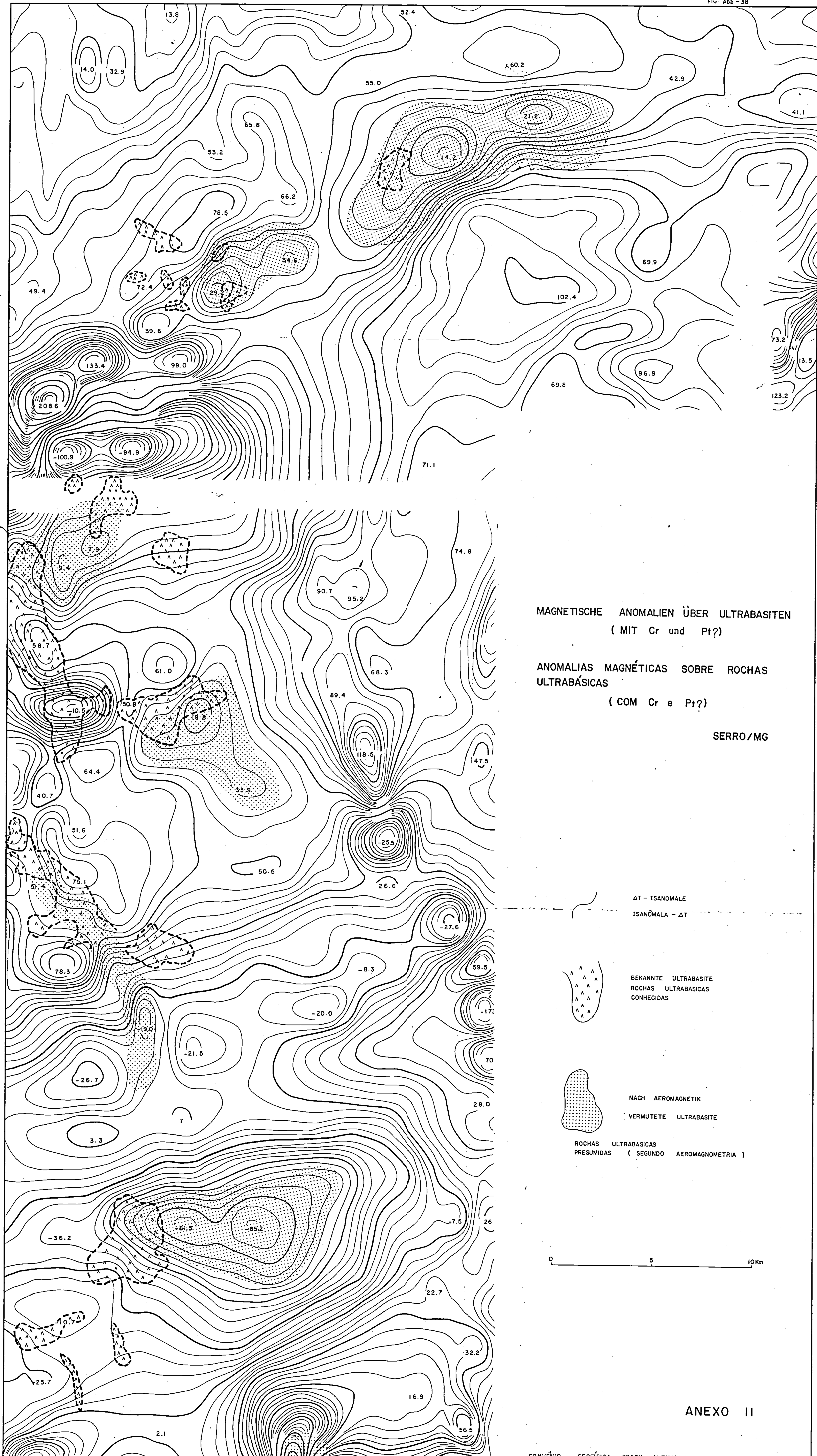


$\Delta T$  - ANOMALIEN  
 ÜBER AUSGEDEHNTEN  
 MIGMATIT - GEBIETEN

ANOMALIAS -  $\Delta T$   
 SOBRE ÁREAS EXTENSAS  
 DE MIGMATITO

0 25km

ANEXO 10



MAGNETISCHE ANOMALIEN ÜBER ULTRABASITEN  
( MIT Cr und Pt? )

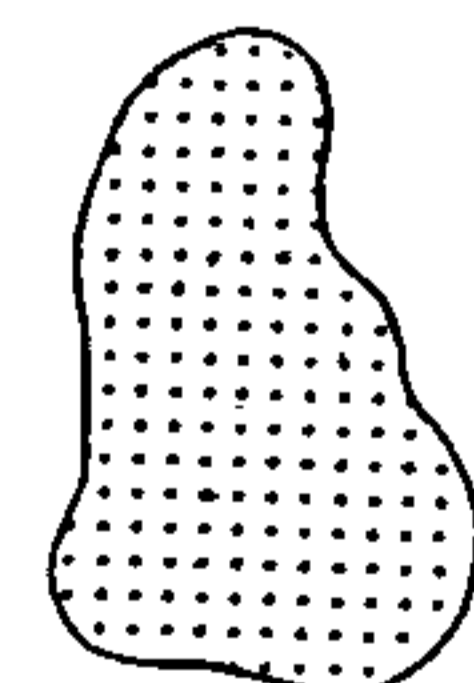
ANOMALIAS MAGNÉTICAS SOBRE ROCHAS  
ULTRABÁSICAS  
( COM Cr e Pt? )

SERRO/MG

$\Delta T$  - ISANOMALE  
ISANÓMALA -  $\Delta T$

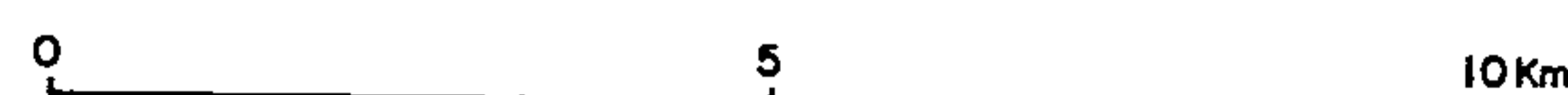


BEKANNTTE ULTRABASITE  
ROCHAS ULTRABÁSICAS  
CONHECIDAS



NACH AEROMAGNETIK  
VERMUTETE ULTRABASITE

ROCHAS ULTRABÁSICAS  
PRESUMIDAS ( SEGUNDO AEROMAGNETRIA )



ANEXO II