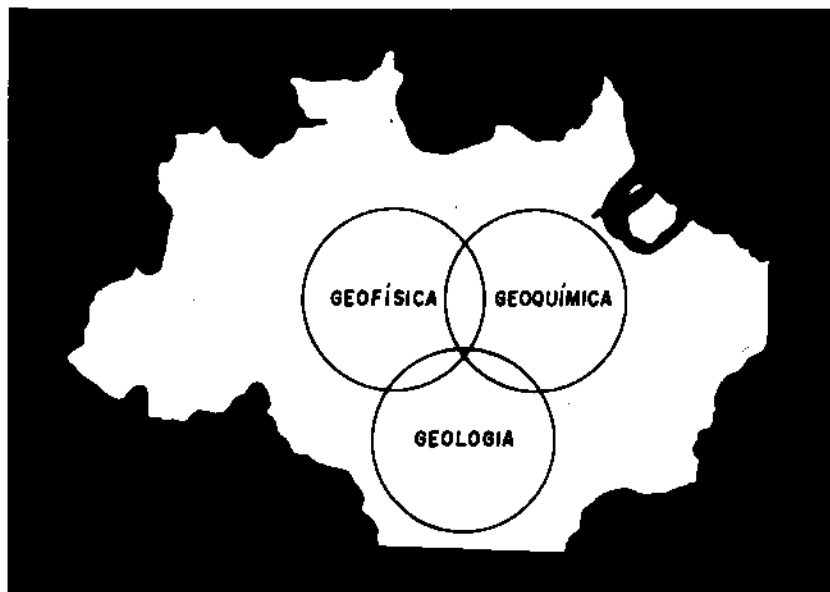


**TESE DE MESTRADO**

**DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS DE FILTRAGEM  
E SUA APLICAÇÃO A DADOS  
AEROMAGNÉTICOS DA BACIA AMAZÔNICA**

JOÃO BATISTA CORRÊA DA SILVA



**NÚCLEO DE CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS DE FILTRAGEM  
E SUA APLICAÇÃO A DADOS AEROMAGNÉTICOS  
DA BACIA AMAZÔNICA

por :

João Batista Corrêa da Silva

TESE DE MESTRADO DE GEOFÍSICA

Aprovação da Banca Examinadora :

José Seixas Lourenço (José Seixas Lourenço)  
Orientador

Augusto Cesar Bittencourt Pires (Augusto Cesar Bittencourt Pires)

Raimundo Ruy Pereira Bahia (Raimundo Ruy Pereira Bahia)

Belém, Agosto de 1976

RESUMO

Dois métodos de filtragem são combinados neste trabalho com a finalidade de ressaltar determinadas feições, em um mapa aeromagnético, tais como lineamentos e anomalias de grande porte, provindos do embasamento. A filtragem visual consiste na observação estereoscópica de pares de mapas, especialmente elaborados para este fim. A filtragem numérica consiste na eliminação dos componentes espectrais indesejáveis (ruído) e no realce dos componentes espectrais de interesse (sinal). Ambos os métodos foram aplicados a mapas aeromagnéticos da Bacia do Médio Amazonas. As operações de filtragem numérica foram todas efetuadas no domínio dos espaços, através de convolução dos dados com filtros de dimensões 13x13.

A análise preliminar do espectro é enfatizada, como guia na elaboração de filtros. Os resultados da aplicação de cada filtro são discutidos em detalhe.

Além das filtrações visual e numérica, vários modelos de falhas e de anomalias do intraembasamento e do supraembasamento são apresentados. A análise de modelos constitui um método de interpretação independente e complementar dos métodos de filtrações.

Uma interpretação estrutural do embasamento da Bacia do Médio Amazonas é incluída. As direções principais dos lineamentos aeromagnéticos são E-W, NW60°, N-S, NE45° e NE60°. Dois grabens são bem evidenciados: um com direção N-S, o mais recente

e próximo à borda do Alto do Purus. O outro, mais antigo, situa-se a leste do primeiro e tem direção NE45°. Duas anomalias de grande e médio porte (15-60km) possuem magnetização remanente com altos valores de inclinação negativa, o que corrobora a posição muito mais ao sul da Bacia Amazônica, no Paleozóico.

Na integração dos dados aeromagnéticos com outros dados geofísicos, como sísmica e gravimetria, e resultados de fotointerpretação geológica, a consistência das informações independentes, em relação à interpretação aeromagnética, concorre para aumentar a viabilidade e a confiabilidade das técnicas aplicadas neste trabalho.

ABSTRACT

In this thesis two filtering methods were combined in order to enhance some features in an aeromagnetic map such as lineaments and anomalies caused by sources of large proportions. The visual filtering consisted of stereoscopic examination of pairs of maps. The numeric filtering involved the elimination of the undesirable spectral components (noise) and the enhancement of the desired spectral components (signal). Both methods were tested on aeromagnetic maps of the Middle Amazon Basin. All the numeric filtering operations were done in the space domain by convolving the aeromagnetic data with a 13x13 filter matrix. Special attention was paid to the preliminary analysis of the spectrum, as a guide in filter design. The results of the application of each filter was discussed in detail. A further topic also dealt with was basement fault models. The model analysis established a complementary interpretation method to the filtering methods.

A structural interpretation of the Middle Amazon Basin's basement was provided. The dominant aeromagnetic trends were E-W, N60°W, N-S, N45°E and N60°E. Two grabens were quite evident. The younger one trends N-S, while the older one strikes N45°E. Two anomalies caused by sources of intermediate and large proportions (15-60km) exhibit remanent magnetization and high values of negative inclination, which shows that the Amazon Basin would be southernmost in the Paleozoic.

In performing the integration of aeromagnetic data with other geophysical data available, the interpretation from other data proved consistent with the aeromagnetic interpretation, illustrating the reliability of the techniques employed in this thesis.

I N D I C E

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - METODOLOGIA DE FILTRAGEM	4
1.1. Teoria Geral	4
1.1.1. Filtragem visual	4
1.1.2. Filtragem numérica	5
1.2. Considerações práticas	10
1.2.1. Escolha do domínio	10
1.2.2. Escolha das dimensões dos filtros	12
CAPÍTULO 2 - FILTRAGEM DE MAPAS AEROMAGNÉTICOS DA BACIA AMAZÔNICA	13
2.1. Introdução	13
2.1.1. Considerações gerais	13
2.1.2. O mapa de campo total	15
2.1.3. Análise do espectro	16
2.2. Dados geofísicos e geológicos	21
2.2.1. Geologia	21
2.2.2. O levantamento aeromagnético	29
2.2.3. Outros dados geofísicos	29
2.3. Filtros empregados e resultados obtidos	30
2.3.1. Filtros de continuação para cima	30
2.3.2. Filtros regionais	35
2.3.3. Filtros de banda alta	40
2.3.4. Filtros direcionais	49
2.4. Considerações sobre modelos	63
2.4.1. Falhas simples	63
2.4.2. Falhas escalonadas	72
2.4.3. Graben	74
2.4.4. Horst	76
2.4.5. Observações gerais sobre modelos de falhas	77

2.4.6. Anomalia do supraembasamento	77
2.4.7. Anomalias do intraembasamento	78
2.5. Conclusões	78
<b>CAPÍTULO 3 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS</b>	<b>87</b>
3.1. Dados geofísicos	87
3.1.1. Gravimetria	87
3.1.2. Sísmica	88
3.2. Dados geológicos	89
3.3. Conclusões gerais	90
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE A - TABELAS DE PESOS DE FILTROS</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE B - PROGRAMAS DE COMPUTADOR</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>120</b>
<b>FIGURAS</b>	<b>125</b>

CONVENÇÕES E ABREVIATURAS.

$\vec{H}$  - Campo magnético normal da Terra

$\vec{B}$  - Campo magnético anômalo

$\vec{H}_x$  - Projeção horizontal do vetor campo magnético normal da Terra.

$\vec{H}_p$  - Projeção do vetor campo magnético normal da Terra no plano do papel.

I - Inclinação do vetor magnetização.


D - Declinação do vetor magnetização

$I_0$  - Inclinação do vetor campo magnético normal da Terra.

$D_0$  - Declinação do vetor campo magnético normal da Terra.

N.M- Norte magnético.

fc- Frequência de corte.

 - Falha de gravidade. Hachuras no bloco rebaixado.

 - Falha transcorrente, com os movimentos relativos indicados

 - Falha pouco evidenciada.

## INTRODUÇÃO

Um conjunto de dados de campo potencial (potenciais) de uma área contém informações sobre todos os corpos e estruturas geológicas existentes, sejam eles de proporções grandes ou pequenas, rasos ou profundos. Em alguns casos, deseja-se informação sobre corpos profundos e de grandes extensões, em outros, o interesse é nos corpos pequenos e próximos à superfície. Muitas operações têm sido empregadas com a finalidade de separar informações provindas de corpos e estruturas regionais daquelas provindas de corpos e estruturas locais. Esta separação consiste essencialmente em conservar ou acentuar a informação sobre as estruturas desejadas (sinal) e atenuar a informação sobre as estruturas indesejáveis (ruído).

Algumas operações, como derivada segunda, continuação analítica, e os "métodos regional/residual", podem ser tratadas como métodos de filtragem numérica. Um outro tipo de operação é a confecção de pares de mapas estereoscópicos a partir de mapas convencionais de isovalores. Estes pares de mapas são passíveis de serem examinados ao estereoscópio de espelho, permitindo a percepção tri-dimensional das variações dos valores dos dados. Esta percepção permite, por exemplo, o reconhecimento de anomalias de grandes extensões, mascaradas pelo padrão complexo de anomalias locais. Num sentido bem amplo a confecção de pares estereoscópicos de mapas pode ser descrita como uma operação de filtragem a que nos referiremos como filtragem visual.

A filtragem numérica implica na convolução dos dados

com uma função matemática (interpretada como um filtro) se a operação for desenvolvida no domínio dos espaços. Alternativamente os dados podem ser multiplicados por uma função matemática se a operação for desenvolvida no domínio das frequências. Neste caso o efeito filtrador da função é mais claramente expresso.

Henderson e Zietz (1949), Peters(1949), Elkins(1951), Rosenbach(1953), Meskó(1966), Darby e Davis(1967) e Bhattacharyya (1972) tratam da operação derivada segunda. Peters(1949), Henderson(1960), Dean(1958), Fuller(1967), Ku et al (1971) e Bhattacharyya (1972) abordam os problemas da continuação analítica. Zurfluen (1967), Fuller (1967) e Syberg(1972) descrevem metodologias para separação entre feições regionais e residuais.

A filtragem direcional (cuja finalidade é realçar feições com azimutes definidos) aplicada a dados aeromagnéticos não tem sido devidamente explorada na literatura. Fuller (1967) mostra algumas possíveis aplicações, em modelos. Os únicos trabalhos que reconhecem a percepção estereoscópica como um método de filtragem são os de Gay(1971 e 1972).

O objetivo deste trabalho é mostrar que a associação da filtragem numérica à filtragem visual produz resultados satisfatórios na interpretação de mapas aeromagnéticos, e que esta combinação de métodos fornece mais informações que cada um deles aplicado isoladamente. A utilidade da filtragem direcional é demonstrada e uma interpretação das grandes fraturas do embasamento, representadas pelos lineamentos aeromagnéticos, é incluída. Especial atenção é dada, nesta interpretação, a modelos de falhas em baixa latitude. O estudo destes modelos com peque

na inclinação do campo magnético normal é de grande importância, porque as anomalias por elas causadas são muito diferentes das anomalias produzidas pelos mesmos modelos em altas latitudes.

As técnicas aplicadas neste trabalho têm como finalidade realçar os lineamentos aeromagnéticos, que possam ser interpretados como fraturas do embasamento (Gay, 1972) e separar anomalias produzidas por fontes próximas da superfície daquelas produzidas em profundidade.

O conhecimento e a localização das grandes fraturas do embasamento são de grande importância não somente para descoberta de estruturas favoráveis ao aprisionamento do petróleo, como também no condicionamento de intrusões, domos salinos, bacias, recifes de corais, mineralizações e outros eventos geológicos (Gay, 1972).

A área escolhida para teste dos métodos situa-se a oeste da cidade de Manaus, no estado do Amazonas, entre as latitudes  $3^{\circ}\text{S}$  e  $4^{\circ}30'\text{S}$  e as longitudes  $60^{\circ}\text{W}$  e  $62^{\circ}30'\text{W}$ . Esta área, situada na Bacia do Médio Amazonas, tem sido referida como potencialmente favorável à prospecção de petróleo (Loczy, 1974).

## CAPÍTULO 1 - METODOLOGIA DE FILTRAGEM.

### 1.1. Teoria Geral

A metodologia empregada neste trabalho baseia-se na combinação das filtragens visual e numérica.

#### 1.1.1. Filtragem Visual

A filtragem visual consiste na observação estereoscópica das curvas de contorno do campo magnético. Para isto, constroem-se, a partir de cada mapa (originalmente em projeção ortogonal), um par de mapas estereoscópicos. O par de mapas estereoscópicos difere do mapa original apenas no tipo de projeção: ortogonal para este e central para aquele, sendo que uma das projeções centrais tem centro de projeção à direita do centro do mapa original enquanto a outra tem centro de projeção à esquerda. Os pares de mapas assim preparados são passíveis de serem analisados ao estereoscópio de espelho, permitindo uma percepção imediata da variação dos valores do campo magnético, os altos, os baixos, as tendências lineares e os alinhamentos de feições.

Chama-se filtragem visual porque ela permite, visualmente, não só a separação entre feições locais e regionais como também a separação de feições de caráter linear.

Os princípios básicos para a construção de pares estereoscópicos a partir de mapas convencionais são descritos por Gay(1971), que mostra vários exemplos de interpretação estereoscópica de dados aeromagnéticos, e comenta algumas de suas vanta

gens: 1) Visualização imediata de todos os altos e baixos do mapa; 2) Reconhecimento de variações sutis na textura dos padrões das curvas de contorno; 3) Correlação de direções pouco accentuadas de tendências de anomalias em diferentes áreas do mapa; 4) Reconhecimento de anomalias de grandes extensões mascaradas pelo padrão complexo de anomalias locais; 5) Percepção de lineamentos.

Gay(1972) mostra que um lineamento aeromagnético pode ser reconhecido como: 1) Truncamento de altos; 2) Truncamento de baixos; 3) Variação do gradiente; 4) Padrões lineares de contorno; 5) Alinhamento de baixos e/ou altos magnéticos. Mostra ainda a correlação entre lineamentos aeromagnéticos e falhas conhecidas concluindo a viabilidade de localização de falhas desconhecidas, através dos lineamentos aeromagnéticos.

### 1.1.2. Filtragem Numérica

A filtragem numérica consiste em operar uma matriz de valores numéricos, chamados pesos do filtro, com um mapa digitalizado, representado também por uma matriz de valores numéricos. Se a filtragem for realizada no domínio das frequências a operação é a multiplicação: as duas matrizes são superpostas e os valores coincidentes são multiplicados ponto a ponto. A matriz dos valores-produtos resultantes representa o mapa filtrado. Se a filtragem for realizada no domínio dos espaços a operação é a convolução, assim definida:

$$f_3(x,y) = f_1(x,y) * f_2(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(s,t) f_2(x-s, y-t) ds dt \quad (1.1)$$

Onde a função  $f_1(s,t)$  é o filtro, enquanto a função  $f_2(x,y)$  representa os dados a serem filtrados. A função  $f_3(x,y)$  representa os dados já filtrados.

Assumindo que:

$$f_1(x,y) = 0 \quad \text{para} \quad \begin{array}{l} |x| > X \\ |y| > Y \end{array} \quad (1.2)$$

e passando do contínuo para o discreto, a expressão (1.1) torna-se:

$$f_1(x,y) * f_2(x,y) = \sum_{n=-Y}^Y \sum_{k=-X}^X f_1(k,n) f_2(x-k, y-n) \quad (1.3)$$

desde que  $\Delta x = \Delta y = 1$

A equação (1.3) representa a convolução de dados finitos e discretos e é a utilizada na prática.

Detalhes práticos sobre a operação convolução são descritos por Zurflueh (1967).

O método adotado para a obtenção dos filtros é o de Fuller (1967), descrito a seguir:

Seja  $f_1(x,y)$  o filtro cuja transformada de Fourier (ou resposta espectral) é:

$$F_1(u,v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(x,y) e^{-2\pi i(ux+vy)} dx dy \quad (1.4)$$

onde  $u$  e  $v$  são as frequências espaciais nas direções  $x$  e  $y$ , respectivamente.

Como  $F_1(u,v)$  e  $f_1(x,y)$  são um par de transformadas de Fourier, então:

$$f_1(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F_1(u,v) e^{2\pi i(ux + vy)} du dv \quad (1.5)$$

Aplicando à função  $f_1(x,y)$  as mesmas condições (1.2), passando do contínuo para o discreto e assumindo que a função  $f_1(x,y)$  é par em relação a ambas as coordenadas  $x$  e  $y$ , (1.4) e (1.5) tornam-se respectivamente:

$$F_1(u,v) = 4 \sum_{n=0}^Y \sum_{k=0}^X f_1(k,n) \cos 2\pi uk \cos 2\pi vn \quad (1.6)$$

$$f_1(k,n) = 4 \sum_{m=0}^{0,5\Delta v} \sum_{\ell=0}^{0,5\Delta u} F_1(\ell\Delta u, m\Delta v) \cos 2\pi\ell\Delta uk \cos 2\pi m\Delta vn \Delta u\Delta v \quad (1.7)$$

onde  $0,5$  ciclos/intervalo de dados é a frequência de Nyquist. Esta é a frequência máxima que pode ser representada em um espectro de dados discretos, a partir da qual há a repetição simétrica do espectro em relação a esta frequência.

Para elaborar um filtro é mais conveniente especificar suas propriedades no domínio das frequências  $[F_1(u,v)]$  e obter os valores correspondentes no domínio dos espaços através da transformada de Fourier inversa (eq. 1.7). A função discreta obtida  $f_1(k,n)$  para ser de utilidade prática deve ter dimensões pequenas. Isto implica num truncamento abrupto de  $f_1(k,n)$ , provocando uma descontinuidade, que dá lugar ao fenômeno de Gibbs. Como consequência, o espectro da função  $f_1(k,n)$  obtido da equação (1.6) será diferente da função  $F_1(u,v)$  originalmente espe-

cificada. Para minimizar este efeito a função  $f_1(k,n)$  é multiplicada por uma janela.

Um filtro é simétrico em  $x$  e  $y$  se  $f(x,y) = f(-x,y) = f(-x,-y) = f(x,-y)$ . É radial se, além da simetria em  $x$  e  $y$ ,  $f(x,y) = f(y,x) = f(-y,x) = f(-y,-x) = f(y,-x)$ . Um filtro radial produz a mesma filtragem em qualquer azimute. Uma perda do caráter radial ocorre se o filtro for digitalizado em malha retangular. Filtros não radiais produzem filtrações diferentes em diferentes azimutes e são chamados direcionais. Através de filtros direcionais podem-se conservar ou rejeitar feições compreendidas entre azimutes pré-estabelecidos.

A teoria da filtragem espacial aplicada à gravimetria e magnetometria foi desenvolvida por Dean (1958), que analisou em detalhe o problema da continuação para cima e as dificuldades da continuação para baixo. Meskó (1966) discute vários operadores de derivada segunda e enfatiza a importância de analisar as características destes operadores pelas suas respostas espectrais bi-dimensionais. Fraser et al (1966) aplicam os métodos dos operadores de potência e correlação cruzada múltipla a dados unidimensionais. Estes operadores não requerem o conhecimento prévio das respostas espectrais do sinal e do ruído. Darby e Davis (1967) discutem a função derivada segunda como um filtro bi-dimensional e analisam os filtros de derivada segunda já publicados. Estes autores tratam ainda da obtenção de filtros através da transformada de Fourier inversa e estendem o método para filtros regionais, residuais, de banda passante e de continuação analítica. Fuller (1967) apresenta a teoria da filtragem espacial bi-dimensional com detalhes práticos e faz uma

revisão dos filtros de derivada segunda. Propõe também filtros de continuação para cima e para baixo, banda baixa, banda passante e banda alta. Trata ainda de teoria dos filtros direcionais, mostrando alguns exemplos em modelos. Zurflueh (1967) apresenta normas práticas para a obtenção de filtros regionais, residuais e de banda passante. Algumas destas normas são de caráter empírico. A aplicação dos referidos filtros é ilustrada em dados aeromagnéticos e topográficos. Naidu (1968) utiliza o filtro de Strakhov para separar sinal de ruído, baseando-se não nas suas respostas espectrais, mas nas suas funções autocorrelação, em geral diferentes. Black e Scollar (1969) demonstram a equivalência da filtragem no domínio das frequências e uma forma especial de filtragem por convolução. Discutem também as vantagens do primeiro processo, salientando o efeito das bordas. Lavin e Devane (1970) apresentam uma solução fechada para obtenção de filtros no domínio dos espaços e discutem como o tamanho do filtro, a frequência de corte e o intervalo de digitalização no domínio da frequência influenciam no desvio entre as respostas espectrais do filtro idealizado e do obtido.

Ku et al (1971) demonstram a equivalência entre convolução no domínio dos espaços e multiplicação no domínio das frequências, tratando especificamente do filtro de continuação analítica. Discutem também o emprego de janelas para filtragem de banda baixa ou banda alta, a fim de minimizar o fenômeno de Gibbs. Gunn (1972) aplica o filtro de Wiener a dados gravimétricos e magnéticos, tratando principalmente de modelos.

Bhattacharyya (1972) apresenta um método para obtenção dos pesos de filtros no domínio dos espaços, diferente dos métodos propostos anteriormente (Fuller, 1967; Daby e Davis, 1967). Consiste na resolução de um sistema de equações relacionando a resposta espectral com os pesos do filtro. Exemplos de filtros de continuação para baixo, derivadas primeira e segunda são apresentados. O método pode ser generalizado para outros tipos de filtros. Clement (1973) aborda problemas inerentes à filtragem de dados amostrados, como a frequência fundamental e a contaminação do espectro conhecida como "aliasing".

No domínio das frequências, Syberg (1972) propõe um tipo de filtragem (regional-residual) consistindo na análise do espectro dos dados em perfis ao longo dos vários azimutes com a determinação das frequências de corte associadas. Um filtro no domínio das frequências é então elaborado com as características de ter suas frequências de corte variáveis com o azimuth.

## 1.2. Considerações práticas.

### 1.2.1. Escolha do domínio

Todas as filtrações apresentadas neste trabalho foram realizadas no domínio dos espaços. Deu-se preferência à operação no domínio dos espaços pelos seguintes motivos:

- a) necessidade de computador com grande capacidade de memória para a transformação dos dados (cerca de 46.000 valores) para o domínio das frequências, através da Fast Fourier Transform,

- conhecida abreviadamente por FFT (Cooley e Tukey, 1965),
- b) o espectro calculado apresenta-se distorcido em relação ao espectro real havendo introdução de oscilações, pelo fato da função, no domínio dos espaços ser assumida periódica, obrigando os valores das bordas a serem iguais, o que em geral não acontece (Gunn, 1972),
- c) na região de comprimentos de onda pequenos, os coeficientes da série de Fourier, não representam com precisão a transformada do campo observado no domínio das frequências. Consequentemente este campo transformado conterá uma grande quantidade de ruídos de alta frequência. Além disso há distorções no tamanho e na forma das anomalias no mapa do campo transformado, porque a série de Fourier desvia-se do valor exato da transformada de Fourier dos dados (Bhattacharyya, 1972),
- d) a utilização da FFT restringe as dimensões da área a potências de dois. Embora esta restrição tenha sido superada (Black e Scollar, 1969), a subrotina HARM utilizada neste trabalho não dispõe de tal flexibilidade. Assim, a área deve ser truncada, acarretando uma perda de dados, por vezes maior do que a perda inerente ao processo da convolução em dados de dimensões finitas.

Como consequência do item c, áreas adjacentes de dados, submetidos à FFT, não coincidirão nas bordas. Assim, a filtragem no domínio dos espaços pode ser feita por etapas, em sub-áreas, mas no domínio das frequências, isto não é recomendável.

### 1.2.2. Escolha das dimensões dos filtros.

As dimensões de um filtro devem ser pequenas a fim de minimizar a perda dos valores nas bordas dos dados, igual a metade das dimensões do filtro. A maioria dos filtros utilizados são matrizes  $13 \times 13$ , que ocasionam uma perda de seis valores por linha (ou coluna) em cada borda vertical (ou horizontal).

Uma **d**esvantagens de filtros pequenos é a de produ<sub>z</sub>irem resposta espectral (para determinada frequência de corte) diferente da idealizada, principalmente nas baixas frequências. Deve haver um compromisso entre tais fatores e um meio termo deve ser tomado (Zurflueh, 1967, Bhattacharyya, 1972). Zurfluch (1967) sugere que o tamanho ideal de filtros é 1,5 vezes o comprimento de onda correspondente à frequência de corte; Bhattacharyya (1972) reporta uma dimensão mínima de  $25 \times 25$  para um filtro produzir resultados satisfatórios nas baixas frequências.

Procedimento particularmente interessante é descrito por Mufti (1972) para a obtenção de filtros de continuação para cima de pequenas dimensões, a partir de outros de dimensões maiores. Um filtro pequeno, assim obtido é chamado equivalente e sua resposta espectral é bem próxima da resposta espectral do filtro original. O desvio entre as respostas espectrais será tanto maior quanto menor o tamanho do filtro equivalente.

CAPÍTULO 2 : FILTRAGEM DE MAPAS AEROMAGNÉTICOS DA BACIA  
AMAZÔNICA

2.1. Introdução

2.1.1. Considerações Gerais

A área estudada localiza-se a oeste da cidade de Manaus, no estado do Amazonas, entre as latitudes 3°S e 4°30'S e as longitudes 60°W e 62°30'W (Fig. 2.1). Sua extensão é de 165 km na direção N-S e 277 km na direção E-W, cobrindo uma superfície aproximada de 46.000 km<sup>2</sup>.

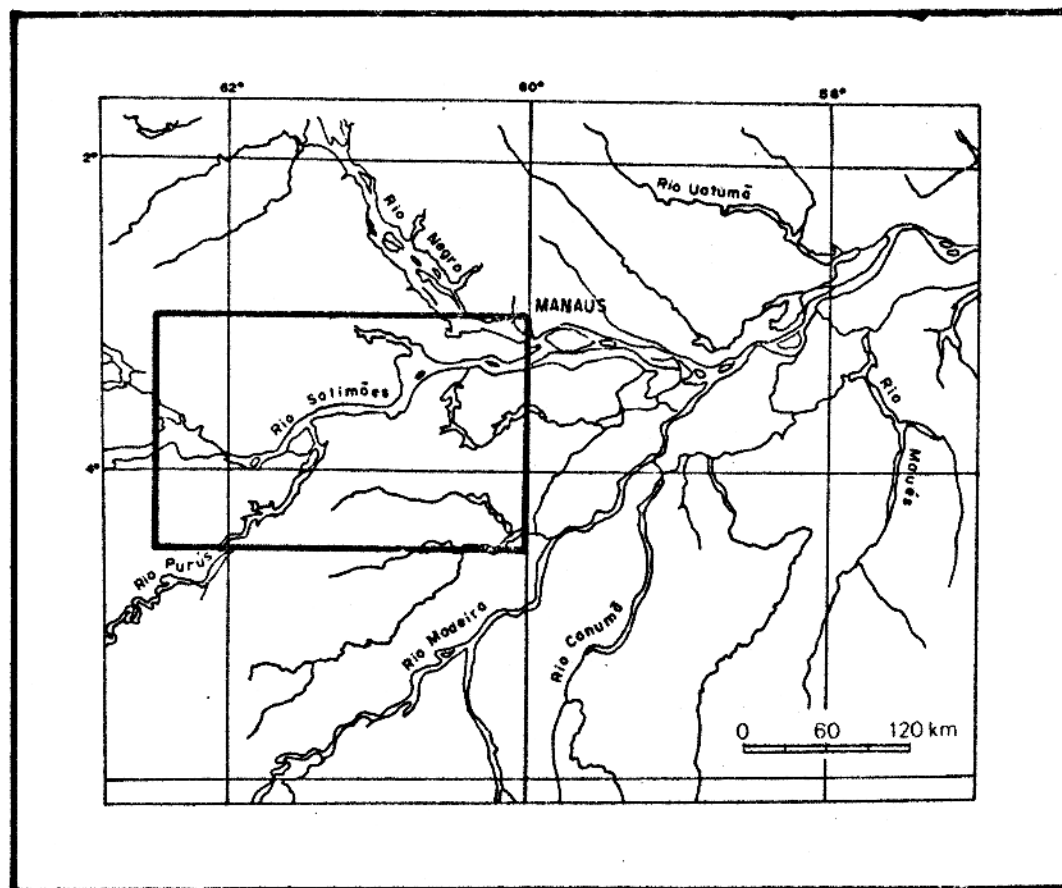


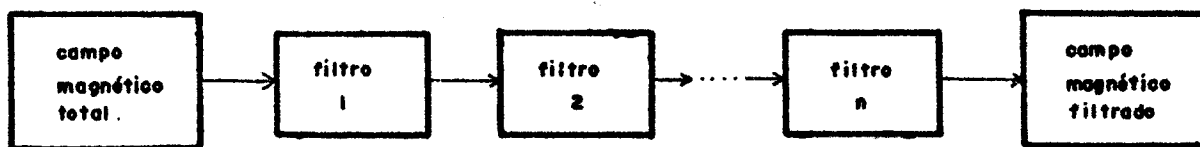
FIG. 2.1. - Mapa de localização da área estudada.

A localização das feições nos mapas que se seguem será referida a um sistema de coordenadas cartesianas com semi eixos positivos nos sentidos S-N e W-E e com a origem no can to inferior esquerdo da área. As coordenadas de um ponto serão determinadas pelas distâncias, em quilômetros, deste ponto à origem, medidas ao longo de cada eixo. Por exemplo, um ponto situado a 50km a leste e 80km ao norte da origem terá coordena das 50E/80N.

Um mapa filtrado através de uma ou mais convoluções terá o seu canto inferior esquerdo a uma certa distância da origem do sistema de coordenadas, devido à perda dos valores nas bordas. Os lineamentos serão referenciados por uma letra e um número. A letra indicará um conjunto de lineamentos com determinada direção. O número designará a ordem de um lineamen to dentro deste conjunto. Por exemplo, o lineamento C2 signi fica o segundo lineamento do grupo C. A seguinte convenção se rá adotada:

- Grupo A - lineamentos de direção E-W
- Grupo B - lineamentos de direção NW60°
- Grupo C - lineamentos de direção N-S
- Grupo D - lineamentos de direção NE45°
- Grupo E - lineamentos de direção NE60°

A descrição de cada processo de filtragem será fei ta por diagramas esquematizando o(s) tipo(s) de filtro(s) apli cado(s) sobre o campo magnético total, assim como o campo magné tico resultante da fil<sup>l</sup>tragem. Um esquema geral seria:



Onde os filtros 1, 2, ...n representam os filtros que foram aplicados sucessivamente no campo magnético total obtendo-se como resultado final o campo magnético filtrado. Este tipo de filtragem é conhecido na literatura por "cascade filtering", que será referido como filtragem em cascata.

#### 2.1.2. O mapa de campo total.

Todas as filtrações descritas neste trabalho foram efetuadas sobre o campo magnético total. Torna-se portanto necessária uma descrição das principais características deste campo, para fins comparativos.

Exceto na parte central superior (Fig. A 2.1) nota-se muito ruído, caracterizado por anomalias bem pequenas, menores que 2km, e por irregularidades das curvas de contorno, pouco suaves. Algumas manchas escuras, por exemplo em 112E/134N e em 172E/80N são ruídos provavelmente causados por erros na digitalização dos dados.

Três anomalias de porte intermediário (15 a 30km) são vistas em 108E/28N, 32E/88W e 120E/134N. Uma grande anomalia com cerca de 80km situa-se em 216E/132N. Os lineamentos aeromagnéticos mais visíveis são os de direções NE60° como E1,

E2, E3, E4 e NE45° como D1, D2 e D9 (Fig. A 2.1). Uma outra direção preferencial de lineamentos é NW60° como por exemplo B4. Ainda nesta direção um grande lineamento (B6), ainda que pouco visível, corta toda a área. Pequenos lineamentos NW60° são perceptíveis pelo deslocamento de outros lineamentos maiores de direções NE45°, como B3, B2 e B1, este último continuando até 200E/124N, sendo também evidenciado pela fuga local do padrão arredondado da grande anomalia situada em 216E/132 N. Um lineamento de aspecto curvo, com concavidade para o norte é visto passando por 64E/76N. De um modo geral o mapa apresenta muitas e pequenas anomalias e irregularidades locais das curvas de contorno. Somente na parte central superior os contornos tornam-se mais suaves. Esta área é limitada por lineamentos com direções NE45° e NW60°.

A Fig. A2.2 mostra o mapa do campo total obtido somente com os perfis pares em ambas as direções x e y. Esta amostragem não produz mudanças sensíveis em relação ao mapa original, exceto nas anomalias de alta frequência que são parcialmente eliminadas. Com este procedimento o tempo requerido para o traçado automático das curvas de contorno é reduzido cerca de quatro vezes, sem que isto acarrete em perda de informação. Todos os mapas do campo magnético filtrado apresentados a seguir contêm somente os perfis pares em ambas as direções x e y.

### 2.1.3. Análise do espectro

A análise preliminar do espectro dos dados é de grande importância na elaboração de filtros específicos para de

terminado conjunto de dados. Permite, por exemplo um estudo so bre o comportamento do ruído existente e a separação entre ano malias causadas por estruturas regionais e locais.

Para a obtenção do espectro dos dados foi empregado um algoritmo apresentado por Black e Scollar (1969) e Naidu (1970). Este algoritmo, uma versão modificada da FFT, reduz não só tempo do processamento, como também a necessidade de memó ria do computador.

Do espectro obtido foram feitas curvas de isoval res (Fig. A2.3-a) e perfis (Fig. A2.3-b,c,d) que mostram: 1) uma orientação pronunciada na direção N-S (correspondendo a E-W no domínio dos espaços) em toda sua extensão, particularmente ao longo do eixo (0,v), sendo a direção do eixo u coincidente com a direção E-W e a direção do eixo v coincidente com a direção N-S; 2) o espectro é altamente instável. Para mais de 90% das frequências as amplitudes são inferiores a 6 decíbeis e muito va riáveis ao longo de todo o espectro. As curvas de contorno são fechadas em pequenos círculos. Somente ao longo da linha (u,0) , notam-se curvas contínuas e abertas. Ambos os efeitos acima são provavelmente devidos à interpolação e digitalização dos dados, que foram obtidos em perfis contínuos ao longo de N-S e espaçados de cerca de 2km na direção E-W. Desse modo o espectro na direção N-S sofrerá a contaminação conhecida como "aliasing", em relação ao espectro na direção E-W (Grant, 1972). Um espectro bi-dimen - sional é muito instável (Bath, 1974) e em geral trabalha-se com es pectro uni dimensional. Pode-se entretanto conseguir uma maior estabilidade, mesmo em duas dimensões, multiplicando-se os dados, no domínio dos espaços por janelas, antes de sua transformação para o domínio das frequências -

(Báth,1974). Uma função janela multiplicada por um conjunto de dados, que sejam uma função do tempo e/ou do espaço, limita este conjunto dentro de um intervalo, chamado comprimento da janela. Não utilizar nenhuma janela corresponde a multiplicar pela janela retangular com comprimento igual ao número de dados.

Para minimizar a distorção espectral, o espectro de uma janela deve ter as seguintes características: (Báth,1974)

- a) Lobo central grande
- b) Lobos laterais pequenos ou desprezíveis

Foram empregadas as janelas:

- a) Janela retangular bi dimensional, definida como:

$$\begin{aligned} f(x,y) &= 1 && \text{se } |x| \leq T_x && \text{e } |y| \leq T_y \\ f(x,y) &= 0 && \text{se } |x| > T_x && \text{e } |y| > T_y \end{aligned}$$

A resposta espectral da janela retangular é a função seno cardinal  $\frac{\text{sen}\pi x}{\pi x}$ , conhecida abreviadamente como sinc(x). A função sinc(x) é caracterizada por um grande lobo central e lobos laterais menores, mas não desprezíveis. A figura 2.2 mostra um perfil unidimensional desta função.

- b) Janela Hamming bi dimensional, definida como:

$$\begin{aligned} f(x,y) &= 0,54 + 0,46 \cos \frac{\pi(x^2+y^2)^{1/2}}{(X^2+Y^2)^{1/2}} && \text{se } |x| \leq X \\ & && && |y| \leq Y \\ f(x,y) &= 0 && \text{se } |x| > X \\ & && && |y| > Y \end{aligned}$$

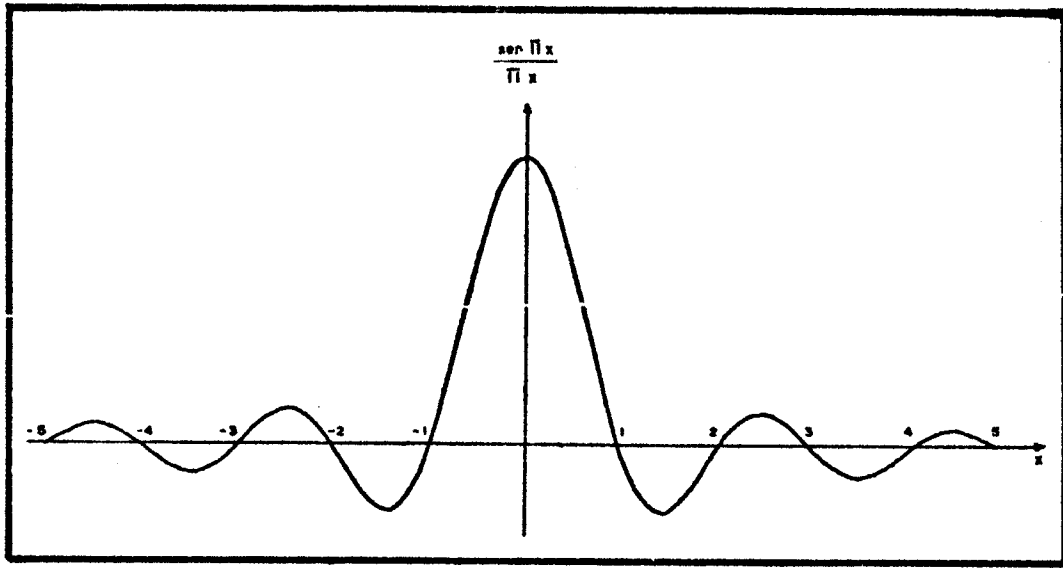
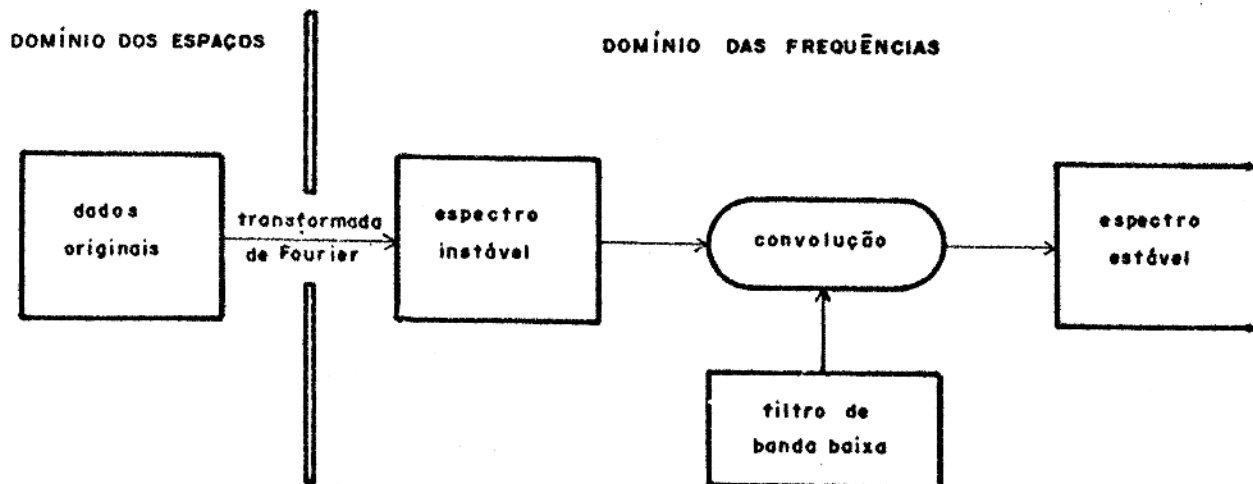


FIG. 2.2 - Função seno-cardinal.

A resposta espectral desta janela corresponde à superposição de 3 funções sinc, cada uma deslocada em relação à outra. Isto produz uma função resultante com lobos laterais menores que os da função sinc, o que é favorável.

A aplicação da janela retangular bi dimensional produziu um espectro não muito diferente do obtido sem o uso de janela. A aplicação da janela Hamming, com períodos de 60 unidades na direção N-S e 120 unidades na direção E-W, produziu um espectro mais suave, mas com caráter periódico, refletindo a periodicidade da função sinc, já que a multiplicação dos dados no domínio dos espaços, pela janela retangular bi dimensional corresponde a convoluir o espectro dos dados com a função sinc bi dimensional. Deve ser notado que a matriz dos dados originais tem 64 unidades na direção N-S e 128 unidades na direção

E-W. A melhor estabilização do espectro foi conseguida através de uma convolução do espectro instável com um filtro de banda baixa, como é mostrado no esquema abaixo.



O espectro estabilizado é mostrado na Fig.A2.4-a , onde as curvas de contorno tornaram-se mais contínuas e fechando em círculos maiores relativamente ao espectro original (Fig. A2.3-a).

Na Figura A2.4-a pode-se delimitar com clareza a frequência de corte. Esta representa o limite entre as frequências baixas, correspondendo a fontes profundas e as frequências altas, correspondendo a fontes rasas (Spector e Grant,1970), ou ainda o limite regional-residual (Syberg,1972). O conhecimento deste limite é importante na elaboração de filtros regionais (banda baixa) que devem cortar as altas frequências (ruído),mas

aproveitar ao máximo o sinal contido nas baixas frequências, que não deve ser cortado. Isto representa uma vantagem sobre os filtros de continuação para cima (no realce de estruturas regionais), para os quais vários níveis de continuação devem ser tentados antes de encontrar o mais apropriado (Curtis e Jain, 1975).

Para delimitar mais precisamente a frequência de corte, foi construído um par estereoscópico (Fig. A2.4-b) a partir da Figura A2.4-a. A visão tri-dimensional do espectro permite avaliar diretamente a variação da frequência de corte nos diversos azimutes, e assumir para ela um valor radial médio. Este valor, no caso da Figura A2.4-b coincidindo com a curva de zero decibel, corresponde à frequência de 0,07 ciclos/intervalo de dados na direção u. As figuras A2.4-b e A2.5 mostram a frequência de corte estereoscopicamente e ao longo de vários perfis radiais do espectro, respectivamente.

## 2.2. Dados Geofísicos e Geológicos.

### 2.2.1. Geologia

A Bacia Amazônica é uma depressão intra-cratônica sujeita a movimentos epirogênicos suaves. É dividida em três seções: Alto, Médio e Baixo Amazonas. As duas primeiras são separadas pelo Alto do Purus, enquanto as últimas separam-se pelo Alto de Monte Alegre.

A área em estudo situa-se no Médio Amazonas, compreendendo a borda leste do Alto do Purus. A Bacia do Médio Amazonas abrange uma área de aproximadamente 200 000 km<sup>2</sup> onde a espessura máxima dos sedimentos atinge 6 km. A área estudada tem cerca de 46 000 km<sup>2</sup> e a espessura média dos sedimentos é de 3,5 km (Fig. 2.3), atingindo localmente 4 a 5 km.

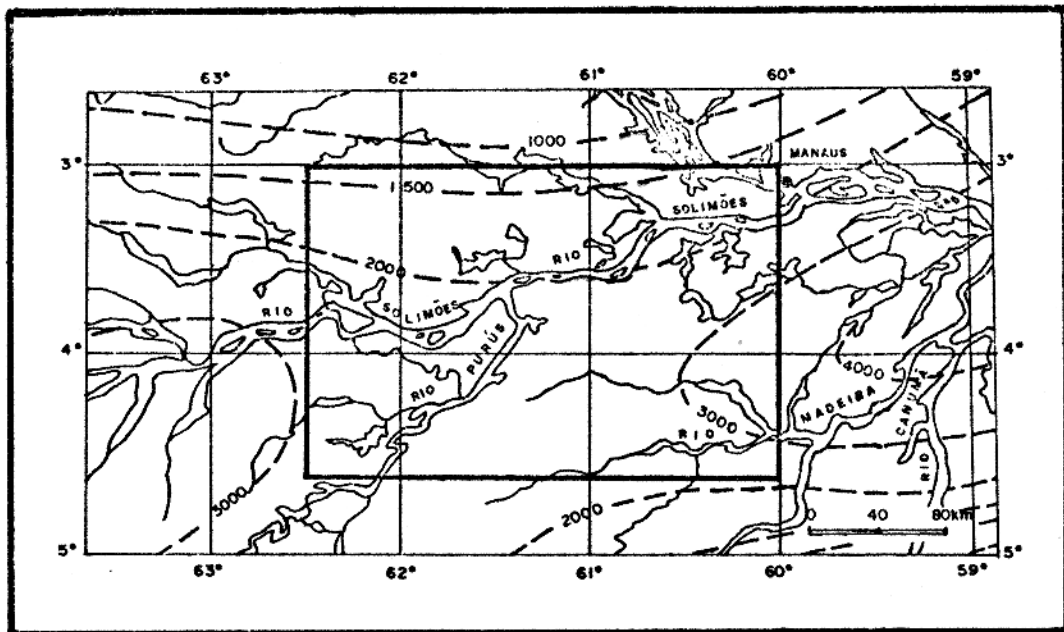


FIG. 2.3 - Localização da área em relação às profundidades de embasamento. Intervalo de contorno 1000m.

O embasamento cristalino não foi atingido, na área, por nenhuma sondagem, aflorando, entretanto na borda norte da Bacia, próximo à foz do rio Negro, consistindo de migma

titos, rochas graníticas e granodioríticas, riolitos pórfiros e intrusões andesíticas.

A formação Uatumã de idade pré-Cambriana, assenta se discordantemente sobre as rochas do embasamento e estão soto postas às rochas silurianas em discordância. Consistem de arenitos arcozianos avermelhados e esverdeados, de granulação fina, associados a pórfiros.

Localizada restritamente sobre o Alto do Puruse acima da formação Uatumã ocorre a bacia Prosperança-Acari (Fig. 2.4) compreendendo as formações Prosperança e Acari.

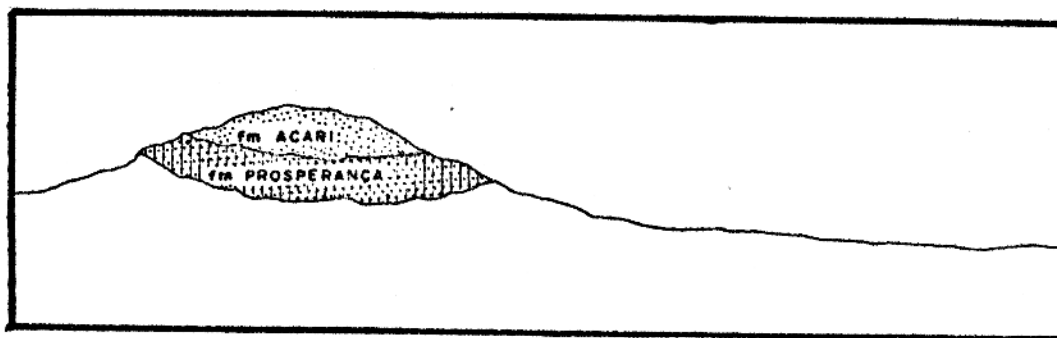


FIG. 2.4 - Bacia Prosperança-Acari.

Estas, de idade ordoviciana, consistem de sedimentos fluviais na porção inferior e superior e marinhos na porção média. São arenitos brancos e avermelhados de granulação fina a conglomerática, mal selecionados, friáveis e apresentando estratificação cruzada.

O Siluriano, representado pela formação Trombetas,

marca a primeira transgressão marinha ocorrida no Paleozóico da Bacia Amazônica. Depositarão-se arenitos brancos de granulação fina a média e bem selecionados, folhelhos pretos e arenitos intercalados com folhelhos e siltitos.

No Siluriano superior ocorreu o levantamento do Alto do Purus, causando regressão marinha. Predominou então uma fase erosiva evidenciada pela discordância entre camadas silurianas-devonianas.

No Devoniano inferior há o início de outra transgressão marinha. Os arenitos de granulação média com estratificação cruzada da formação Maecurú e os siltitos e folhelhos cinza escuros da formação Ererê representam esta fase transgressiva. As camadas da formação Curuá, de idade devoniana superior a carbonífera inferior, consistindo de folhelhos pretos e diamictitos representam o máximo do período transgressivo.

Após a sedimentação das camadas devonianas ocorre um vulcanismo básico, havendo ascensão do magma através de diáclases, formando diques e soleiras.

Ainda durante o Carbonífero inferior inicia-se a regressão marinha provocada pelo novo soerguimento do Alto do Purus. Este soerguimento é evidenciado pela presença de sedimentos carboníferos e permianos assentados sobre os sedimentos das formações Prosperança e Acari na área do Alto do Purus.

O período compreendido entre o Carbonífero superior e o Permiano corresponde à última transgressão marinha na Bacia Amazônica. Depositam-se discordantemente arenitos da formação Monte Alegre, seguidos de camadas carbonáticas e evaporíticas ,

provocadas por flutuações marinhas, que permaneceram durante a deposição dos calcários e folhelhos cinzas da formação Itaituba.

O ambiente representado pelos evaporitos atinge sua máxima expressão nas camadas da formação Nova Olinda, de idade permo-carbonífera, consistindo de sal e anidritas, intercaladas com folhelhos e calcários.

No Permiano, os sedimentos marinhos são restritos, predominando os de origem continental, como os siltitos vermelhos e verdes da formação Sucunduri.

Não há registro de sedimentos triássicos e jurássicos na Bacia Amazônica, sendo este período caracterizado por abundantes intrusões básicas em forma de diques e soleiras. As soleiras de diabásio ocorrem quase continuamente num intervalo da coluna de sedimentos, designado zona de soleiras, que começa em 400m a partir da superfície, atinge o máximo em 650m e desta espessura em diante decresce com a profundidade. A Figura 2. 5 mostra a distribuição desta zona de soleira.

Linsser(1973) interpreta a ocorrência preferencial das soleiras em determinados níveis como um efeito isostático.

A ocorrência dos diques aumenta com a profundidade.

Do Cretáceo ao Terciário, depositaram-se os sedimentos continentais da Formação Alter do Chão, consistindo de arenitos e folhelhos.

Por fim, os depósitos aluvionais do Quaternário, ao longo dos rios, que, junto com as rochas de formação Alter do Chão são as únicas litologias aflorantes na área estudada.

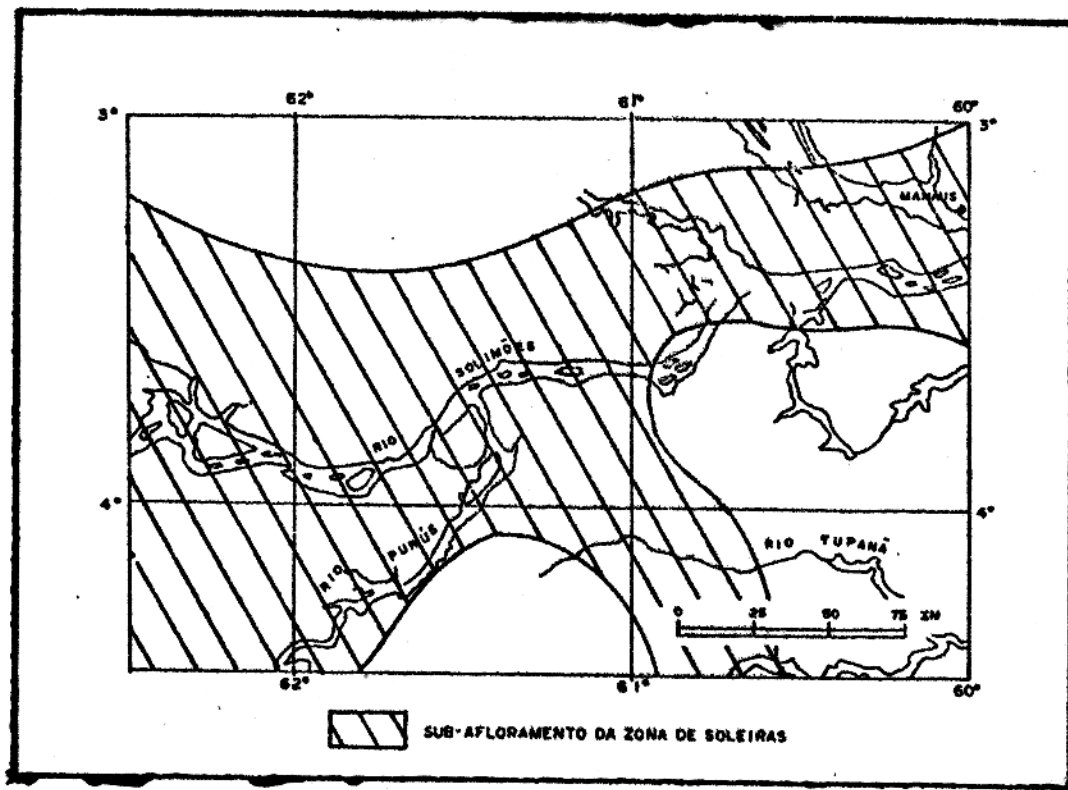


FIG. 2.5 - Mapa de espessura total das soleiras.

A Bacia Amazônica é uma bacia intracratônica de interior estável. Sua movimentação é essencialmente epirogenética.

Porto(1972), segundo Asmus e Porto,1972, valendo-se do modelo proposto por Mc Ginnis (1970) para a evolução das bacias Michigan e Illinois, estabeleceu um modelo semelhante para a evolução da Bacia Amazônica (em particular a do Médio Amazonas):

a) intrusão no craton de rochas intrusivas ultrabásicas provocando aqueamento crustal, levantamento de área do Rift e formação de bacias periféricas (Fig. 2.6-a);

- b) interrupção do processo tafrogênico, colapso das ultrabásicas e afundamento das partes centrais do Rift, causando uma depressão inicial (Fig. 2.6-b);
- c) deposição de sedimentos na depressão, e por subsidência isostática, formação da bacia intracratônica. As bacias periféricas dão lugar a arcos regionais (Fig. 2.6-c).

Com esse modelo explicam-se a presença de altos gravimétricos alinhados ao longo do eixo de toda a Bacia Amazônica, e a presença de sedimentos da Bacia Prosperança-Acarí em cima do Alto do Purus. Os altos gravimétricos seriam causados por intrusivas ultrabásicas e a Bacia Prosperança-Acarí corresponderia à bacia periférica.

No poço Cuminã-Mirim (1 - CM - 1 -PA) foi testemunhado um piroxenito, em cima de um alto gravimétrico, datado em 450 ma (Cordani, segundo Andrade e Cunha, 1971), ou Ordoviciano médio. Esta idade está coerente com a evolução da Bacia Prosperança-Acarí e com os soerguimentos posteriores do Alto do Purus no fim do Siluriano e no fim do Carbonífero inferior.

A Bacia Amazônica não se apresenta muito movimentada estruturalmente exceto próximo aos Andes e perto da foz do Amazonas. Os mergulhos das camadas são suaves variando de 0° a 8°. As principais direções de diques e fraturamentos são NE-SW e NW-SE.

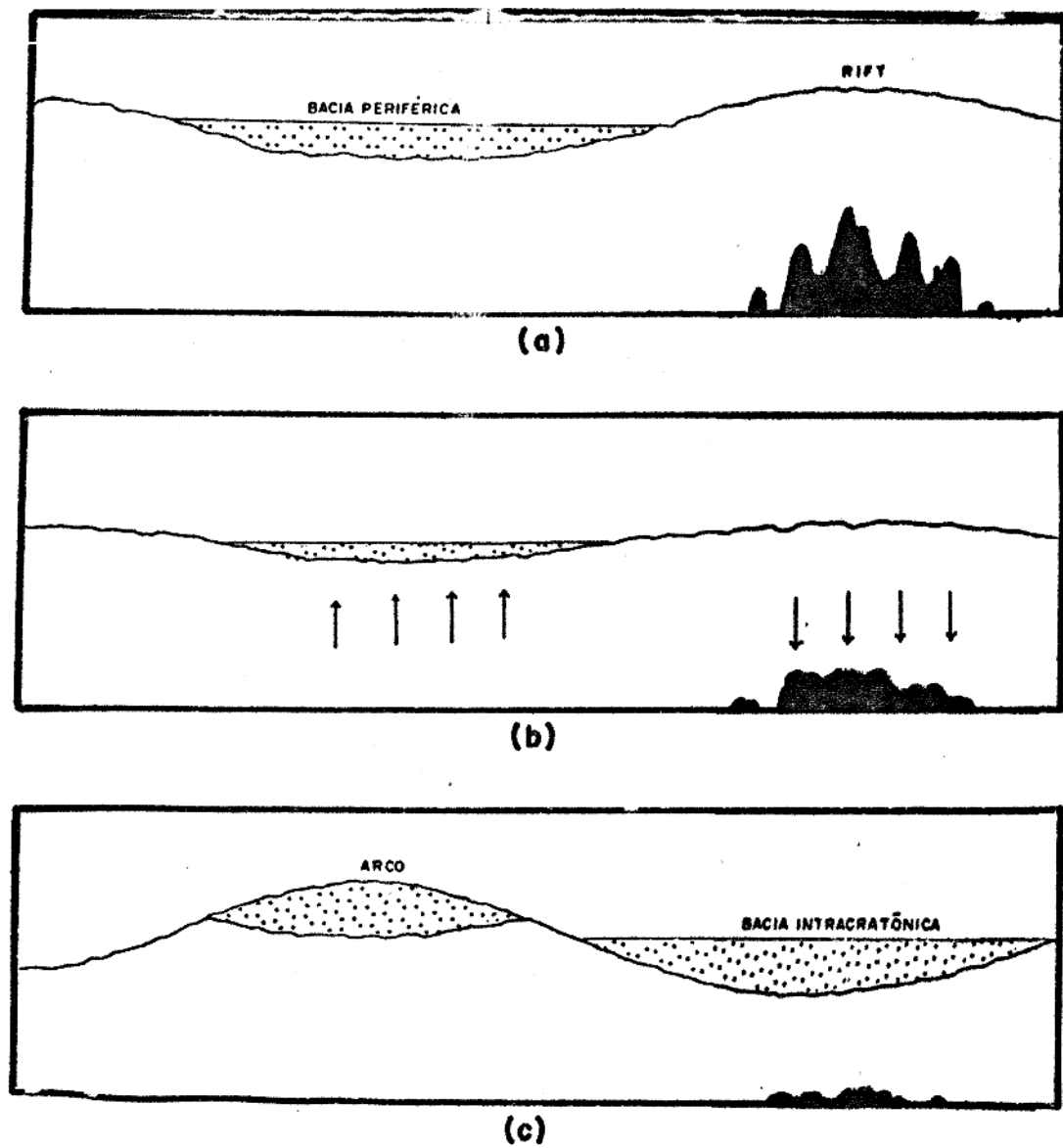


FIG. 2.6 Evolução da Bacia do Médio Amazonas adaptada do modelo de Mc Ginnis (1970) para as bacias Michigan e Illinois. (a) Intrusão de ultrabásicas provocando arqueamento e formação de bacias periféricas. (b) Colapso das ultrabásicas, causando uma depressão inicial. (c) Deposição de sedimentos na depressão e formação da bacia intracratônica.

### 2.2.2. O Levantamento Aeromagnético

De outubro de 1960 a abril de 1961 o campo magnético total foi registrado com um magnetômetro aerotransportado. As linhas de vôo, espaçadas em média de 2Km, tiveram direção N-S. Os dados, contornados a intervalos de 10 gamas foram lançados em cartas na escala 1:100.000. Outras especificações são altura barométrica de vôo 400m, inclinação magnética  $18,5^{\circ}$  N, declinação magnética  $6,0^{\circ}$  W. A partir das referidas cartas os dados foram digitalizados à mão, perfurados em cartão e armazenados em disco para futuro processamento automático. O intervalo de digitalização foi de 1Km em ambas as direções N-S e E-W, produzindo um total de 46.148 valores distribuídos em 278 colunas (N-S) por 166 linhas (E-W).

### 2.2.3. Outros dados Geofísicos.

Outros dados geofísicos da região são: a) reconhecimento gravimétrico realizado em 1958 ao longo dos principais rios. As curvas de isovelores (traçadas a intervalos 1 miligal ao longo dos rios e de 10 miligal onde não há amostragem) são de certa forma especulativas e servem apenas como uma visão global das grandes tendências; b) perfis compostos: raios gama e resistividade, de 1957 a 1963. concentrados principalmente na parte nordeste da área. A profundidade total de cada perfil varia entre 1200m e 2000m; c) levantamentos de sísmica de refração, que delimitam a topografia do embasamento e a ocorrência de falhas.

### 2.3. Filtros empregados e resultados obtidos.

#### 2.3.1. Filtros de continuação para cima.

Através de teoria do potencial sabe-se que a continuação para cima de um potencial  $f(x,y,0)$ , em uma região fora das fontes, até uma altura  $z$  acima do plano de observação é dada pela seguinte equação:

$$f(x,y,z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{z f(x,y,0) d\alpha d\beta}{2\pi[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + z^2]^{3/2}} \quad (2.1)$$

Comparando-se as equações 1.1 e 2.1, e tendo em vista a propriedade comutativa de convolução, a eq. 2.1 pode ser interpretada como uma convolução bi dimensional, ou seja, uma operação de filtragem, sendo neste caso o filtro, aplicado sobre o campo  $f(x,y,0)$ , dado por

$$\phi(x,y,z) = \frac{z}{2\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2}} \quad (2.2)$$

Para os dados discretos e espaçados igual e regulamente nas direções  $x$  e  $y$ , a expressão acima torna-se:

$$W(k,n,h) = \frac{h}{2\pi(k^2+n^2+h^2)^{3/2}} \quad (2.3)$$

onde  $W(k,n,h)$  são os pesos do filtro com coordenadas  $k$ , ao longo de  $x$ , e  $n$ , ao longo de  $y$ .

$k = \frac{x}{s}$ ,  $n = \frac{y}{s}$  e  $h = \frac{z}{s}$ , sendo  $s$  o espaçamento en

tre os dados digitalizados.

O filtro assim obtido é depois normalizado, fazendo a soma de todos os seus pesos, no domínio dos espaços, igual a 1. A normalização deste filtro é interessante porque faz com que as médias dos valores dos mapas original e filtrado sejam próximas podendo-se comparar mais facilmente as amplitudes das anomalias (Zurflueh, 1967).

Vale ressaltar que a normalização só se presta para filtros de continuação para cima, ou para baixo e de banda baixa (ou regional); mas não serve para filtros de banda passante, banda alta (ou residual), de derivada segunda e a maioria dos filtros direcionais. Os filtros residuais devem ter a soma dos seus pesos igual a zero, pois com este filtro se pretende suprimir o valor médio dos dados.

As respostas espectrais dos filtros de continuação para cima (Fig. 2.7, 2.8 e 2.9) mostram que eles possuem a propriedade de atenuar mais as altas frequências em relação às baixas. Funcionam então como filtros de banda baixa. Comparativamente, quanto mais altos os níveis de continuação, mais baixas são as frequências realçadas.

Foram empregados filtros para os seguintes níveis de continuação:

a)  $h=0,5$  - resposta espectral na Figura 2.7

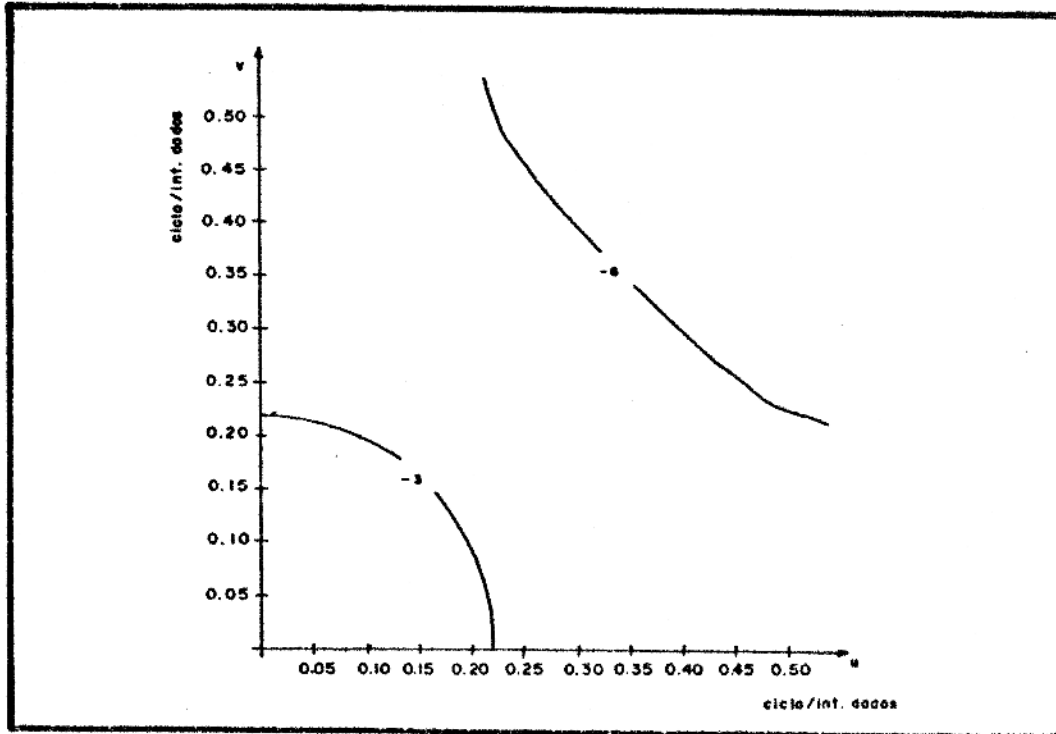
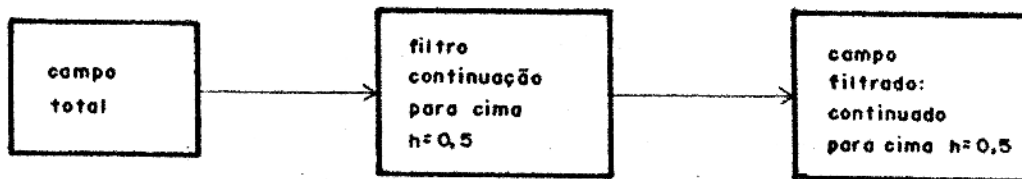


FIG. 2.7 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do fil  
tro de continuação para cima  $h=0,5$ . Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Figura A2.6 mostra este campo filtrado. Observa-se que ele não difere muito do campo magnético total amostrado de dois em dois em cada direção  $x$  e  $y$ , representado na Figura A2.2.

b)  $h = 1,0$  - resposta espectral na Figura 2.8

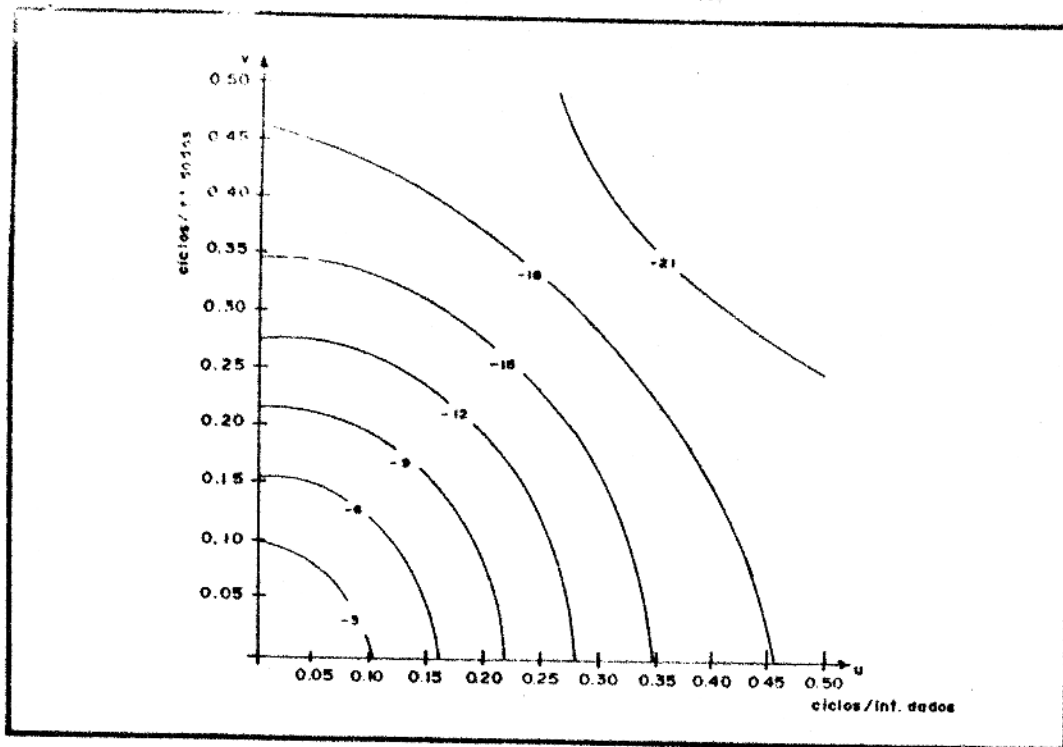
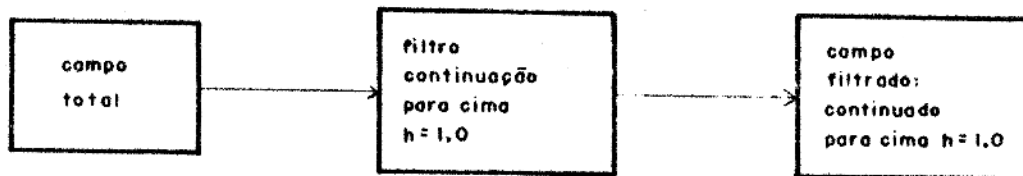


FIG. 2.8 Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro de continuação para cima  $h=1,0$ . Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos:

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Figura A2.7 mostra este campo filtrado. Observa-se uma redução geral do ruído contido nos mapas de campo total. Os contornos tornam-se menos quebrados e muitas das anomalias menores que 2km desaparecem.

A anomalia situada em 216E/132N torna-se mais individualizada sem a interferência de variações locais. As anomalias

de porte intermediário sofrem também a mesma modificação, apresentando contornos mais suaves. Os lineamentos continuam bem visíveis podendo-se agora individualizar melhor mais três: D9 e D10 de direção NE45° e B5 de direção NW60°. Estes novos lineamentos são particularmente perceptíveis no mapa estereoscópico. (Fig. A2.8)

A área mais suave na parte central superior claramente visível no mapa de campo total é, neste mapa dificilmente detetada, havendo uma homogeneização geral.

c)  $h=2,0$  - resposta espectral na Figura 2.9

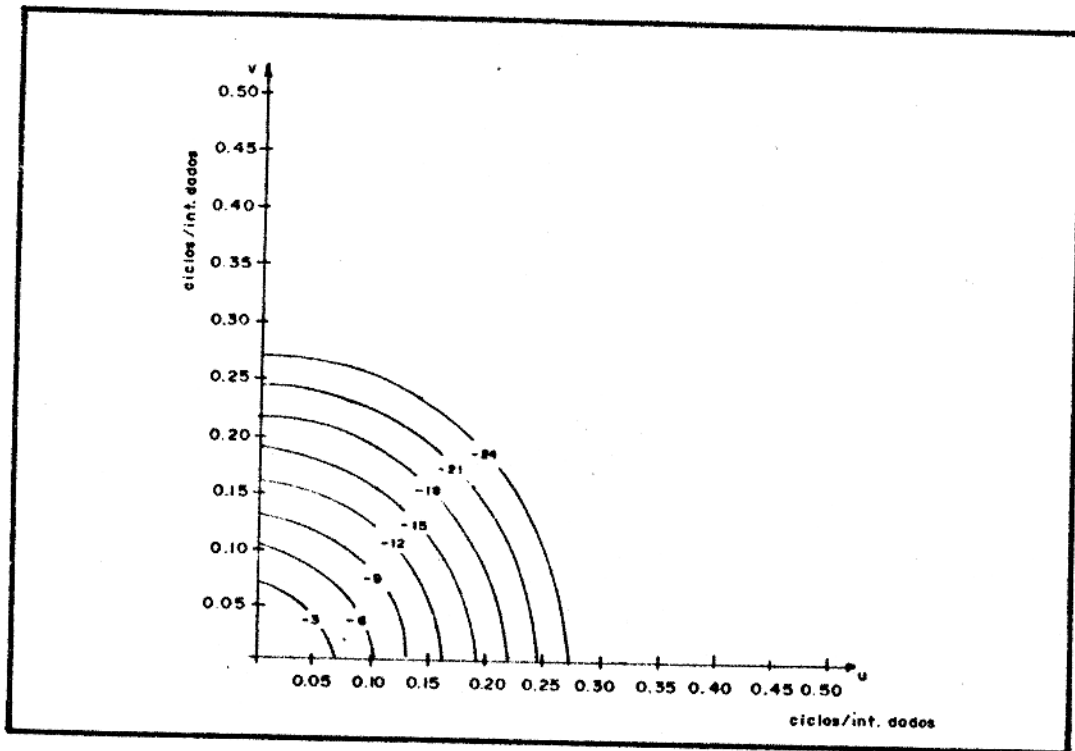
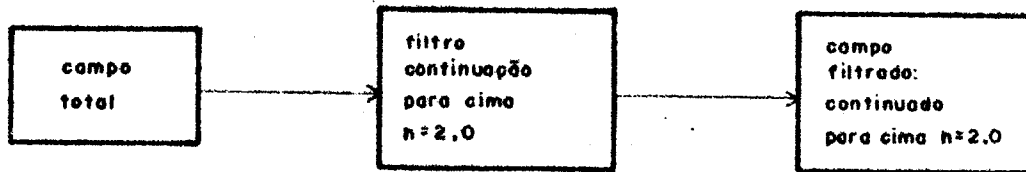


FIG. 2.9 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro de continuação para cima  $h=2,0$ . Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Figura A2.9 mostra este campo filtrado. Observa-se a eliminação quase completa das anomalias menores que 2km. As curvas de contorno tornam-se bem suaves e contínuas. As anomalias de porte intermediário mostram-se mais isoladas, podendo-se individualizar mais algumas, como em 55E/35N, 27E/67N, 67E/67N, 71E/99N e 167E/115N. Uma série de anomalias de porte médio, alinhadas na direção N-S é notada em 111E. Neste mapa surge outra anomalia de grande porte (cerca de 60km) em 247/31N. Esta anomalia possui alta amplitude, mas seu gradiente é pequeno em relação, por exemplo, à anomalia situada em 216E/132N. Todos os grandes lineamentos já citados destacam-se pelo padrão linear das curvas de contorno, bem como por gradientes altos.

### 2.3.2. Filtros regionais.

Um filtro regional é um filtro de banda baixa, cuja frequência de corte é determinada pela análise do espectro dos dados a serem filtrados. Sua finalidade é conservar anomalias de grande comprimento de onda, interpretadas como provindas de fontes extensas ou profundas e atenuar as anomalias de pequeno comprimento de onda, interpretadas como provindas de fontes rasas ou locais ou ainda causadas por ruído instrumental ou de manipulação dos dados.

A elaboração de um filtro regional consiste em especificar a resposta espectral desejada de forma digital e calcular a transformada de Fourier inversa numericamente obtendo assim os pesos do filtro no domínio dos espaços. Estes dados são então multiplicados por uma função janela. Os valores resultantes são transformados novamente para o domínio das frequências a fim de constatar se houve muita discrepância entre a resposta espectral especificada e a calculada. No caso da diferença entre as respostas espectrais superar o limite de tolerância, modificam-se os valores espectrais originalmente especificados e que tenham sido mais afetados, repetindo-se o processo até que a diferença entre as respostas espectrais seja menor que o limite de tolerância.

Uma vez obtidos os pesos, no domínio dos espaços, de um filtro regional, com determinada frequência de corte, pode-se obter diretamente os pesos de filtros regionais para qualquer frequência de corte, através do teorema da similaridade (Bracewell, 1965), que afirma: se  $f(x)$  e  $F(u)$  formam um par de transformadas de Fourier, então  $f(ax)$  e  $\frac{1}{|a|} F\left(\frac{u}{a}\right)$  também formam um par de transformada de Fourier, sendo  $a$  uma constante real. O fator  $\frac{1}{|a|}$  não interfere, já que os filtros regionais são normalizados.

Foram empregados filtros com as seguintes frequências de corte:

- a) frequência de corte = 0,20 ciclos/intervalo de dados - resposta espectral na Figura 2.10.

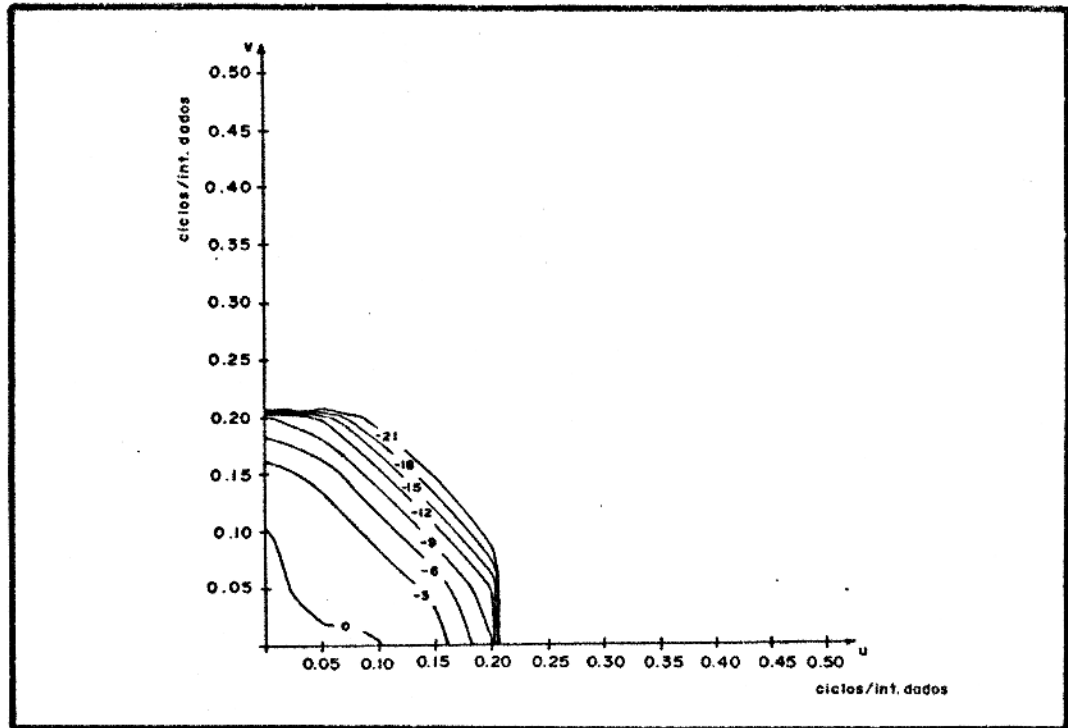
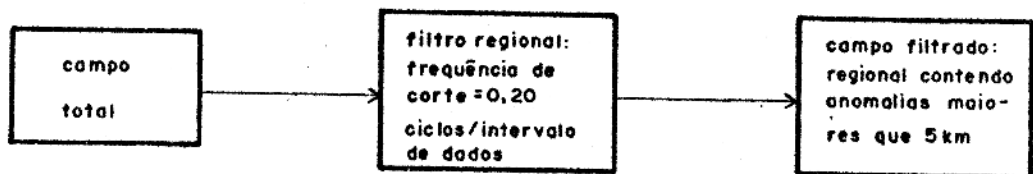


FIG. 2.10 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro regional com frequência de corte 0,20 ciclos/intervalos dado. Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Figura A2.10 mostra este campo filtrado. Observa-se que este mapa apresenta-se apenas ligeiramente mais suavizado que o mapa do campo continuado para cima  $h=0,5$  (Fig.A2.6). Entretanto, para finalidades práticas de definição de feições

pouco visíveis no mapa de campo total, ambos podem ser considerados semelhantes em quantidade de informação.

b) frequência de corte = 0,125 ciclos/intervalo de dados. Resposta espectral na Figura 2.11.

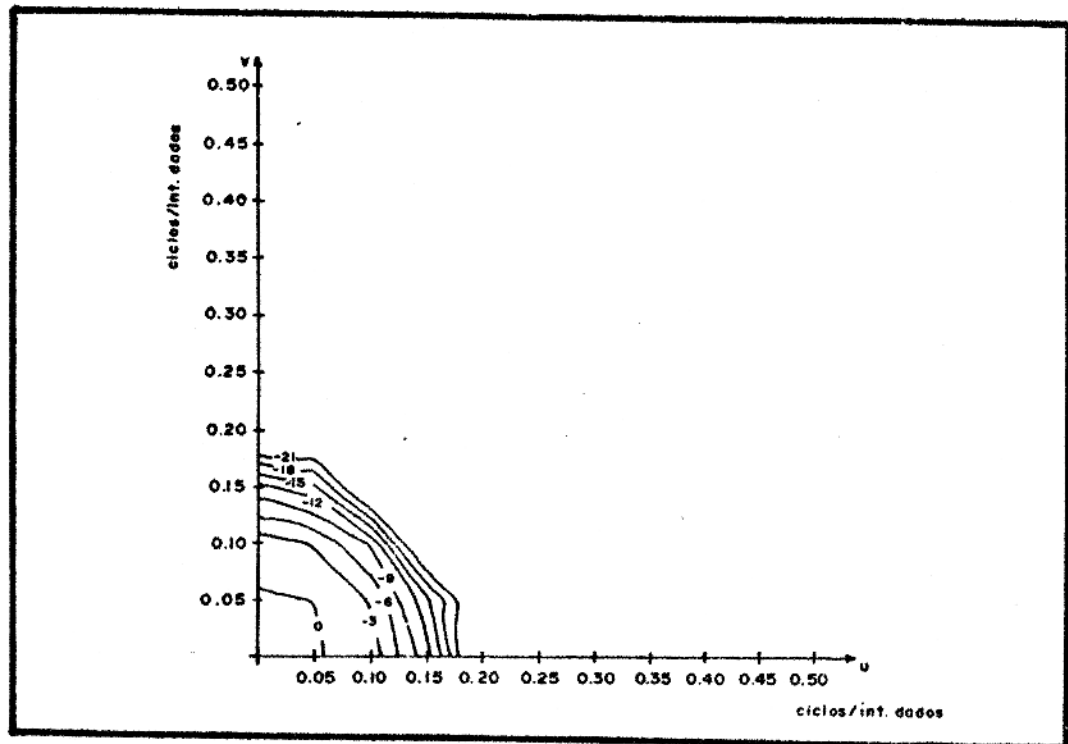
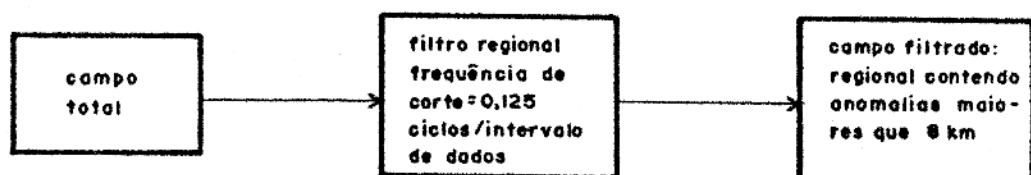


FIG. 2.11 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro regional, com frequência de corte 0,125 ciclos/int.dados. Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Figura A2.11 mostra este campo filtrado. Observa-se que este mapa é praticamente idêntico ao mapa de continuação para cima  $h=2$  (Fig. A2.9). Não acrescenta portanto nenhuma informação além daquelas já mencionadas.

c) frequência de corte = 0,07 ciclos/intervalo de dados. Resposta espectral na Figura 2.12.

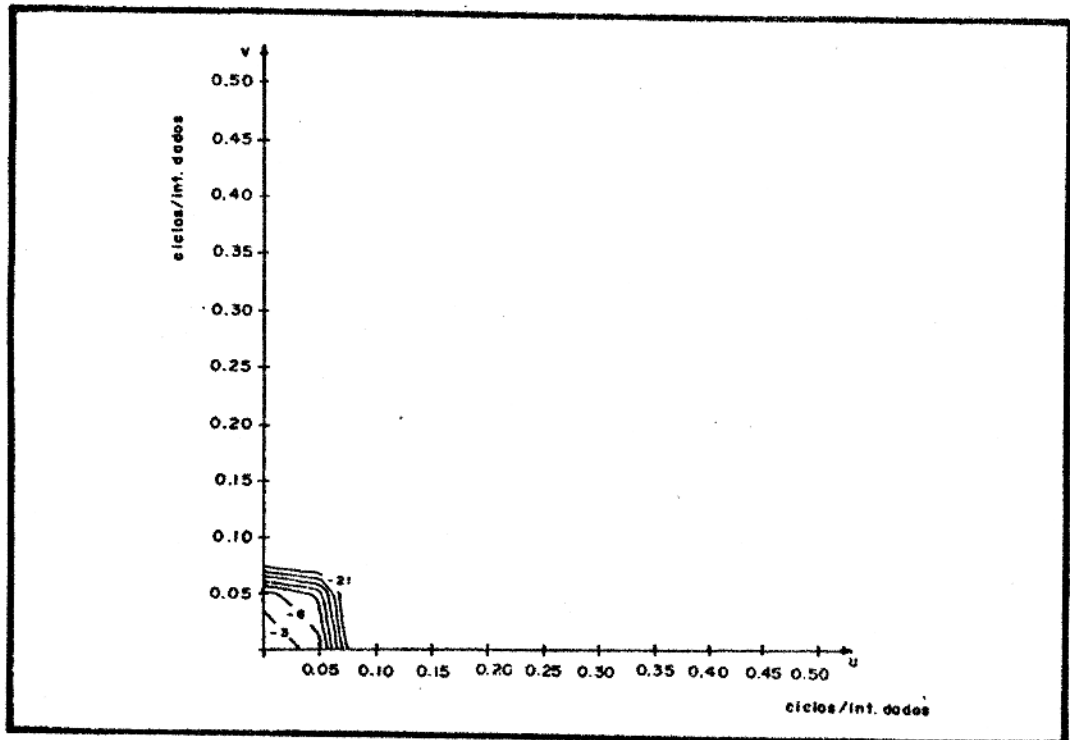
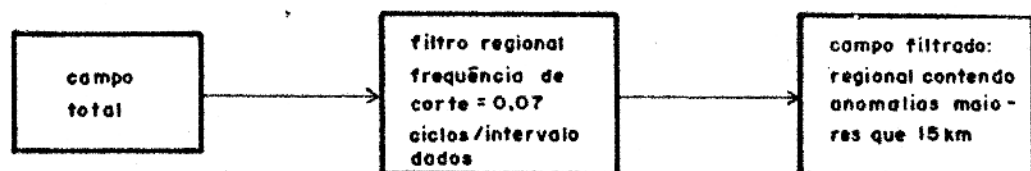


FIG. 2.12 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro regional, com frequência de corte 0,07 ciclos/int.dados. Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Figura A2.12 mostra este campo filtrado. Observa-se o desaparecimento total das anomalias de pequeno porte, incluindo as causadas por ruído instrumental e de manipulação dos dados. As anomalias de médio e grande porte apresentam-se totalmente livres de interferências locais e seus contornos são extremamente suaves e arredondados. Os lineamentos de direção NE60° são os mais acentuados, exibindo padrões bastante retilíneos. Os de direção NW60° tornam-se menos visíveis, sendo que os de pequeno porte (B1, B2, B3) na parte superior do mapa de campo total desaparecem totalmente. A única exceção é o lineamento B5 que aparece muito claramente. Um outro lineamento de direção NE45° (D7) é visível próximo a 27E/47N.

O objetivo de se utilizar filtros regionais com 3 frequências de corte distintas foi de testar a utilidade da análise preliminar do espectro, pois como foi visto na seção 2.1.3, a frequência de corte média para o espectro de dados é igual a 0,07 ciclos/intervalo de dados.

### 2.3.3. Filtros de banda alta.

Um filtro de banda alta tem por finalidade conservar anomalias de pequeno comprimento de onda, interpretada como provindas de fontes rasas ou locais e atenuar as anomalias de grande comprimento de onda, interpretadas como provindas de fontes extensas ou profundas. Uma inconveniência destes tipos de filtros é que os ruídos porventura existentes nos dados obtidos são muito ampliados podendo comprometer a utilidade do mapa filtrado.

Os filtros de banda alta mais comumente utilizados em aeromagnetometria são os filtros residuais e os de derivada segunda.

a) Filtro residual.

Um filtro residual caracteriza-se por conservar frequências acima de um determinado valor, chamado frequência de corte, e atenuar as frequências abaixo desse valor limite.

Um filtro residual pode ser elaborado a partir de um filtro regional, simplesmente multiplicando-se os seus coeficientes por menos um e atribuindo ao ponto central um valor igual à soma de todos os coeficientes com o sinal trocado.

Um método alternativo para a obtenção de campos residuais é o de subtrair ponto a ponto os valores do campo regional dos valores do campo total. Este método, sendo mais rápido que o da convolução, foi utilizado para produzir o campo residual representado na Fig. A2.13. A obtenção deste campo residual consistiu em subtrair o campo regional da Fig. A2.12 do campo total (Fig. A2.1)

Observa-se que, na Fig. A2.13 há muito ruído, predominando anomalias de pequeno porte. As anomalias de grandes extensões são totalmente eliminadas, enquanto duas de médio porte, situadas em 120E/134N e 108E/28N são ainda parcialmente visíveis.

Alguns lineamentos de direção NW60° (B1, B4 e B6) e o lineamento curvo passando por 64E/76N são ainda notáveis. A área mais suave na parte central superior, bastante evidenciada no mapa de campo total pode ainda ser individualizada neste mapa residual

b) Filtros de derivada segunda vertical.

O filtro de derivada segunda vertical aplicado a um conjunto de dados discretos de campo potencial tem a propriedade de produzir um campo filtrado que representa em cada ponto a derivada segunda vertical do campo original. Este filtro tem sido muito empregado na interpretação magnética e gravimétrica, porque os valores zero do campo filtrado delimitam aproximadamente as extensões horizontais dos corpos magnetizados.

A expressão analítica deste filtro, no domínio das frequências pode ser obtida da seguinte maneira. Para região fora das fontes, a equação de Laplace é válida:

$$\frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = - \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial x^2} \Big|_{z=0} - \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial y^2} \Big|_{z=0} \quad (2.4)$$

onde  $f(x,y,z)$  são dados de campo potencial. Este campo potencial e suas segundas derivadas horizontais podem ser representados a partir de suas transformadas de Fourier:

$$f(x,y,z) \Big|_{z=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) e^{2\pi i(ux+vy)} du dv \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial x^2} \Big|_{z=0} = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} 4\pi^2 u^2 F(u,v) e^{2\pi i(ux+vy)} dudv \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial y^2} \Big|_{z=0} = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} 4\pi^2 v^2 F(u,v) e^{2\pi i(ux+vy)} dudv \quad (2.7)$$

Substituindo os valores das derivadas parciais horizontais dados por 2.6 e 2.7 na equação 2.4 obtem-se:

$$\left. \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial z^2} \right|_{z=0} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} 4\pi^2(u^2 + v^2) F(u,v) e^{2\pi i(ux+vy)} du dv \quad (2.8)$$

a equação 2.8 mostra que  $\left. \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial z^2} \right|_{z=0}$  e  $4\pi^2(u^2+v^2) F(u,v)$  formam um par de transformada de Fourier. Chamando de  $F^*(u,v)$  a transformada de Fourier da derivada segunda de  $f(x,y,z) \Big|_{z=0}$ , então:

$$F^*(u,v) = 4\pi^2(u^2 + v^2) F(u,v) \quad (2.9)$$

Através da equação 2.9 percebe-se que a operação de derivada segunda de um campo potencial no domínio das frequências consiste na multiplicação do espectro deste campo por  $4\pi^2(u^2+v^2)$ . Os pesos do filtro de derivada segunda no domínio das frequências podem então ser obtidas da fórmula:

$$W(u,v) = 4\pi^2(u^2+v^2) \quad (2.10)$$

No domínio dos espaços os pesos do filtro são calculados obtendo-se a transformada de Fourier inversa da equação 2.10. Como não existe uma expressão analítica para esta transformação, ela tem que ser realizada numericamente, através da equação 1.7, fazendo-se:

$$F_1(\ell\Delta u, m\Delta v) = 4\pi^2\{(\ell\Delta u)^2 + (m\Delta v)^2\}$$

Um filtro obtido desse modo tem a propriedade de ampliar as anomalias proporcionalmente às suas frequências, o que causa certos problemas com as frequências muito altas. Se os

dados originais contêm muito ruído, o mapa filtrado conterá praticamente só ruído, comprometendo assim sua utilidade. O método de contornar esta dificuldade baseia-se na análise do espectro dos dados originais. A partir desta análise determina-se a frequência de corte da maneira descrita na seção 2.1.3. O operador derivada segunda deve ter comportamento espectral o mais próximo possível do teórico desde a frequência fundamental até a frequência de corte, sendo as frequências maiores que a frequência de corte atenuadas tão bruscamente quanto possível (Bhattacharyya, 1972). Desse modo obtem-se como operador derivada segunda, um filtro não mais de banda alta mas de banda passante, especialmente projetado para cada caso (Meskô, 1966). Para fins comparativos, os seguintes filtros foram inicialmente empregados, nenhum dos quais foi obtido com a metodologia acima descrita:

a) Filtro teórico - resposta espectral na Fig. 2.13

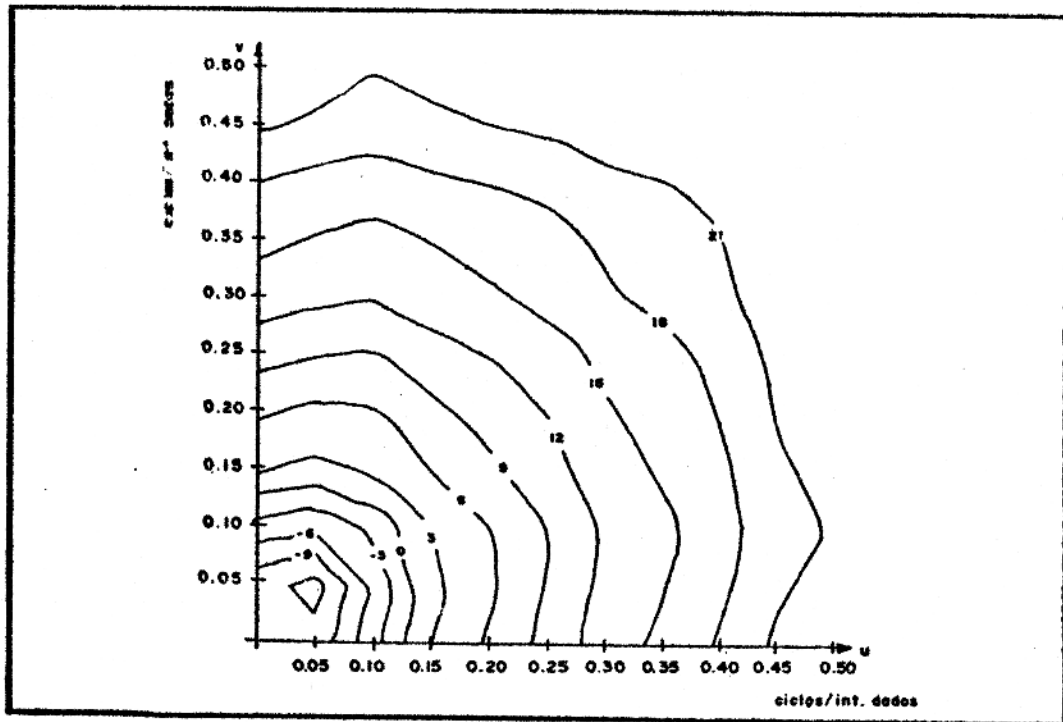


FIG. 2.13 - Resposta espectral, no primeiro quadrante do filtro de derivada segunda teórico. Intervalo de contorno 3 decibéis.

- b) Filtro suavizado no domínio dos espaços com a janela Hamming  
resposta espectral na Fig. 2.14.
- c) Filtro de Darby e Davis (1967, pag. 395) - resposta espec  
tral na Fig. 2.15.
- d) Filtro de Darby e Davis (1967, pag. 396) - resposta espec  
tral na Fig. 2.16.
- e) Filtro de Peters (1949, eq. 27) - resposta espectral na Fig  
2.17.

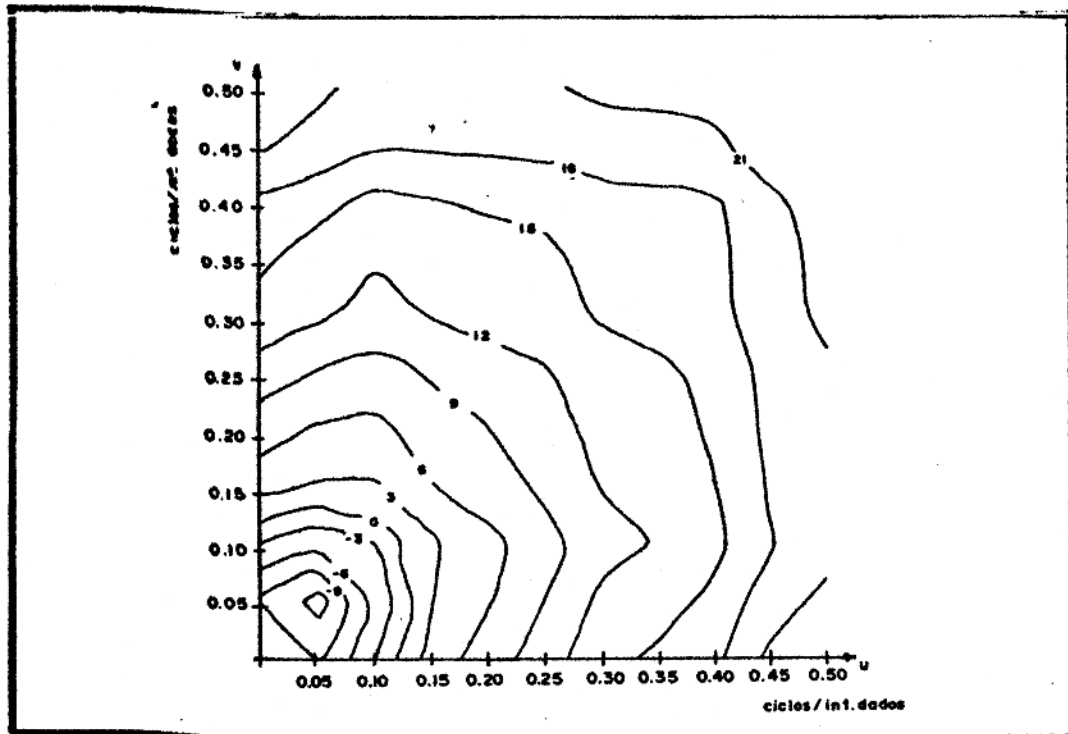


FIG. 2.14 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do  
filtro de derivada segunda suavizado no domínio dos espaços com a janela  
Hamming. Intervalo de contorno 3 decibéis.

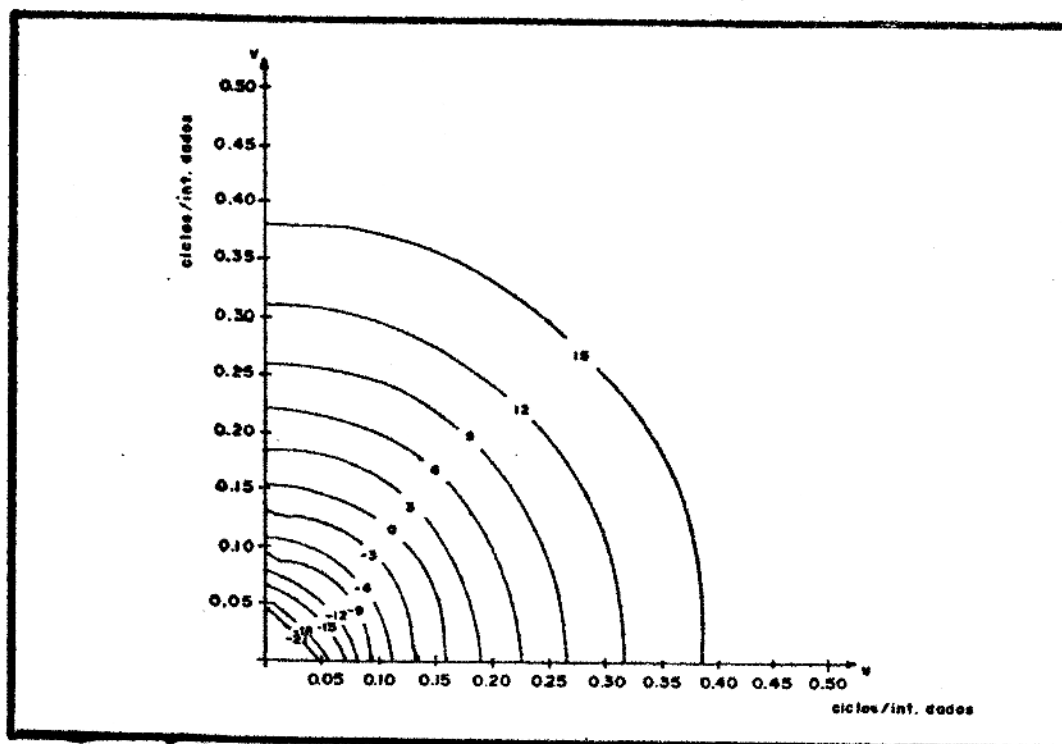


FIG. 2.15 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro de derivada segunda de Darby e Davis (1967, pag. 395). Intervalo de contorno 3 decibéis.

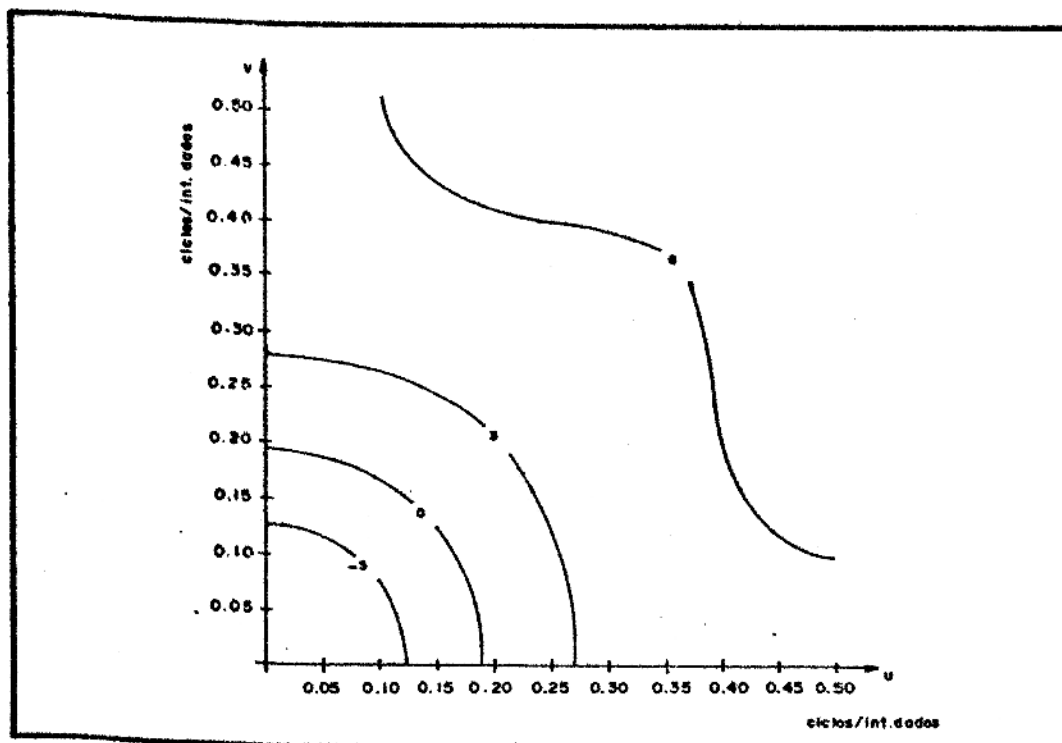


FIG. 2.16 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro de derivada segunda de Darby e Davis (1967, pag. 396). Intervalo de contorno 3 decibéis.

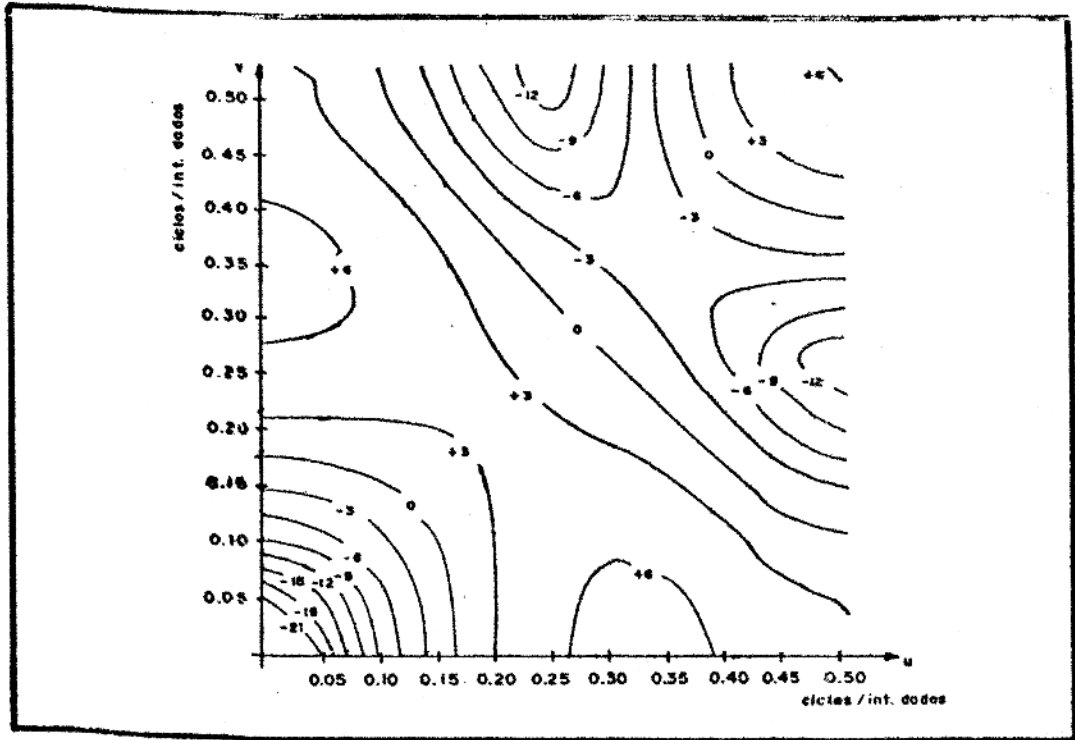


FIG. 2.17 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro de derivada segunda de Peters (1949, eq. 27). Intervalo de contorno 3 decibéis.

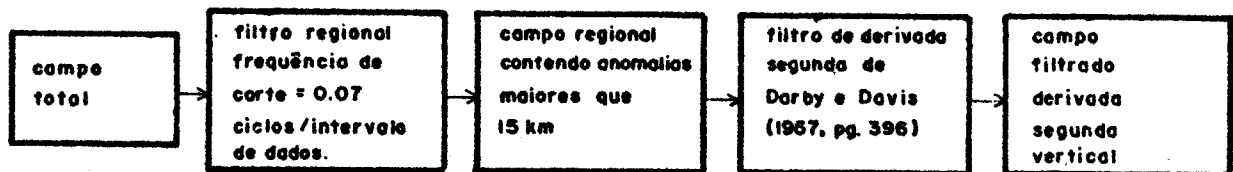
As respostas espectrais dos filtros acima mencionados mostram que as altas frequências são sempre mais ampliadas que as baixas frequências, embora não na mesma proporção do filtro teórico. O filtro de Peters (1949, eq. 27) afasta-se bastante do comportamento teórico, perdendo muito do caráter radial.

Todos estes filtros podem produzir bons resultados, quando aplicados a dados com muito pouco ruído e com ausência de pequenas anomalias. A convolução destes filtros com os dados de campo total produziram, como era de se esperar, mapas confusos e sem feições expressivas, caracterizados pela predominância de ruído.

Para a obtenção de um mapa, significativo de derivada segunda foi necessário aplicar o filtro de derivada segunda de Darby e Davis (1967, pag.396) ao campo magnético regional mostrado na Fig. A2.12. Neste caso, o processo é equivalente a uma única filtragem cuja resposta espectral é próxima da resposta espectral teórica de um filtro de derivada segunda até a frequência de 0,07 ciclos/intervalo de dados a partir da qual predomina a atenuação das altas frequências, que é característica dos filtros regionais.

#### Resultados obtidos.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.14 mostra este campo filtrado. Observa-se que os contornos zero apresentam-se de forma alongada e aproximadamente retilínea. As direções destes contornos retilíneos coincidem com as direções já definidas para os principais lineamentos: NE45°, NE60° e NW60°. Em 66E/66N, 66E/40N e 66E/78N há uma nova direção de orientação: E-W. As exceções a este padrão retilíneo são as grandes anomalias em 216E/132N e 247E/31N e a área imediatamente a oeste desta última anomalia onde se observa um padrão confuso das curvas.

#### 2.3.4. Filtros direcionais.

Um filtro direcional tem a propriedade de conservar feições com tendências lineares em determinadas direções. No processamento de dados sísmicos empregam-se frequentemente filtros de velocidade. Os filtros direcionais surgem de uma modificação do conceito de filtros de velocidade, mas sua utilidade não tem sido devidamente explorada em dados de campo potencial.

Uma feição linear no domínio dos espaços é representada no domínio das frequências também por uma feição linear que forma um ângulo de  $90^\circ$  com a primeira. A demonstração é como se segue:

Seja uma função  $g(x,y)$  (Fig.2.18) definida como:

$$g(x,y) = k \quad \text{se} \quad \frac{x}{y} = s = \text{tg}\theta$$

$$g(x,y) = 0 \quad \text{se} \quad \frac{x}{y} \neq s$$

sendo  $s$  a tangente do ângulo formado entre o eixo  $y$  e a feição linear definida pela função  $g(x,y)$

Todo conjunto de dados definidos por  $g(x,y)$  pode ser representado em termos do perfil  $y=0$ , como:

$g(x,y) = f(x-sy)$ , sendo  $f$  uma função de uma variável.

A transformada de Fourier de  $g(x,y)$  será:

$$G(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x-sy) e^{-2\pi i(ux+vy)} dx dy \quad (2.11)$$

como

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{2\pi i ux} du \quad (2.12)$$

peelo teorema do deslocamento no domínio dos espaços, tem-se:

$$f(x-ey) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{-2\pi i usy} e^{2\pi i ux} du \quad (2.13)$$

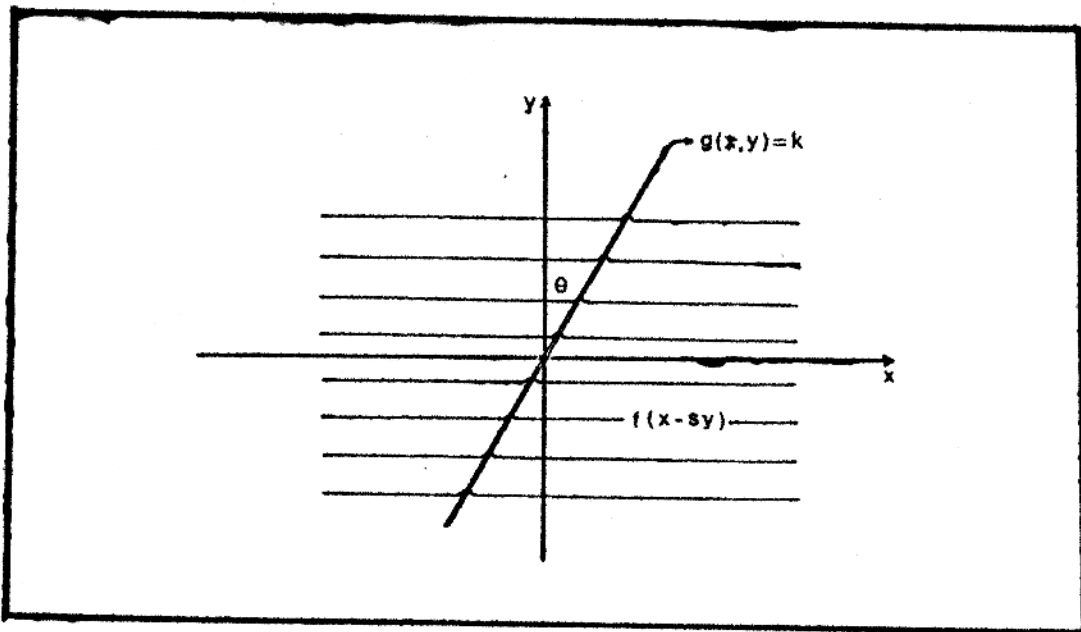


FIG. 2.18 - Representação de dados bidimensionais  $g(x,y)$  como uma sequência de perfis unidimensionais  $f(x-sy)$ .

A equação 2.13 mostra que  $f(x-sy)$  e  $F(u)e^{-2\pi i usy}$  formam um par de transformadas de Fourier. Então

$$F(u) e^{-2\pi i u s y} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x-sy) e^{-2\pi i u x} dx \quad (2.14)$$

Substituindo a eq. 2.14 na eq. 2.11:

$$G(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{-2\pi i y(us+v)} dy \quad (2.15)$$

Para que a equação 2.15 possa ser integrada é preciso atribuir limites de integração finitos, o que corresponde a uma imposição física, pois os dados são sempre truncados. Tomando estes limites como  $-Y$  e  $Y$  tem-se:

$$G(u,v) = \int_{-Y}^Y F(u) e^{-2\pi i y(us+v)} dy$$

cuja integração dá:

$$G(u,v) = 2Y F(u) \frac{\text{sen } 2\pi Y(us+v)}{2\pi Y (us+v)} \quad (2.16)$$

A equação 2.16 é uma função da forma  $\frac{\text{sen } \pi x}{\pi x}$  com máximo em  $x=0$ . O máximo correspondente no plano  $u-v$  será então dado pela relação:

$$us + v = 0, \text{ ou } \frac{u}{v} = -\frac{1}{s} \quad (2.17)$$

A equação 2.17 mostra que uma feição linear no domínio dos espaços é representada também por uma feição linear no domínio das frequências, e que estas feições formam um ângulo de  $90^\circ$  entre si.

Com base nesta propriedade, a elaboração de um filtro direcional torna-se simples. Especifica-se a resposta espectral desejada, de forma discreta, observando-se que as direções das feições lineares no domínio das frequências estão a  $90^\circ$  com as direções das feições lineares no domínio dos espaços. Calculam-se os pesos do filtro no domínio dos espaços através da equação 1.7. Esta equação entretanto, só pode ser empregada se o filtro for par em  $x$  e  $y$  (e conseqüentemente em  $u$  e  $v$ ). Quando isto não ocorrer os pesos do filtro no domínio dos espaços podem ser obtidos a partir dos pesos de outro filtro, também no domínio dos espaços e que tenha simetria em  $x$  e  $y$ , aplicando-se neste último uma rotação de coordenadas. Por exemplo, um filtro que retém feições  $NW60^\circ$  pode ser obtido a partir de um filtro que retém feições N-S, aplicando-se neste último uma rotação de coordenadas de  $60^\circ$  no sentido horário.

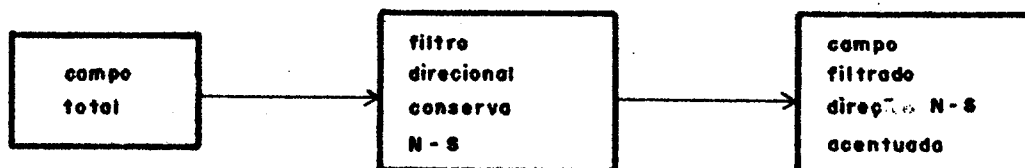
Foram empregados os seguintes filtros direcionais:

- a) Filtro que conserva feições N-S - resposta espectral na Fig 2.19.

Este operador foi empregado 3 vezes: sobre o campo total, sobre o campo continuado para cima  $h=2$  e sobre o campo regional com frequência de corte  $0,07$  ciclos/intervalo de dados.

Resultados obtidos:

O primeiro campo filtrado foi obtido do seguinte modo:



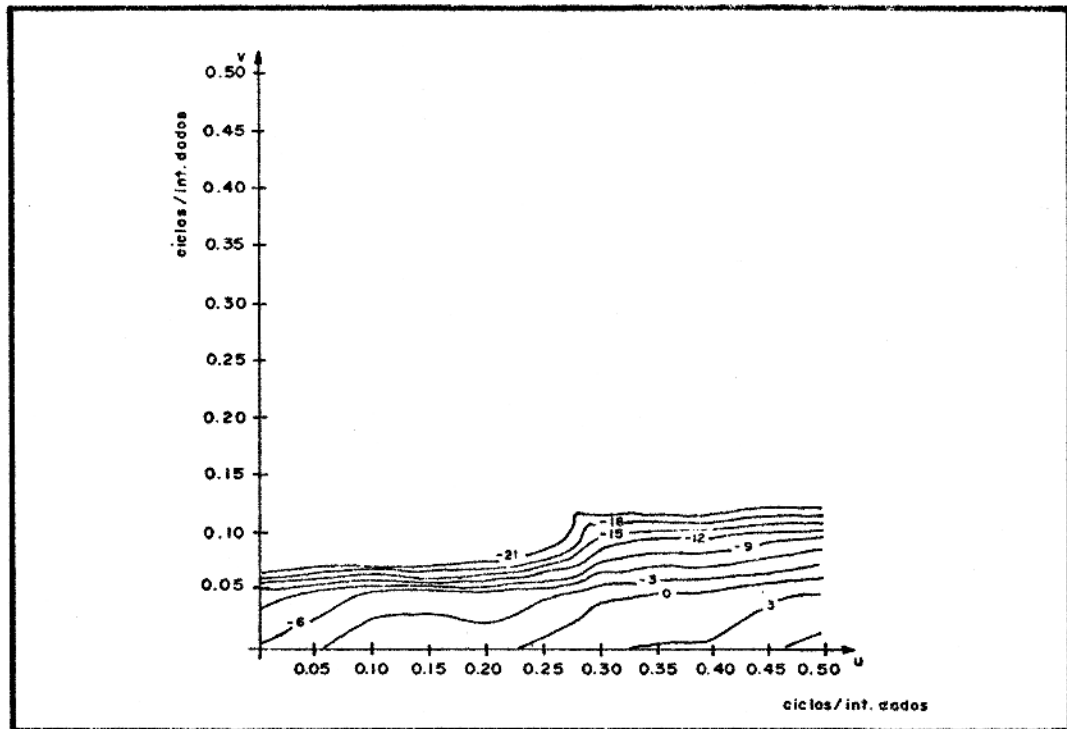


FIG. 2.19 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro direcional que conserva feições N-S. Intervalo de contorno 3 decibéis.

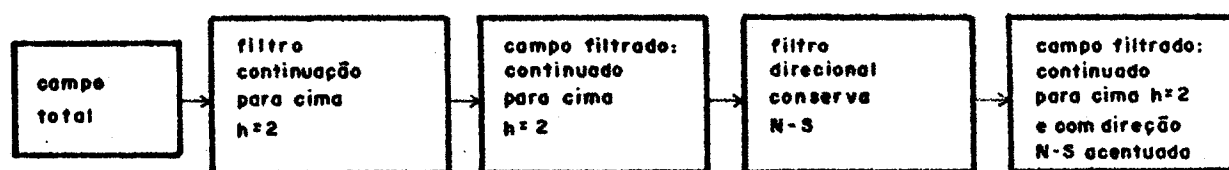
A Fig. A2.15 mostra este campo filtrado. Observa-se que, em relação ao campo total, houve uma atenuação das altas frequências. As pequenas anomalias são praticamente suprimidas e as curvas de contorno tornam-se mais suaves, possibilitando o isolamento de anomalias de médio e grande portes. Os lineamentos de direção NW60° desaparecem completamente, enquanto os de direções NE45° e NE60° ainda são visíveis. Uma série de novos lineamentos N-S e E-W aparecem na parte oeste da área. Os quatro de direção N-S ( C1, C2, C3, C4) são os de maiores extensões.

Os cinco de direção E-W (A1, A2, A3, A4 e A5) possuem pequena extensão e são limitados lateralmente pelos lineamen

tos de direção N-S acima descritos.

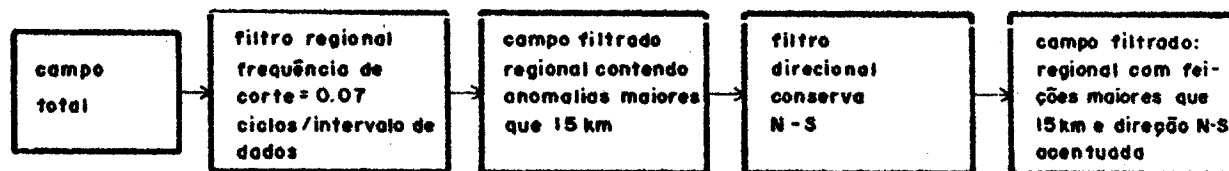
Algumas orientações das curvas de contorno como em 13E/33N, 127E/121N e 171E/139N parecem ser de caráter ocasional já que sua ocorrência é restrita e sem relação com as principais feições.

O segundo campo filtrado foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.16 mostra este campo filtrado. Em relação ao mapa anterior houve uma grande suavização das curvas de contorno tornando as anomalias bem arredondadas e individualizadas. Em particular, a anomalia com gradiente suave definida em 247E/31N ficou perfeitamente caracterizada. Os lineamentos N-S e E-W são bem visíveis principalmente no mapa estereoscópico (FIG. A2.17) e os de direções NE45° e NE60° são agora mais acentuados pelo seu padrão mais retilíneo. Quanto aos lineamentos NW60° somente o B5 tornou-se bem destacado.

O terceiro campo filtrado foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.18 mostra este campo filtrado. Em relação ao mapa anterior observa-se o desaparecimento de muitas anomalias de porte médio na parte oeste da área. Os lineamentos N-S e E-W perdem a individualidade, tão acentuada nos dois mapas anteriores. Os lineamentos NE45° e NE60° ainda são distintos, bem como o B5 de direção NW60°. Os outros lineamentos NW60° desaparecem completamente.

b) Filtro que conserva feições com direções entre NW45° e NE45°. Resposta espectral na Fig 2.20. Este operador foi empregado em duas filtrações em cascata.

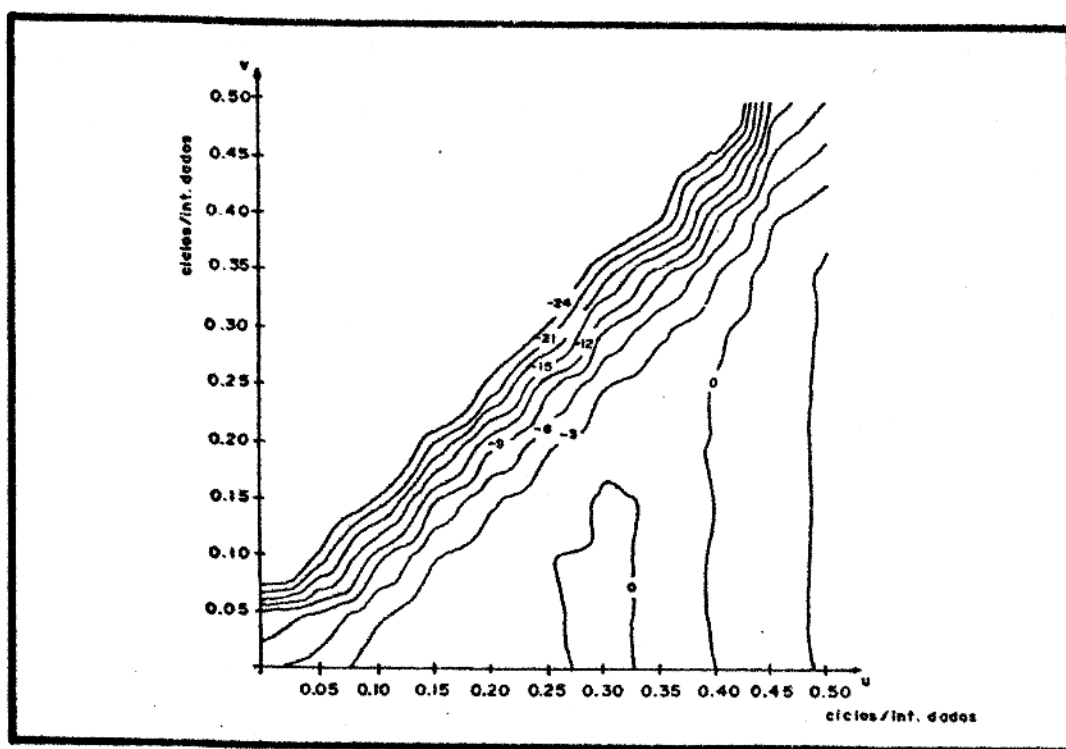
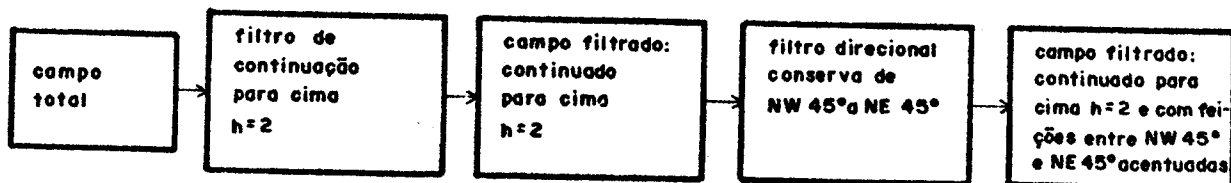


FIG. 2.20 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro direcional que conserva feições com direções entre NW45° e NE45°. Intervalo de contorno 3 decibéis.

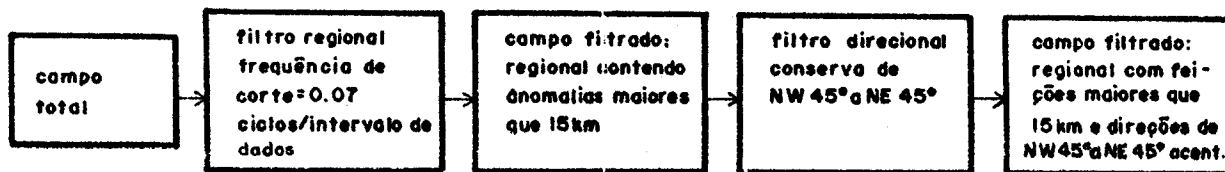
## Resultados obtidos.

O primeiro campo filtrado foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.19 mostra este campo filtrado. Em relação aos três mapas anteriores, a quantidade de informação é praticamente a mesma. As diferenças são: o menor grau de suavização das curvas de contorno, comparando com as Figs. A2.16 e A2.18 e o menor destaque dos lineamentos N-S e E-W, comparando com as Figs. A2.15 e A2.16.

O segundo campo filtrado foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.20 mostra este campo filtrado. Nota-se que ele é praticamente idêntico ao campo filtrado regional com frequência de corte igual a 0,07 ciclos/intervalo de dados (Fig. A2.12). A única diferença palpável é em relação aos lineamentos D9 e D10 que tornaram-se mais retilíneos. Ocorrem pequenas mudanças nas formas das anomalias de médio porte que ficam mais arredondadas.

c) Filtro que conserva feições entre NE45° e SE 45° - Resposta espectral na Fig. 2.21.

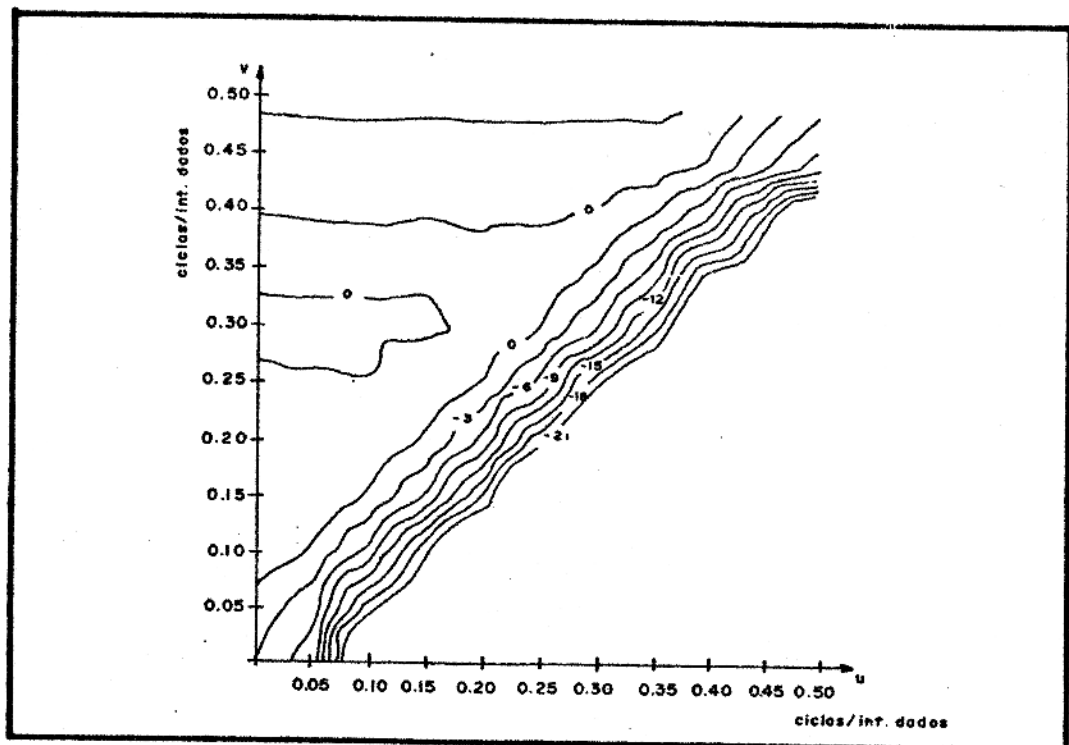
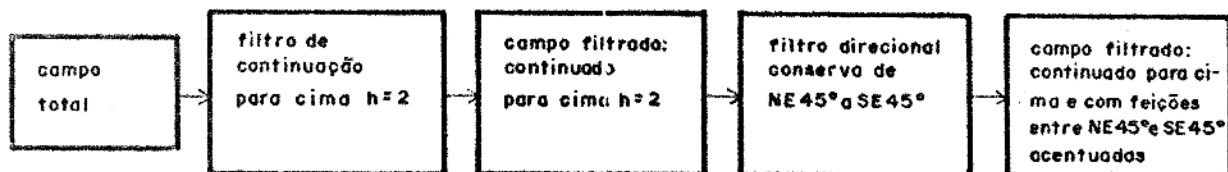


FIG. 2.21 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, do filtro direcional que conserva feições com direções entre NE 45° e SE 45°. Intervalo de contorno 3 decibéis.

Resultados obtidos:

O campo filtrado foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.21 mostra este campo filtrado. Em relação ao mapa de continuação para cima  $h=2$  (Fig. A2.9) nota-se o reaparecimento de pequenas anomalias e o aspecto tortuoso e pouco suave das curvas de contorno. Os únicos lineamentos mais destacados são os de direção  $NW60^\circ$ . Todos os outros tornam-se menos visíveis

d) Filtro que atenua feições com direções N-S e E-W - resposta espectral na Fig. 2.22.

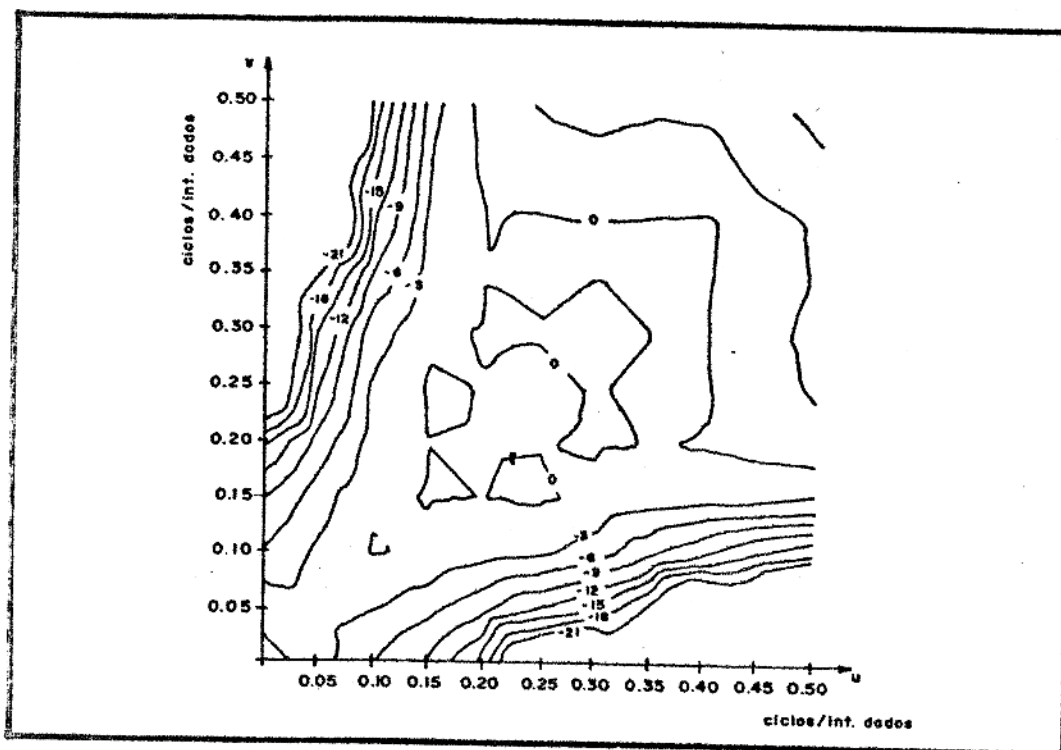
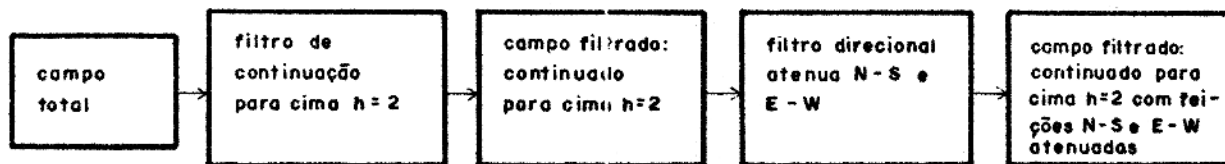


FIG. 2.22 - Resposta espectral, no primeiro quadrante, filtro direcional que atenua feições com direções N-S e E-W. Intervalo de contorno 3 decibéis.

do  
de

Resultados obtidos:

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.22 mostra este campo filtrado. Os lineamentos NW60°, NE45°, NE60° apresentam-se bem destacados. Em particular os lineamentos B6 e E2 mostram maior continuidade na parte oeste da área, onde eram truncados por lineamentos N-S (compare com a Fig. A2.16). Estes lineamentos N-S são agora atenuados causando o mínimo de interferência nos lineamentos NE60° e NW60°.

e) Filtro que conserva feições com direção NW60° - resposta espectral na Fig. 2.23.

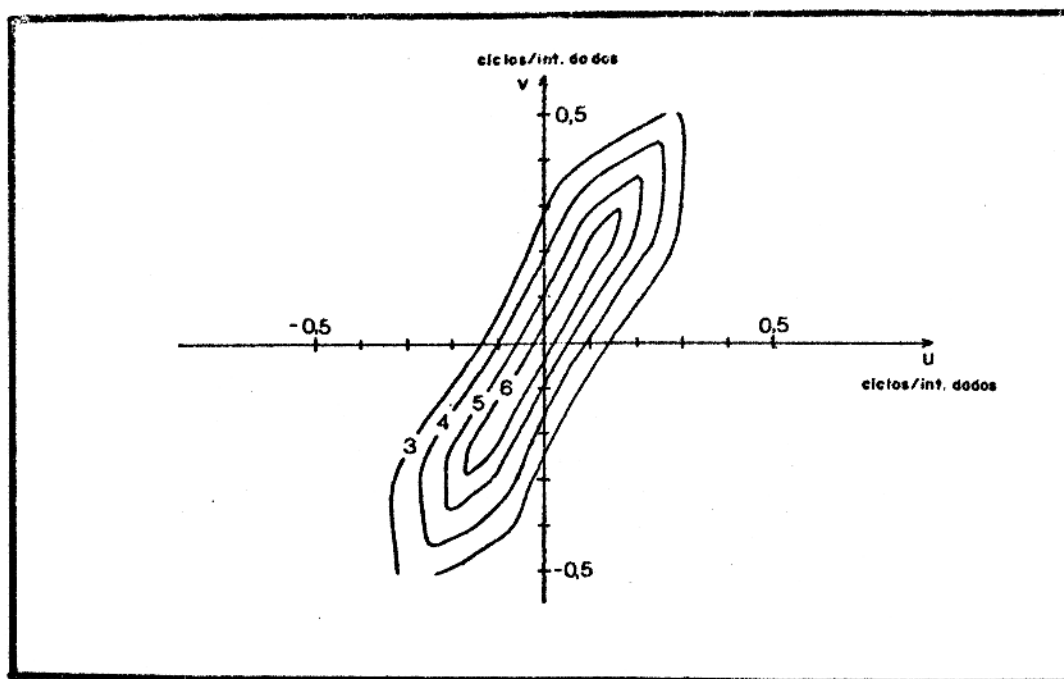
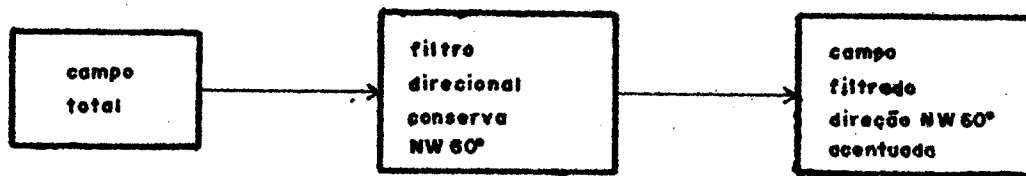


FIG. 2.23 - Resposta espectral, do filtro que conserva feições com direção NW60°. Intervalo de contorno 1 decibel.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.23 mostra este campo filtrado. O objetivo desta e das demais filtragens direcionais que se seguem não é o de visualizar melhor algumas anomalias, mas de realçar os lineamentos existentes em determinadas direções. Pode-se constatar, por exemplo que as grandes anomalias, definidas em 216E/132N e 247E/31N, são neste mapa menos evidentes que na Fig. A2.12. Isto ocorre porque os lineamentos NW60° cortam as grandes anomalias provocando uma fuga de seus padrões arredondados. O lineamento B1 mostra claramente sua influência na forma da anomalia definida em 216E/132N, prologando-se suavemente até 135E/158N. O mesmo pode ser visto com uma série de pequenos lineamentos NW60° no canto sudeste da área, onde modificam o padrão da anomalia definida em 247E/31N. O lineamento B6 pode ser claramente visível assim como o B4. Na parte sudoeste da área notam-se novos lineamentos como B7, B8 e B9.

f) Filtro que conserva feições com direção NE45° - resposta espectral na Fig. 2.24.

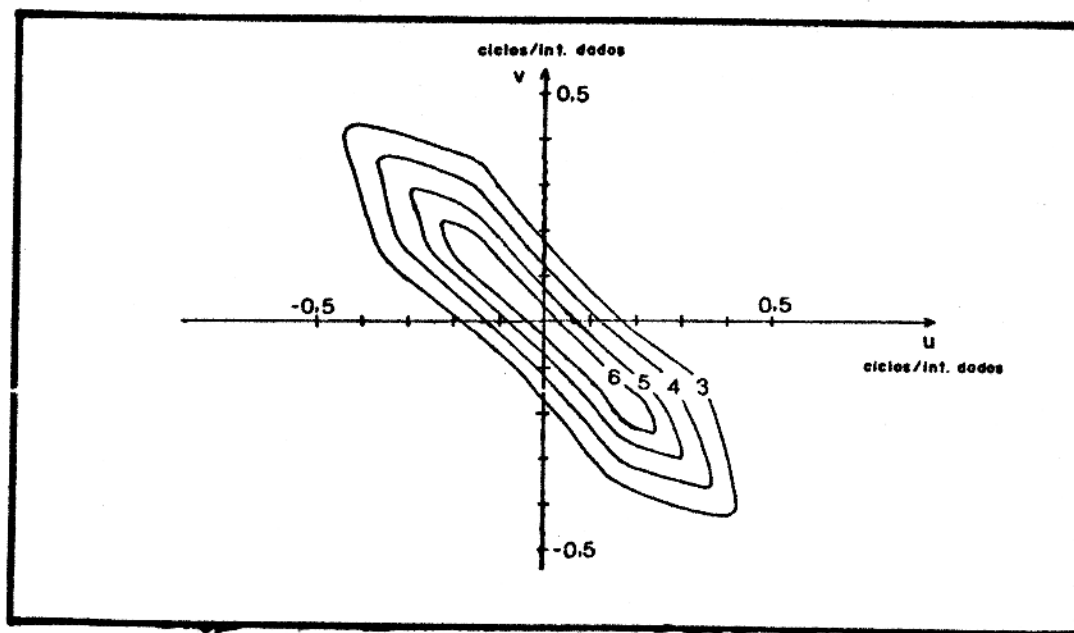
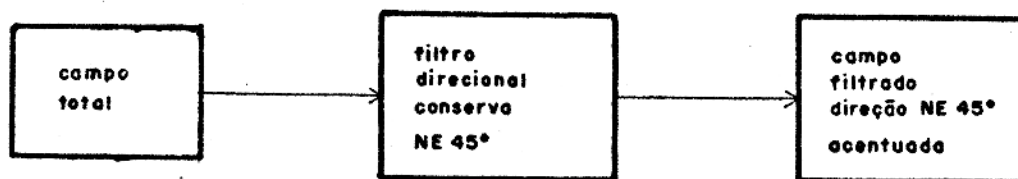


FIG. 2.24 - Resposta espectral do filtro que conserva feições com direção NE45°. Intervalo de contorno 1 decibel.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.24 mostra este campo filtrado. Novos lineamentos com direção NE45° podem ser constatados: D3, D4, D6 e D8. Na parte leste da área, próximo à grande anomalia em 216E/132 N observam-se vários outros lineamentos com direção NE45°. Estes entretanto são provavelmente causados pela deformação linear, imposta pelo processo de filtragem, no padrão arredondado da referida anomalia.

g) Filtro que conserva feições com direção NE60° - resposta es

pectral na Fig. 2.25.

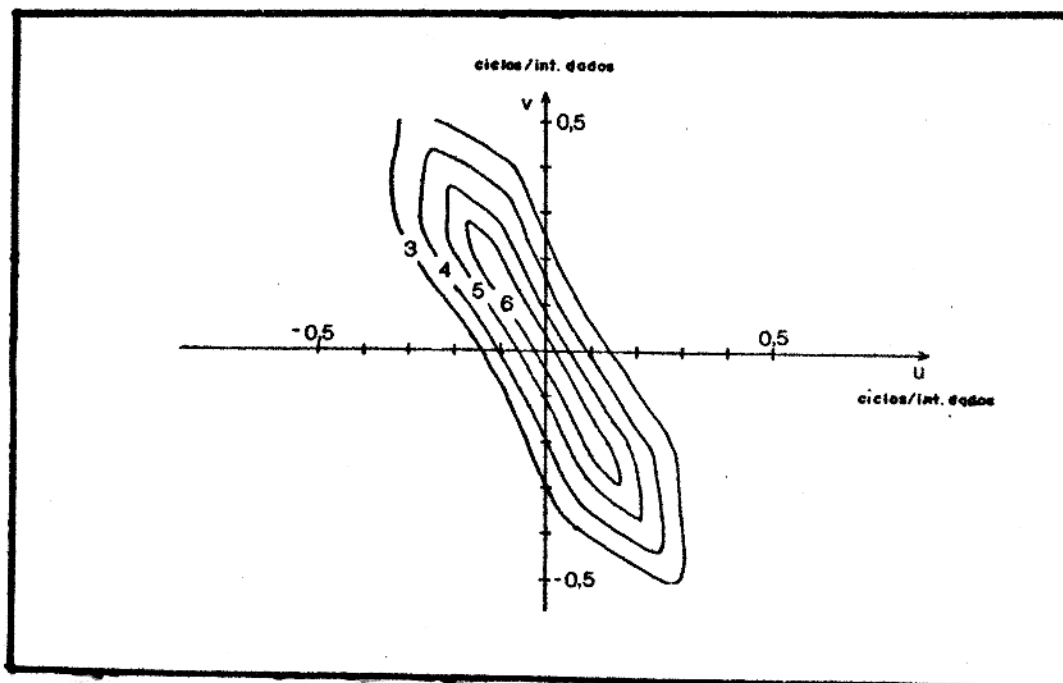
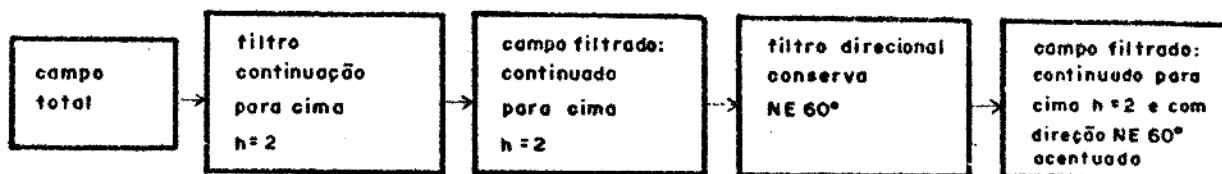


FIG. 2.25 - Resposta espectral do filtro que conserva feições com direção NE60°. Intervalo de contorno 1 decibel.

O campo filtrado correspondente foi obtido do seguinte modo:



A Fig. A2.25 mostra este campo filtrado. Observa-se uma melhor visualização dos lineamentos do grupo E, que tornam-se mais retilíneos. Um novo lineamento deste grupo é notado: E5

## 2.4. Considerações sobre modelos

Com a finalidade de correlacionar o relevo magnético com o relevo de algumas feições originadas por falhas de alto ângulo, foram calculados os campos magnéticos produzidos por prismas verticais dispostos de maneira a simular alguns modelos de blocos falhados. Foram analisados os modelos de falha simples, falhas escalonadas, graben e horst.

Em todos os casos magnetização induzida é assumida com declinação de  $-6^\circ$ , inclinação de  $18^\circ$  e um campo regional é superposto ao campo produzido pelas falhas. Este campo regional tem gradiente paralelo à direção dos planos de falha.

Com o objetivo de interpretar as anomalias de grande e médio porte, foram simuladas anomalias do supraembasamento e intraembasamento. Somente para as anomalias do intraembasamento foi assumida magnetização remanente. Os modelos empregados consistem de vários prismas superpostos, aproximando a forma de pirâmides escalonadas.

### 2.4.1. Falhas simples.

As Figs. A2.26 a A2.35 mostram o campo magnético produzido por falhas simples com planos de falha paralelos às principais direções dos lineamentos existentes no mapa aeromagnético. Para cada direção consideram-se duas alternativas:

I - A componente horizontal do vetor campo magnético normal, na direção perpendicular à direção do plano de falha, aponta pa

ra o bloco elevado (Fig. 2.26-a).

II- A componente horizontal do vetor campo magnético normal, na direção perpendicular à direção do plano de falha, aponta para o bloco rebaixado (Fig. 2.26-b).

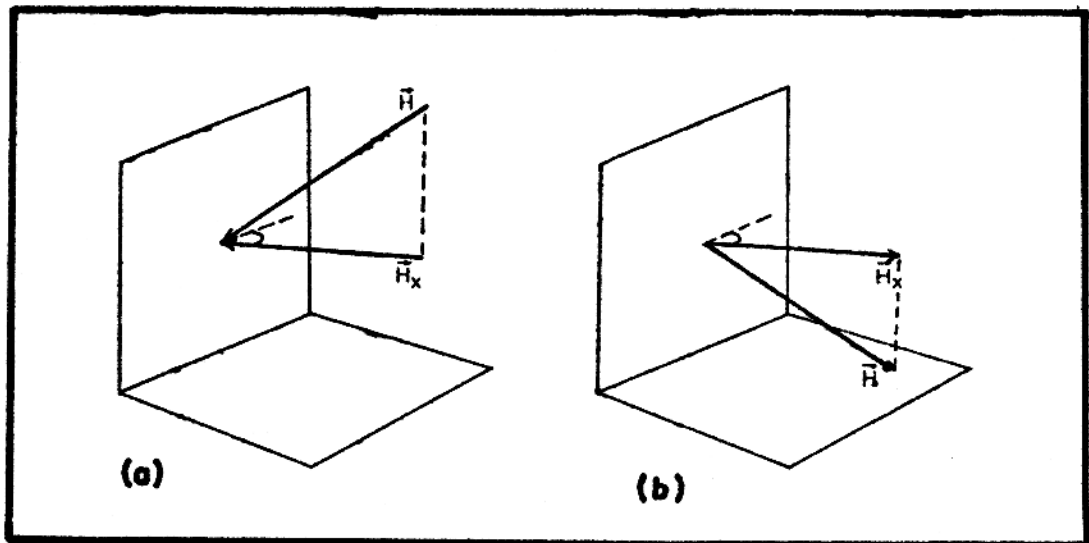


FIG. 2.26 - Posição dos blocos movimentados, em uma falha de gravidade, em relação ao campo magnético normal. (a) A componente horizontal ( $H_x$ ) do vetor campo magnético normal aponta para o bloco elevado. (b) A componente  $H_x$  aponta para o bloco rebaixado.

As Figs. A2.26 a A2.35 permitem observar as seguintes características gerais para o modelo de falha simples:

- 1.<sup>a</sup>) Próximo ao plano de falha os contornos do campo magnético são retilíneos, paralelos à direção do plano de falha, com gradiente constante e tanto menor quanto menor for o ângulo entre as direções do plano de falha e da projeção horizontal do vetor campo magnético normal.
- 2.<sup>a</sup>) Acima do bloco elevado aparecem baixos magnéticos enquanto acima do bloco rebaixado aparecem altos magnéticos.

- 3.<sup>a</sup>) O plano de falha situa-se na quebra abrupta do gradiente, mais próximo do alto magnético no caso (I) e mais próximo do baixo magnético no caso (II).
- 4.<sup>a</sup>) A relação entre as amplitudes dos altos magnéticos nos casos I e II é maior que 1. A relação entre os baixos magnéticos correspondente é menor que 1.
- 5.<sup>a</sup>) Falhas, cuja direção dos planos de falha é quase paralela à direção da projeção horizontal do vetor campo magnético normal (Figs. A2.30 e A2.31), são muito menos perceptíveis a partir do mapa magnético do que as falhas cuja direção dos planos de falha é quase perpendicular à direção da projeção horizontal do vetor campo magnético normal (Figs. A2.26 e A2.27).
- 6.<sup>a</sup>) No lado do bloco rebaixado aparecem contornos retilíneos afastados do plano de falha e com gradiente menor que os contornos retilíneos situados acima do plano de falha.

As características acima são mais facilmente explicadas quando se substitui, para efeito de melhor raciocínio, o modelo de prisma por placas horizontais e verticais.

Seja um corpo prismático, no vácuo, com suscetibilidade magnética  $\chi$  submetido a um campo magnético indutor  $\vec{H}$ . Sob a ação deste campo o corpo adquire magnetização induzida  $\vec{M}$  igual a  $\chi\vec{H}$ . Esta magnetização, suposta constante, por sua vez produz um campo magnético induzido  $\vec{B}$  que irá se superpor ao campo indutor  $\vec{H}$  produzindo o campo total  $\vec{T}$ .

Para calcular o campo  $\vec{B}$  é mais simples calcular inicialmente o potencial magnético  $U$  no ponto  $\vec{r}(x,y,z)$ . Cada

elemento de volume  $\Delta v'$ , com coordenadas  $x', y', z'$ , do corpo prismático (Fig. 2.27) é caracterizado por um momento de dipolo magnético  $\Delta \vec{m} = \vec{M} \Delta v'$ . Sendo a distância entre  $(x, y, z)$  e  $(x', y', z')$  grande em relação às dimensões de  $\Delta v'$  a expressão do potencial produzido por um dipolo pode ser empregado:

$$\Delta U(\vec{r}) = \frac{\Delta \vec{m} \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{4\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^3} = \frac{M(\vec{r}') \cdot (\vec{r} - \vec{r}') \Delta v'}{4\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^3} \quad (2.18)$$

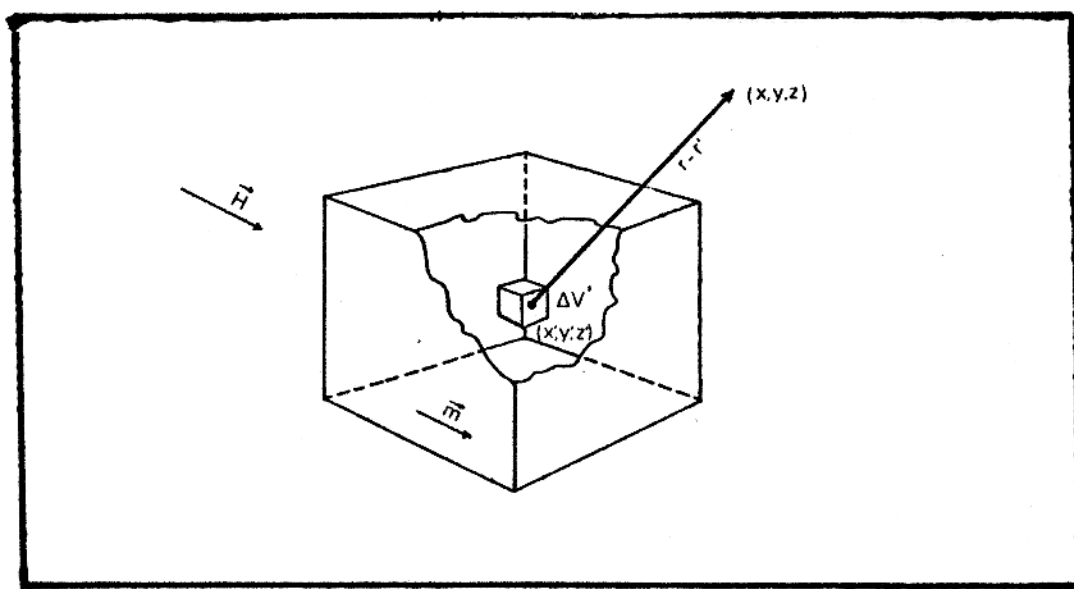


FIG. 2.27 - O potencial magnético em  $(x, y, z)$  pode ser calculado somando-se as contribuições devidas aos vários elementos de volume  $\Delta v'$ .

onde  $\vec{r} - \vec{r}'$  é o vetor indo de  $(x', y', z')$  a  $(x, y, z)$ , cujo módulo é  $\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$

O potencial no ponto  $\vec{r}(x, y, z)$  é dado por:

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\vec{M}(\vec{r}') \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dv' \quad (2.19)$$

$$\text{ou } U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_V \vec{M} \cdot \nabla' \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) dv' \quad (2.20)$$

onde o operador  $\nabla'$  implica em derivadas em relação às coordenadas  $x'$ ,  $y'$  e  $z'$ .

Desde que

$$\nabla' \cdot \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \vec{M} \right) = \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \nabla' \cdot \vec{M} + \vec{M} \cdot \nabla' \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) \quad (2.21)$$

ou

$$\vec{M} \cdot \nabla' \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) = \nabla' \cdot \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \vec{M} \right) - \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \nabla' \cdot \vec{M} \quad (2.22)$$

a equação 2.20 pode ser reescrita:

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_V \nabla' \cdot \left( \frac{\vec{M}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) dv' - \int_V \frac{\nabla' \cdot \vec{M}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} dv' \quad (2.23)$$

a segunda integral é nula, porque a magnetização é suposta constante. A primeira integral pode ser transformada em integral de superfície através do teorema da Divergência.

$$\int_V \nabla' \cdot \left( \frac{\vec{M}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) dv' = \int_S \frac{\vec{M} \cdot \vec{n}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} da' \quad (2.24)$$

onde  $S$  é a superfície limitando o volume  $V$  e  $\vec{n}$  é o vetor normal ao elemento de superfície  $da'$ , cujo sentido positivo é para fora do volume. O potencial magnético  $U(\vec{r})$  torna-se então:

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{M} \cdot \vec{n}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} da'$$

O campo induzido  $\vec{B}$  é igual a  $\mu_0 \nabla U(\vec{r})$ , ou seja

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_S \frac{\vec{M} \cdot \vec{n} (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} da' \quad (2.25)$$

sendo  $\mu_0$  a permeabilidade do vacuo.

A equação 2.25 mostra que o campo magnético no ponto  $(x, y, z)$  depende da quantidade  $\vec{M} \cdot \vec{n}$  definida como densidade superficial de polos magnéticos. Esta densidade é máxima, para uma determinada superfície, quando o vetor  $\vec{M}$  (e consequentemente  $\vec{H}$ ) for paralelo à normal a essa superfície e mínima quando  $\vec{M}$  (e também  $\vec{H}$ ) for perpendicular à normal. Desse modo, as faces de um prisma, paralelas ao campo indutor  $\vec{H}$ , possuem densidade superficial de polos magnéticos nula e não contribuem ao campo magnético  $\vec{B}$ . Por outro lado, as faces perpendiculares ao campo magnético indutor  $\vec{H}$  tem máxima densidade superficial de polos magnéticos, contribuindo significativamente ao campo induzido  $\vec{B}$ .

A Fig. 2.28 mostra a substituição do modelo de dois prismas por duas placas horizontais e uma placa vertical.

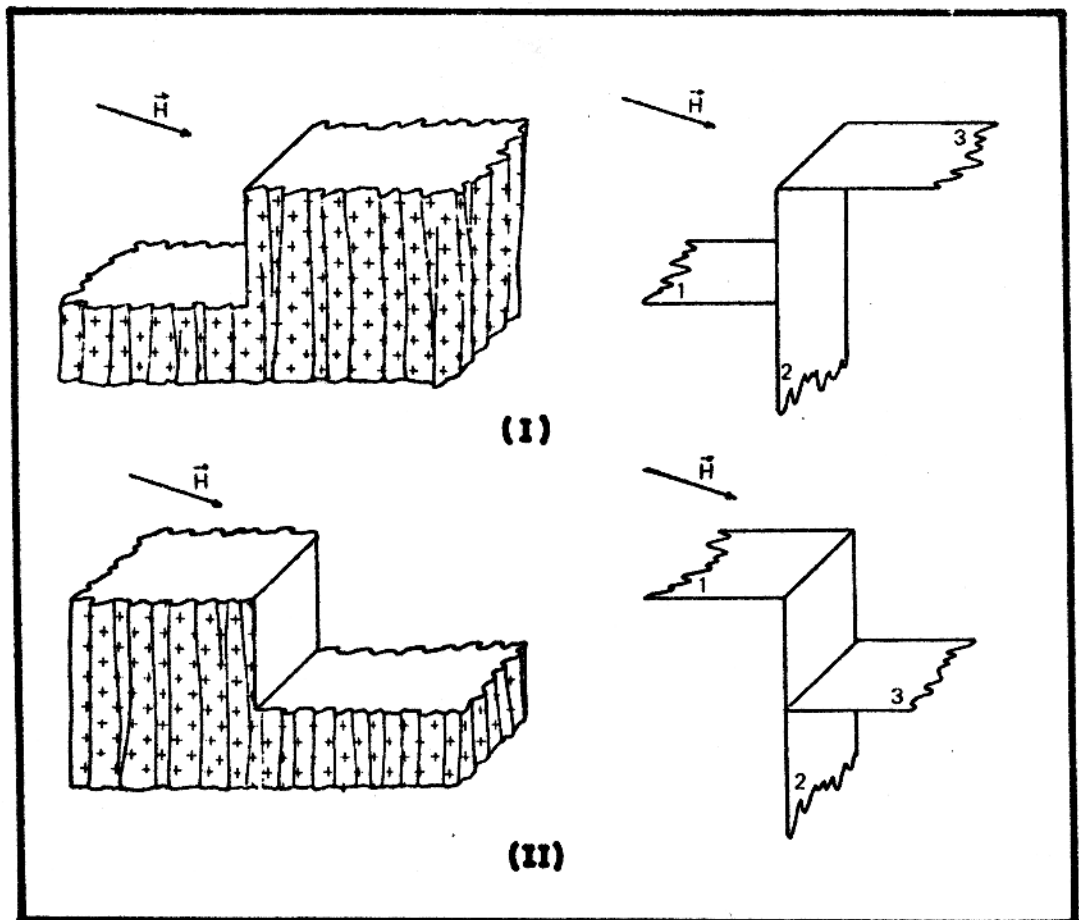


FIG. 2.28 - O campo magnético produzido por dois prismas, possuindo magnetização total com pequena inclinação, pode ser aproximada pelo campo magnético produzido por placas verticais e horizontais.

Como a inclinação do campo magnético é pequena ( $18^\circ$ ) as placas 1 e 3 são pouco magnetizadas pelo campo normal. O mesmo não ocorre com a placa 2 que tem magnetização praticamente uniforme, sendo negativa no caso I e positiva no caso II.

O campo magnético produzido por uma placa vertical infinita na direção  $y$  (Fig.2.29), com espessura  $R$  e medido no plano de observação  $z=0$ , é uma função somente de  $x$ , ou seja, as curvas de isovalores deste campo magnético serão paralelas ao traço da placa no plano horizontal.

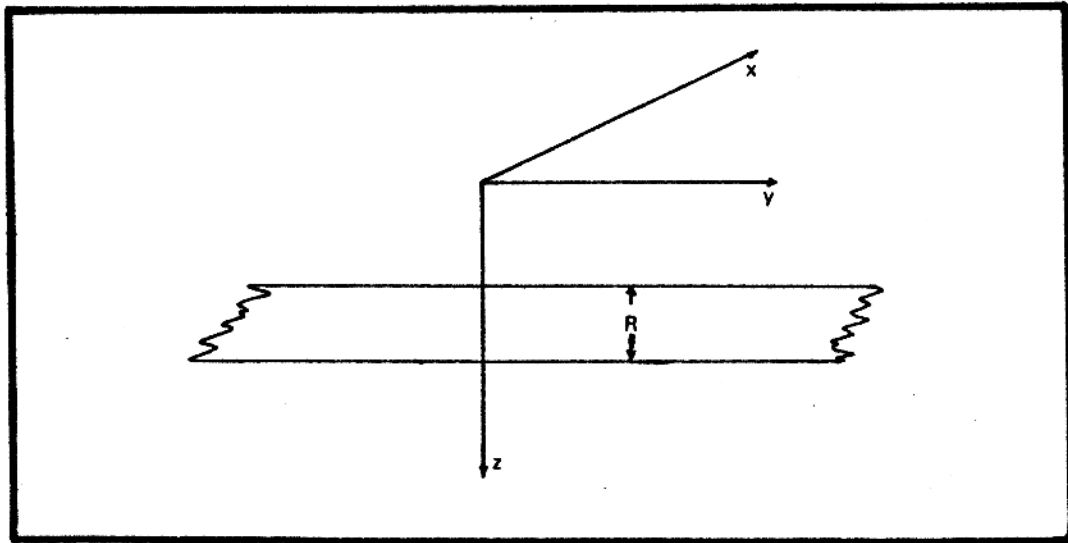


FIG. 2.29 - Placa vertical infinita na direção y.

No caso I as linhas de força entram na placa (Fig 2.30-a), reforçando o campo normal à esquerda do plano de falha e atenuando-o à direita. No caso II (Fig.2.30-b) o campo é atenuado à esquerda e reforçado à direita do plano de falha, provocando em ambos os casos a presença de um baixo magnético acima do bloco elevado e um alto magnético acima do bloco rebaixado.

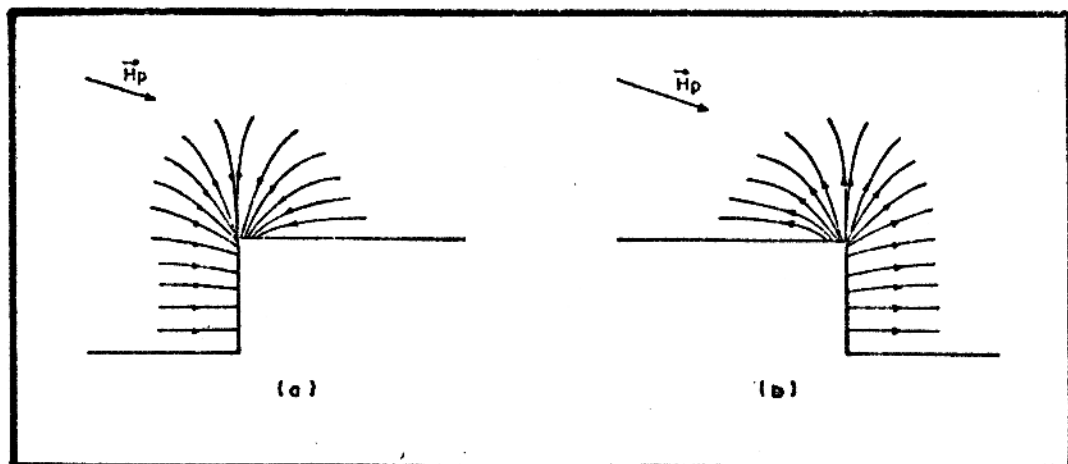


FIG. 2.30 - (a) Linhas de força produzidas por falha de gravidade com o bloco sul mais baixo (b) Linhas de força produzidas por falha de gravidade com bloco norte mais baixo.

O alto magnético, no caso I, tem amplitude maior que o alto magnético do caso II devido à componente  $\vec{A}$  do vetor campo magnético, produzido por cada placa, ser em média maior no caso I do que no caso II (Fig. 2.31).

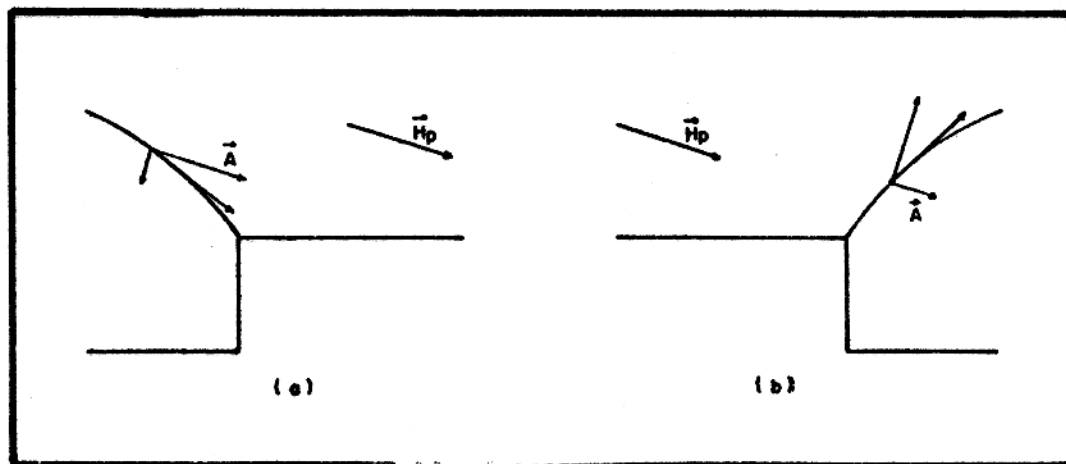


FIG. 2.31 - Relação entre os altos magnéticos produzidas nos casos I e II.

Se a direção da placa (direção  $y$ ) for próxima da direção do campo magnético normal, a placa apresentará baixa magnetização e conseqüentemente sua presença será pouco perceptível a partir do mapa de isovalores do campo magnético, porque as placas verticais possuirão pequena densidade superficial de polos magnéticos (Fig. A2.30 e A2.31). Quando estas direções são paralelas o perfil magnético assemelha-se ao perfil estrutural, devido às placas horizontais, sempre desprezadas na presença de placas verticais, constituírem, neste caso, a única contribuição ao campo magnético. Esta contribuição é tanto maior quanto menor for a profundidade da placa.

Existe um ângulo limite, entre a direção de uma

falha e a projeção horizontal do vetor campo magnético normal, para o qual o campo produzido pelas placas horizontais compensam o campo produzido pelas placas verticais. Para ângulos menores que o ângulo limite o perfil magnético, assemelha-se ao perfil estrutural (Fig. A2.30 e A2.31). Para ângulos maiores que o ângulo limite o perfil magnético é invertido em relação ao perfil estrutural.

#### 2.4.2. Falhas escalonadas.

As Figs. A2.36 a A2.42 mostram o campo magnético produzido por falhas escalonadas, com as direções dos planos de falha paralelas a E-W, N-S e NE60°. Para cada direção consideram-se as duas alternativas da seção anterior.

As mesmas características gerais observadas no modelo de falhas simples são também observadas no modelo de falhas escalonadas. Deve-se notar ainda que o campo magnético apresenta-se com um escalonamento invertido em relação à estrutura. Esta situação aparentemente não concorda com o esperado, já que uma placa vertical, com espessura  $R$ , mais próxima do plano de observação deve produzir um campo magnético maior que aquele produzido por uma placa vertical, com mesma espessura, mais distante do plano de observação, quando são consideradas isoladamente (Fig. 2.32-a).

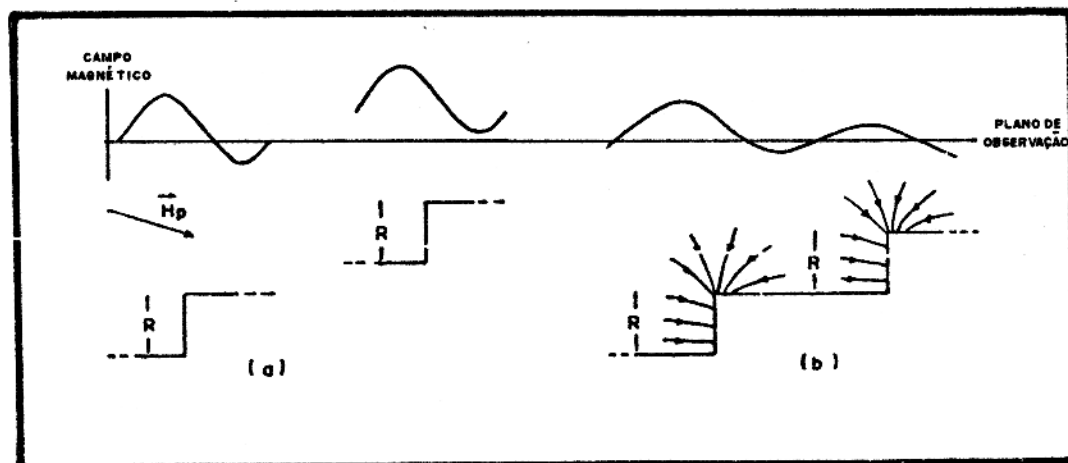


FIG. 2.32 - Campo magnético produzido por duas placas verticais. (a) Quando as placas estão muito afastadas. (b) Quando as placas estão próximas.

Entretanto, quando estas duas placas são localizadas próximas uma da outra (Fig. 2.32-b), a placa que produz maior valor de campo magnético é a mais distante do plano de observação. Isto é devido à atenuação do campo magnético, produzido pelas duas placas, na região situada entre elas, onde os vetores tem sentidos opostos. Os modelos das Figs. A2.36 e A2.37 ilustram este caso.

Se a distância entre as placas verticais aumentar, o valor do campo produzido pela placa superior deve se aproximar do valor do campo produzido pela placa inferior eventualmente ultrapassando-o quando a separação for suficientemente grande.

Outro parâmetro a ser considerado é a espessura de cada placa. Quanto menor este parâmetro, menor será o valor do campo magnético produzido.

As falhas escalonadas, cuja direção dos planos de

falha é próxima da direção da projeção horizontal do vetor campo magnético normal (Figs. A2.38 e A2.39) são praticamente imperceptíveis, principalmente de superpostas a um campo regional, porque as placas verticais possuem pequena densidade superficial de polos magnéticas. Quando estas direções são paralelas, o perfil magnético pode assemelhar-se ao perfil estrutural, sendo válidas, para este caso, as mesmas considerações feitas, na seção anterior sobre o ângulo limite.

#### 2.4.3. Graben.

As Figs. A2.43 e A2.44 mostram o campo magnético produzido por grabens com planos de falha paralelos a NE45°. As seguintes características gerais podem ser observadas:

- 1) Acima do bloco mais baixo aparece um grande alto magnético separando dois pequenos baixos magnéticos.
- 2) O baixo magnético situado acima do bloco mais ao norte é menor que o baixo magnético situado acima do bloco mais ao sul, se de ambos os lados do graben os rejeitos forem iguais

Estas características podem ser explicadas de modo análogo ao das falhas simples.

Considerando agora três placas horizontais e duas verticais, estas são magnetizadas com sinais diferentes (Fig 2.33), o que faz com que o campo normal seja atenuado nas regiões I e III e reforçado na região II.

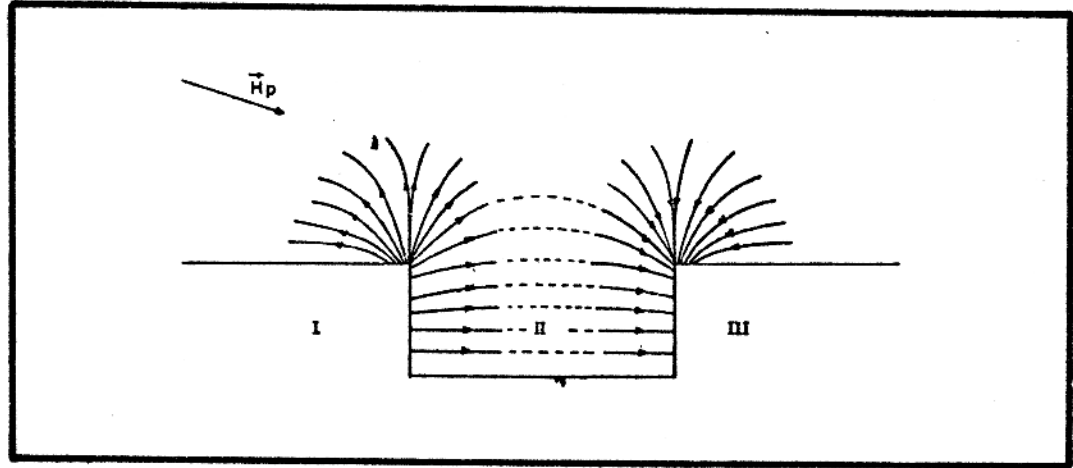


FIG. 2.33 - Linhas de força produzidas por graben.

A atenuação na região I é maior que na região III devido à componente  $\vec{A}$  do vetor campo magnético produzido pela placa esquerda na região I ser em média maior que a componente  $\vec{B}$  do vetor campo magnético produzido pela placa direita na região III (Fig. 2.34).

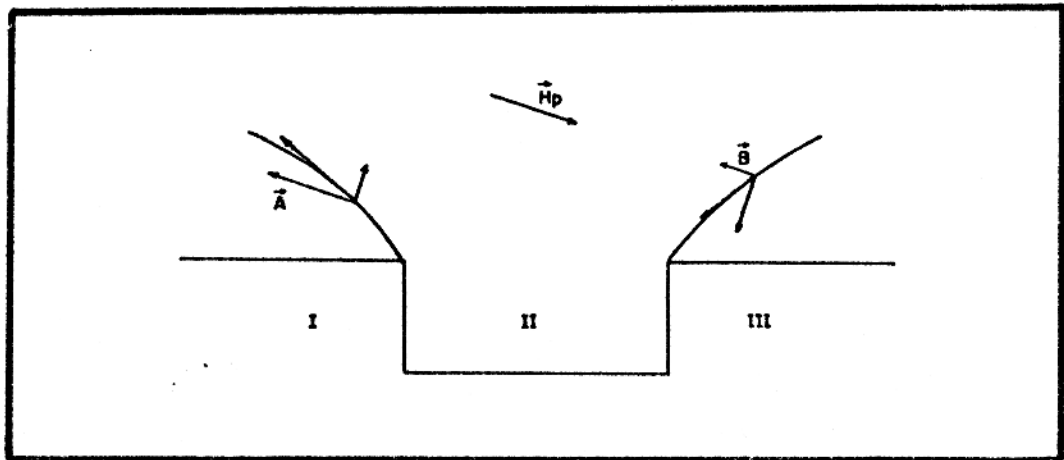


FIG. 2.34 - Relação entre os baixos produzidos nas bordas de um graben.

Se uma das bordas do graben apresenta rejeito maior que a outra, i.e., se as placas verticais possuem espessuras diferentes, a atenuação do campo magnético normal acima da placa de menor espessura torna-se menor que a atenuação acima da placa de maior espessura (Fig.A2.44).

No limite, quando a espessura de uma das placas é nula, o modelo de graben transforma-se em modelo de falha simples. Neste caso há somente uma região, onde o campo magnético normal é atenuado, situada acima do bloco mais elevado (Fig.A 2.32).

#### 2.4.4. Horst

As Figs. A2.45 e A2.46 mostram o campo magnético produzido por horst com planos de falha paralelos a NE45°. As seguintes características gerais podem ser observadas:

- 1) Acima do bloco mais elevado aparece um grande baixo magnético separado por dois pequenos altos magnéticos.
- 2) O alto magnético situado acima do bloco mais ao norte é menor que o alto magnético situado acima do bloco mais ao sul, se de ambos os lados do graben os rejeitos forem iguais.

A explicação para tais características é análoga ao caso do graben.

Se uma das bordas do horst apresenta rejeito maior que a outra, i.e., se as placas verticais possuem espessuras diferentes, o reforço do campo magnético normal acima da placa de menor espessura torna-se menor que o reforço acima da placa de maior

espessura (Fig. A2.46).

No limite, quando a espessura de uma das placas é nula, o modelo de horst transforma-se em modelo de falha simples. Neste caso há somente uma região, onde o campo magnético normal é reforçado, situada acima do bloco rebaixado.

#### 2.4.5. Observações gerais sobre modelos de falhas.

- 1) O plano de falha pode ser localizado, a partir do mapa magnético, com boa precisão.
- 2) O tipo de estrutura e o movimento relativo dos blocos podem, geralmente, ser determinados sem ambiguidade.
- 3) Uma estrutura simétrica em relação a um plano vertical produz um campo magnético assimétrico em relação a esse plano, devido à presença do campo magnético normal, localizado as simetricamente em relação ao plano de simetria.

#### 2.4.6. Anomalia do supraembasamento.

A Fig. A2.47 mostra o campo magnético em gamas, produzido por um corpo com dimensões horizontais de 8,00 unidades e dimensão vertical máxima de 0,08 unidade, a uma profundidade de 0,50 unidade. A magnetização é induzida.

Observa-se que o campo magnético possui valores baixos de amplitude e gradiente. Acima do corpo há a presença de um baixo magnético limitado por dois altos magnéticos, um ao norte e outro ao sul. O alto magnético do lado sul tem amplitude maior que o alto magnético do lado norte.

#### 2.4.7. Anomalias do intraembasamento.

As Figs. A2.48 a A2.56 mostram o campo magnético em gamas produzido por um corpo com dimensões horizontais de 12,00 unidades, dimensão vertical máxima de 0,80 unidade, a uma profundidade de 0,90 unidade. Exceto para o caso da Figura A2.48 a magnetização do corpo tem direção diferente da direção do campo normal, que permanece com declinação  $6^{\circ}W$  e inclinação  $18^{\circ}N$ .

Observa-se que o campo magnético possui valores maiores, em amplitude, em relação ao modelo do supraembasamento. Para inclinações próximas a zero grau, ocorre um baixo magnético acima do corpo, limitado por dois altos magnéticos. Se a inclinação é positiva, o alto magnético ao sul tem maior amplitude que o alto magnético ao norte (Fig. A2.48 a A2.50). Para inclinação de  $90^{\circ}N$  o alto magnético ao norte desaparece (Fig. A2.51). Se a inclinação é negativa o alto magnético ao sul tem menor amplitude (Figs. A2.52 a A2.54). Para inclinação de  $-90^{\circ}$  o alto magnético ao sul desaparece (Fig. A2.55). Para inclinação de  $-18^{\circ}$  os dois altos magnéticos tem mesma amplitude.

Para declinações próximas a  $180^{\circ}$  as anomalias são simétricas daquelas com declinações próximas a  $0^{\circ}$ , i.e. os baixos magnéticos são substituídos por altos magnéticos e vice-versa (Fig. A2.56).

#### 2.5. Conclusões.

A combinação das filtragens visual e numérica, associada à análise do espectro dos dados, mostrou ser uma ferra -

menta importante na separação de feições regionais e locais, bem como na distinção entre conjuntos de lineamentos.

A análise do espectro (Fig. A2.4-a) denota uma orientação marcante na direção N-S, no domínio das frequências, correspondendo à direção E-W no domínio dos espaços. Esta orientação é provocada pelo "aliasing" ou seja, a contaminação do espectro, principalmente nas altas frequências devido à maneira como os dados foram obtidos. Ao longo da direção N-S os perfis são contínuos, mas ao longo da direção E-W há um espaçamento de cerca de 2Km entre os perfis, provocando assim uma tendência E-W nas curvas de contorno. Esta orientação pode ter também como causa provável a presença de corpos rasos magnetizados, como as soleiras de diabásio, bastante comuns na área. Devido aos baixos valores de inclinação e declinação do campo magnético normal da Terra neste local, somente as faces verticais das soleiras que tenham direção próxima a E-W são fortemente magnetizadas. Como consequência, estes corpos rasos produzirão campos magnéticos orientados na direção E-W.

Este efeito indesejável pode ser minimizado com a aplicação de um filtro direcional que conserva a direção N-S e atenua todas as outras. A Fig. A2.15 mostra um campo filtrado desse modo onde se observa uma redução geral do ruído.

A análise do espectro proporciona também um meio de construir um filtro regional/residual mais objetivo, através da determinação de uma frequência de corte adequada. A escolha desta frequência é facilitada pelo exame estereoscópico do espectro (Fig. A2.4-b) e foi determinada em 0,07 ciclos/intervalo

de dados.

A Fig. A2.12 representa o campo magnético regional com frequência de corte 0,07 ciclos/intervalo de dados. A Fig. A2.13 representa o campo residual correspondente. A primeira mostra as grandes feições em profundidade, provavelmente relacionadas com o embasamento, enquanto a segunda representa o efeito de corpos rasos e pequenos, mais o ruído instrumental e de manipulação de dados. A presença de certas anomalias nos dois mapas, como em 109E/28N e 110E/134N indica que estas anomalias tem componentes de frequência maiores e menores que 0,07 ciclos/intervalo de dados. Quando anomalias diferentes possuem alguma superposição em seus espectros, elas não podem ser separadas por métodos de filtragem. Esta é uma restrição importante que deve ser considerada quando se utilizam tais métodos. A maioria dos lineamentos NE60° e NE45° são acentuados no mapa regional, mas os lineamentos NW60° são mais visíveis nos mapas de campo total e residual, o que significa que estes lineamentos têm componentes de alta frequência. Os lineamentos N-S são visíveis apenas nos mapas filtrados na direção N-S. Isto ocorre em virtude do pequeno ângulo formado entre a direção da estrutura causadora do lineamento (possivelmente um plano de falha) e a projeção horizontal do vetor campo magnético normal (seção 2.4.1)

As anomalias de grande e médio porte que aparecem nos mapas das Figs. A2.57 e A2.58, designadas pelas letras A, B, C, e D são provavelmente do intraembasamento, ou provindas de corpos intrusivos nos sedimentos. As evidências são:

a) Valores de amplitudes dos altos e baixos magnéticos da ordem

de várias centenas de gamas, o que corresponde aos valores encontrados para modelos de corpos do intraembasamento (seção 2.4.7).

- b) Amplitudes dos altos magnéticos situados mais ao sul menores que dos altos magnéticos situados mais ao norte, como nas anomalias A e C. Esta situação, para um corpo submetido a um campo normal com valores de declinação e inclinação baixos, só pode ocorrer quando a magnetização total do corpo é remanente e com inclinação negativa. Além disso a inclinação da magnetização total deve ser maior, em valor absoluto que a inclinação do campo normal (V.Figs. A2.53 a A2.55).

Assim, o corpo intrusivo causador da anomalia A deve ter magnetização com inclinação em torno de  $30^\circ$  (Fig.A2.53) Já para o corpo causador da anomalia C a inclinação deve estar entre  $60^\circ$  e  $70^\circ$ S (Fig. A2.54).

A anomalia B assemelha-se ao caso da Fig.A2.48, para magnetização com direção paralela à direção do campo normal.

A anomalia D não está inteiramente contida na área, aparecendo somente um alto magnético, e a nordeste dela um baixo magnético associado, sendo suas amplitudes aproximadamente iguais. Desde que essa anomalia situa-se num canto da área, sua caracterização completa não é viável, dando margem a duas possibilidades: existe outro alto magnético a nordeste do baixo, ou existe outro baixo magnético a sudoeste do alto. Esta ambigüidade será eliminada com a análise dos dados gravimétricos, o que será tratado no Capítulo 3.

Alguns lineamentos aeromagnéticos existentes na

área foram interpretados como falhas no embasamento. Para simplificar a descrição, as falhas terão a mesma designação dos lineamentos. As principais direções destes lineamentos são: N-S, E-W, NE45°, NE60°, e NW60°. As falhas mais antigas são as de direções NE45° e NE60°, coincidindo com alguns lineamentos dos grupos D e E respectivamente. Os lineamentos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>, por exemplo, são truncados a leste, pelo lineamento B6 e a oeste pelo lineamento C4. Isto evidencia que as falhas do grupo E são mais antigas que as falhas dos grupos B e C. Os lineamentos E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> representam planos de falhas escalonadas, onde os blocos sul estão rebaixados em relação aos blocos norte, formando um escalonamento no sentido contrário ao escalonamento do campo magnético (V.Seção 2.4.2 e Figs. A2.40 e A2.59).

As falhas do grupo D, exceto as D2, D3 e D4, são provavelmente contemporâneas às do grupo E, ocorrendo posteriormente reativação em pelo menos um dos grupos. Como pode ser visto na Fig. A2.25 os lineamentos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e D9, D10 estão praticamente alinhados, exceto pela variação nas suas direções, o que pode ter sido causado pela grande anomalia C, interpretada como um corpo intrusivo, que teria deslocado as estruturas circunja-centes, ou simplesmente deslocado as curvas de isovalores sem alterar as estruturas. Os lineamentos D9 e D10 representam planos de falhas, formando um graben. Como o perfil magnético perpendicular à direção destes lineamentos (Fig.A2.60) mostra uma feição simétrica, conclui-se tratar-se de um graben assimétrico, com o bloco mais ao sul mais baixo que o bloco mais ao norte (seção 2.4.3.). A Fig. A2.62 mostra a interpretação da estrutura causadora dos lineamentos E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, D9 e D10. Observa-se que

tal estrutura deveria ser, primeiramente, a mesma em toda sua extensão, tendo havido posteriormente reativação no plano de falha E2/D10, que inverteu a posição relativa dos blocos 1 e 2. Esta reativação se deu com a falha B6 que permitiu a articulação independente dos conjuntos de blocos de cada lado de seu plano de falha.

Vale ressaltar que o lineamento E4 é uma consequência da falha E2, não tendo portanto qualquer correspondência com outra falha (seção 2.4.1 - 6<sup>a</sup>).

As falhas D1, D5, D6, D7 e D8 são contemporâneas às falhas D9 e D10. D1 é deslocada por B3 (Fig. A2.1) D8 é truncada por A3 e B7. D7 é truncada por B8 e C1 (Figs. A2.17 e A2.24).

Seguem-se as falhas dos grupos B e C, possivelmente de mesma idade, já que nas suas interseções não há evidências de deslocamento ou truncamento de uma em relação à outra. As falhas destes dois grupos são mais recentes que as dos grupos D e E, porque estas são truncadas por aquelas. B6 por exemplo 'trunca' E1, E2, D9 e D10; C trunca E1 e E2.

As falhas do grupo B são de 2 tipos:

- a) De gravidade, com os blocos SW rebaixados em relação aos NE, como B6, B8 e B9, evidenciadas pela diferença de valor do campo magnético entre cada lado destas falhas (Fig. A2.23). O lado com maior valor de campo magnético corresponde ao bloco mais baixo (seção 2.4.1). A falha B6 também tem rejeito horizontal (~8km), como indica o deslocamento entre os lineamentos E1 - D9 e E2-D10 (dextral) (V.Fig A2.63). Ao longo do plano da falha

B4, o bloco SW subiu em relação ao NE. Esta falha é evidenciada por separar duas áreas, com características magnéticas diferentes no mapa de campo total (Fig. A2.1). Nota-se que a NE de B4 o campo magnético é mais suave que a SW, provavelmente por causa de uma distância maior do bloco NE ao plano de observação do que a distância do bloco SW ao plano de observação. Tal interpretação é suportada pelo desaparecimento desta diferença nos mapas de continuação para cima. Estas evidências indicam que a falha B4 é provavelmente mais recente que as outras do grupo B, pois as pequenas anomalias e os contornos tortuosos (a SW de B4) são causados, pelo menos em parte, pelas intrusões de diabásio do Triássico superior ao Cretáceo inferior. Se esta interpretação é correta, a falha B4 deve ser então de idade pós-cretácea.

- b) Transcorrentes sinistrais como B1, B2 e B3, evidenciadas pelo deslocamento do padrão linear dos lineamentos D1 e D9 (Fig. A2.1). Sua idade é posterior à intrusão que causou a grande anomalia C, o que pode ser constatado pela interrupção do padrão circular da referida anomalia pelo lineamento B1 (Fig. A2.23).

As falhas do grupo C são todas de gravidade, escalonadas e restritas localmente à parte oeste da área. Os planos de falhas formam um ângulo pequeno ( $6^\circ$ ) com a projeção horizontal do campo magnético normal. Neste caso não é possível determinar, sem ambiguidade, o movimento relativo dos blocos, em virtude da existência de um ângulo limite (V.seção 2.4.1) abaixo do qual o escalonamento do campo magnético se dá no mesmo sentido do escalonamento estrutural. Para o modelo da Fig.A2.38,

o ângulo de  $6^\circ$  é menor que o ângulo limite. Entretanto, a ambiguidade só pode ser eliminada, ou reduzida, com informações geofísicas e/ou geológicas independentes, o que será visto no Capítulo 3.

As falhas de direção E-W são de mesma idade ou mais recentes que as de direção N-S. Sua ocorrência é também restrita localmente à parte oeste da área e são limitadas à leste à oeste pelas falhas do grupo C. Sua origem está provavelmente ligada à formação dos escalonamentos N-S, onde, cada bloco não teve rejeito constante ao longo da direção N-S, causando falhas escalonadas secundárias de direção E-W (Compare Figs. A2.36 e A2.61). O escalonamento estrutural é invertido em relação ao escalonamento do campo magnético.

Finalmente o último evento registrado no mapa aeromagnético, representado pelos lineamentos D2, D3 e D4 que parecem corresponder a um conjunto de falhas transcorrentes sinistras e dextrais em échelon. As evidências são:

- a) Truncamento do lineamento B4 pelo lineamento D2 (Fig. A2.1).
- b) Projeção da área de contornos mais suaves para dentro da área de contornos menos suaves, ao longo dos lineamentos D1 e D2 (Fig. A2.1).
- c) Deslocamento entre os lineamentos B2 e B3, que representam possivelmente o traço de uma única falha nas bordas de uma área rebaixada (Fig. A2.1).
- d) Deslocamento do lineamento A1 pelo lineamento D3 no ponto 1E/119N (Figs. A2.17 e A2.24).
- e) Deslocamento do lineamento B6 pelos lineamentos D3 e D4 no

ponto 94E/110N, particularmente visível no mapa de derivada  
segunda (Fig. A2.14) e no mapa da Fig. A2.24

### CAPÍTULO 3 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS.

Os resultados apresentados no capítulo 2, baseados somente em dados aeromagnéticos, serão, neste capítulo comparados com outros dados geofísicos e geológicos.

#### 3.1. Dados Geofísicos.

##### 3.1.1. Gravimetria

A Fig. A3.1 mostra o mapa gravimétrico Bouguer traçado a partir de dados concentrados principalmente ao longo de rios.

O lineamento aeromagnético E2 aparece também no mapa Bouguer como um lineamento gravimétrico, assinalado com a mesma designação. Observa-se que a sudeste deste lineamento o campo gravimétrico é menor que a noroeste, confirmando a interpretação da posição relativa dos blocos separados pela falha E2, baseada somente nos dados aeromagnéticos.

A anomalia B é claramente visível no mapa gravimétrico, formando um alto, situado acima do local onde ocorre um baixo magnético (109E/28N) (V.Fig.A2.58-c). Isto corrobora a interpretação da anomalia B como sendo causada por um corpo cuja magnetização total é paralela à direção do campo normal, porque neste caso o corpo anômalo situa-se abaixo do baixo magnético.

A anomalia D também aparece no mapa gravimétrico, como um alto e está situada acima do alto magnético correspondente a esta anomalia. Isto reduz a ambiguidade, indicada na

seção 2.5, para esta anomalia. Combinando os dados gravimétricos e magnéticos, conclui-se que, pelo fato dos dois altos coincidirem, a interpretação mais viável para a anomalia D é a de um corpo intrusivo apresentando magnetização remanente com declinação próxima a  $180^\circ$  e inclinação em torno de  $18^\circ$  (Fig.A2.56) Se esta interpretação é correta, tal intrusão deu-se num período do reverso do campo geomagnético, situando-se o corpo, então no hemisfério sul.

### 3.1.2. Sísmica.

A Fig. A3.2 mostra a compilação de dados sísmicos (Araujo, 1970, segundo Andrade e Cunha, 1971 e Araújo, 1972, segundo Rezende e Brito, 1973) consistindo de falhas e altos no embasamento.

Observam-se as possíveis correlações dos lineamentos aeromagnéticos D9 e B6. Com as falhas de mesma designação, mapeadas pela sísmica. O alto sísmico A coincide com o baixo da anomalia magnética A. A referida anomalia magnética foi interpretada como sendo de intraembasamento, não sendo excluída, entretanto a possibilidade de uma contribuição superposta do supraembasamento. O alto sísmico C situa-se próximo à anomalia magnética C. Além disso, este alto sísmico está localizado na borda externa de uma estrutura interpretada, através dos dados magnéticos como um graben.

### 3.2. Dados Geológicos.

A Fig. A3.3. mostra parte da compilação de dados estruturais da Bacia do Médio Amazonas a partir de fotointerpretação (Cunha et al, 1971, segundo Andrade e Cunha, 1971).

Observa-se a correlação entre os lineamentos aeromagnéticos D3, D9, D10 e B6 e os lineamentos estruturais, representando fraturas, assinalados com a mesma designação. A correlação como era esperada, não é perfeita, seja devido a erros inerentes ao posicionamento, seja devido aos lineamentos aeromagnéticos serem representativos do embasamento, enquanto os lineamentos da Fig. A3.3 são aqueles que atingiram a camada superior (Alter do Chão). Não obstante, pode-se presumir ocorrência de reativações durante a história geológica da Bacia, tal que, alguns lineamentos atuais guardam ainda alguma dependência com os lineamentos produzidos por antigas falhas no embasamento.

As falhas escalonadas N-S discutidas na seção 2.5 serão aqui interpretadas à luz de dados geológicos disponíveis. O modelo proposto por Porto (1972), segundo Asmus e Porto (1972) para a evolução da Bacia do Médio Amazonas (Fig. 2.6) pressupõe uma inversão do relevo entre a Bacia do Médio Amazonas atual e o Alto do Purus. Este Alto formava anteriormente uma bacia periférica. Com a inversão do relevo, é de se esperar que tenham o corrido falhamentos de direção N-S nas bordas do atual Alto do Purus, e que os blocos a leste sejam os mais rebaixados em relação aos blocos oeste. Somando-se a esta consideração de ordem geológica a observação de que, para os modelos das Figs. A2.30, A2.31, A2.38 e A2.39 o ângulo de  $6^\circ$  é menor que o ângulo limite

(Seção 2.4.1), as falhas N-S são interpretadas como falhas de gravidade formando um graben. Estas falhas seriam do cambro-ordoviciano, idade estabelecida para a inversão do relevo.

### 3.3. Conclusões gerais.

Com base nas técnicas de filtragens numérica e visual aplicadas a mapas aeromagnéticos e em modelos de corpos geológicos em baixa latitude, foi possível uma interpretação de algumas estruturas do embasamento da Bacia do Médio Amazonas.

Vários lineamentos aeromagnéticos foram interpretados como falhas no embasamento. Estas falhas estão concentradas em 5 direções principais: E-W, NW60°, N-S, NE45° e NE60°.

Em ordem cronológica tem-se:

- algumas NE 45° e algumas NW60° as mais recentes.
- E-W pouco mais recentes que as de direção N-S.
- N-S e NW60° possivelmente de mesma idade.
- NE60° e algumas NE45° - as mais antigas.

Como as falhas N-S são provavelmente de idade cambro-ordoviciano (seção 3.2), as de direção NE60° e algumas NE45° são pré-cambrianas, enquanto as E-W, algumas NW60° e algumas NE45° são pós-ordovicianas.

A falha B6 foi preenchida por intrusões básicas, como evidenciam seus altos componentes de frequência. O lineamento aeromagnético curvo, passando por 64E/76N e bastante evidenciado no mapa de campo total, é interpretado como a superposição dos campos magnéticos produzidos por várias falhas de gravidade com

direções N-S, E-W e NE60°. Sem o tratamento adequado dos dados, este lineamento curvo poderia ser confundido com um contato entre litologia diferentes, o que causaria grandes erros interpretativos.

Quatro anomalias de grande e médio portes (A,B,C e D) foram interpretadas como provindas do intraembasamento. A anomalia B possui magnetização paralela ao campo normal enquanto as anomalias A, C e D possuem magnetização com direções diferentes da direção do campo normal.

A magnetização de D indica uma reversão do campo geomagnético. As magnetizações de A e C (com inclinações - 30° e -60° respectivamente) podem indicar a paleolatitudo da Bacia Amazônica, que possivelmente estava bem mais ao sul no Paleozóico como atestam as possíveis evidências de glaciação representadas pelos diamictitos da Formação Curuá (Andrade e Cunha,1971).

Estas conclusões indicam a potencialidade do método de análise empregado e abrem amplas perspectivas para investigações posteriores. Não há, até o presente momento, um estudo quantitativo sistemático sobre a remanência de corpos intrusivos na Bacia Amazônica, o que poderia trazer à luz importante contri-buição à história geológica da Bacia Amazônica.

Deve-se salientar ainda que a interpretação das anomalias A,B,C e D como sendo do intraembasamento, não exclui a possibilidade de uma contribuição superposta do supraembasamento. Os corpos intrusivos que provavelmente deram origem às referidas anomalias podem, concomitantemente ter produzido um arqueamento ou elevação no embasamento. Isto é particularmente

evidenciado pela coincidência das anomalias A e C com os altos sísmicos A e C (Fig. A3.2).

As técnicas aplicadas neste trabalho, podem ser estendidas para qualquer conjunto de dados potenciais. Robison et al (1969) e Robinson e Merriam (1972) aplicam a filtragem numérica a dados estruturais. Em particular, a filtragem visual pode ser aplicada a toda observação suscetível de ser descrita numericamente em função de duas coordenadas espaciais e contornada por curvas de isovalores. Sejam dados geofísicos, geoquímicos, estruturais, paleontológicos ou geomorfológicos, pode-se através da filtragem visual obter uma percepção imediata da variação espacial dos valores. Pode-se também, mais facilmente, atribuir a devida importância às anomalias existentes, bem como reconhecer rapidamente as variações regionais.

Finalmente, deve-se ressaltar a importância da integração dos dados geofísicos e geológicos na interpretação aeromagnética (de um modo geral na interpretação de qualquer método geofísico). As técnicas de tratamento de dados, auxiliam na visualização de certas feições, mas não eliminam a ambiguidade inerente aos dados. Esta ambiguidade só pode ser eliminada ou reduzida através da convergência de evidências provindas da análise de informações independentes.

Na área estudada a consistência de outros dados geofísicos e geológicos em relação à interpretação aeromagnética, apresentada no capítulo 2, reforça grandemente a confiabilidade das técnicas desenvolvidas e aplicadas neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão ao Dr. José Seixas Lourenço pela orientação deste trabalho, bem como aos outros membros da Comissão de Tese, Dr. Augusto Cesar Bittencourt Pires e Dr. Raymundo Ruy Pereira Bahia por suas sugestões. À minha esposa Hiroko pela inestimável ajuda na confecção gráfica e na preparação deste trabalho.

Agradeço ainda ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Financiadora de Estudos e Projetos.

APÊNDICE A

TABELAS DE PESOS DOS FILTROS

TABELA 1. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DE CONTINUACAO PARA CIMA H=0,5

0.00010	0.00010	0.00007	0.00005	0.00002	0.00000	0.00000
0.00027	0.00025	0.00019	0.00012	0.00007	0.00003	0.00000
0.00070	0.00062	0.00045	0.00027	0.00014	0.00007	0.00002
0.00202	0.00169	0.00105	0.00056	0.00027	0.00012	0.00005
0.00744	0.00528	0.00247	0.00105	0.00045	0.00019	0.00007
0.05048	0.02038	0.00528	0.00169	0.00062	0.00025	0.00010
0.57900	0.05048	0.00744	0.00202	0.00070	0.00027	0.00010

TABELA 2. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DE CONTINUACAO PARA CIMA H=1,0

0.00030	0.00029	0.00022	0.00015	0.00009	0.00003	0.00001
0.00078	0.00071	0.00054	0.00035	0.00021	0.00010	0.00003
0.00194	0.00173	0.00125	0.00078	0.00042	0.00021	0.00009
0.00525	0.00443	0.00283	0.00154	0.00078	0.00035	0.00015
0.01699	0.01259	0.00632	0.00283	0.00125	0.00054	0.00022
0.07259	0.03852	0.01259	0.00443	0.00173	0.00071	0.00029
0.21060	0.07259	0.01699	0.00525	0.00194	0.00078	0.00030

TABELA 3. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DE CONTINUACAO PARA CIMA H=2,0

0.00074	0.00068	0.00054	0.00037	0.00022	0.00010	0.00003
0.00176	0.00162	0.00127	0.00086	0.00051	0.00026	0.00010
0.00405	0.00367	0.00273	0.00176	0.00100	0.00051	0.00022
0.00945	0.00824	0.00566	0.00331	0.00176	0.00086	0.00037
0.02239	0.01828	0.01095	0.00566	0.00273	0.00127	0.00054
0.04897	0.03632	0.01828	0.00824	0.00367	0.00162	0.00068
0.07020	0.04897	0.02239	0.00945	0.00405	0.00176	0.00074

TABELA 4. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
REGIONAL FC=0,25 CICLOS/INT. DADOS

0.00376	0.00277	0.00100	0.00041	0.00129	0.00227	0.00226
-0.00008	-0.00148	-0.00380	-0.00394	-0.00144	0.00134	0.00227
-0.00065	-0.00334	-0.00822	-0.00977	-0.00640	-0.00144	0.00129
0.01267	0.00716	-0.00402	-0.01107	-0.00977	-0.00394	0.00041
0.04362	0.03377	0.01263	-0.00402	-0.00822	-0.00380	0.00100
0.07935	0.06504	0.03377	0.00716	-0.00334	-0.00148	0.00277
0.09565	0.07935	0.04362	0.01267	-0.00065	-0.00008	0.00376

TABELA 5. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO REGIONAL FC=0,125 CICLOS/INT. DADOS

-0.00376	-0.00397	-0.00397	-0.00355	-0.00251	-0.00125	0.00000
-0.00209	-0.00251	-0.00355	-0.00376	-0.00313	-0.00293	-0.00125
0.00502	0.00334	-0.00104	-0.00251	-0.00334	-0.00313	-0.00251
0.02218	0.01841	0.01088	0.00125	-0.00251	-0.00376	-0.00355
0.03683	0.03223	0.02365	0.01088	-0.00104	-0.00355	-0.00397
0.04981	0.04353	0.03223	0.01841	0.00334	-0.00251	-0.00397
0.05483	0.04981	0.03683	0.02218	0.00502	-0.00209	-0.00376

TABELA 6. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO REGIONAL FC=0,07 CICLOS/INT. DADOS

0.00463	0.00440	0.00384	0.00312	0.00226	0.00125	0.00025
0.00630	0.00607	0.00548	0.00471	0.00380	0.00262	0.00125
0.00768	0.00741	0.00672	0.00584	0.00493	0.00380	0.00226
0.00908	0.00875	0.00787	0.00683	0.00584	0.00471	0.00312
0.01038	0.01002	0.00907	0.00787	0.00672	0.00548	0.00384
0.01119	0.01090	0.01002	0.00875	0.00741	0.00607	0.00440
0.01143	0.01119	0.01038	0.00908	0.00768	0.00630	0.00463

TABELA 7. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DIRECIONAL CONSERVA FEICOES N-S

0.03292	0.00051-0.00106-0.00338	0.00000-0.00121-0.00038
0.05326-0.00514	0.00000-0.00410	0.00000-0.00251 0.00000
0.07811-0.01400	0.00187-0.00450	0.00000-0.00436 0.00073
0.10442-0.02475	0.00429-0.00458	0.00002-0.00653 0.00174
0.12793-0.03516	0.00669-0.00444	0.00004-0.00860 0.00280
0.14426-0.04273	0.00847-0.00427	0.00005-0.01010 0.00360
0.15011-0.04550	0.00913-0.00419	0.00006-0.01064 0.00390

TABELA 8. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DIRECIONAL CORTE ENTRE NE 45 E SE 45

0.00084	0.00332	0.00072	0.00267	0.00043	0.00198-0.00111
0.00615	0.00119	0.00590	0.00090	0.00657-0.00424-0.00092	
0.00162	0.01114	0.00144	0.01524-0.00875-0.00380	0.00043	
0.02114	0.00192	0.03067-0.01375-0.01032	0.00090-0.00032		
0.00226	0.06259-0.01826-0.02360	0.00144-0.00159	0.00072		
0.20165-0.02139-0.05380	0.00192-0.00484	0.00119-0.00008			
0.50250-0.24065	0.04739-0.05274	0.03404-0.02583	0.01766		

TABELA 9. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DIRECIONAL CORTE ENTRE NW 45 E NE 45

0.01766-0.00008	0.00072-0.00032	0.00043-0.00092-0.00111				
-0.02583	0.00119-0.00159	0.00090-0.00380-0.00424	0.00198			
0.03404-0.00484	0.00144-0.01032-0.00875	0.00657	0.00043			
-0.05274	0.00192-0.02360-0.01375	0.01524	0.00090	0.00267		
0.04739-0.05380-0.01826	0.03067	0.00144	0.00590	0.00072		
-0.24065-0.02139	0.06259	0.00192	0.01114	0.00119	0.00332	
0.50250	0.20165	0.00226	0.02114	0.00162	0.00615	0.00084

TABELA 10. PESOS NO PRIMEIRO QUADRANTE DO FILTRO  
DIRECIONAL CORTE EM N-S E E-W

0.01400-0.01275	0.00432	0.00717	0.00384	0.00442	0.00087	
-0.02131-0.00393	0.01192	0.00299-0.00038	0.00506	0.00442		
0.00597-0.02017	0.01746	0.00060	0.00571-0.00038	0.00384		
-0.07483	0.02479	0.02221	0.00183	0.00060	0.00299	0.00717
-0.06906	0.02805	0.01494	0.02221	0.01746	0.01192	0.00432
-0.11512	0.14276	0.02805	0.02479-0.02017-0.00393-0.01275			
0.77013-0.11512-0.06906-0.07483	0.00597-0.02131	0.01400				

TABELA 11. PESOS DO FILTRO DIRECIONAL. ACENTUA DIREÇÃO NE 45

0.0263	0.0002	0.0046	0.0025	-0.0019	-0.0041	-0.0003	-0.0025	-0.0025	0.0025	-0.0007	-0.0032	0.0091
0.0128	0.0136	0.0002	-0.0017	-0.0069	-0.0009	-0.0026	-0.0025	-0.0002	-0.0010	0.0135	0.0065	0.0103
0.0028	0.0044	-0.0011	-0.0093	-0.0017	-0.0024	-0.0021	0.0027	-0.0000	0.0222	0.0317	0.0024	0.0034
0.0085	-0.0004	-0.0100	-0.0024	-0.0020	-0.0017	0.0057	-0.0164	0.0264	0.0597	0.0015	-0.0010	-0.0025
-0.0002	-0.0084	-0.0027	-0.0018	-0.0018	0.0073	-0.0221	0.0244	0.0951	-0.0005	-0.0045	-0.0010	-0.0036
-0.0052	-0.0024	-0.0017	-0.0028	0.0068	-0.0228	0.0167	0.1287	0.0008	-0.0107	0.0012	-0.0042	-0.0012
-0.0016	-0.0015	-0.0038	0.0044	-0.0178	0.0073	0.1501	0.0073	-0.0178	0.0044	-0.0038	-0.0015	-0.0016
-0.0012	-0.0042	0.0012	-0.0107	0.0008	0.1287	0.0167	-0.0228	0.0068	-0.0028	-0.0017	-0.0024	-0.0052
-0.0036	-0.0010	-0.0045	-0.0005	0.0951	0.0244	-0.0221	0.0073	-0.0018	-0.0018	-0.0027	-0.0084	-0.0002
-0.0007	-0.0010	0.0015	0.0597	0.0264	-0.0164	0.0057	-0.0017	-0.0020	-0.0024	-0.0100	-0.0004	0.0033
0.0038	0.0242	0.0317	0.0222	-0.0080	0.0027	-0.0021	-0.0024	-0.0017	-0.0093	-0.0011	0.0064	0.0135
-0.0026	0.0021	0.0011	-0.0010	-0.0002	-0.0025	-0.0026	-0.0009	-0.0009	-0.0017	0.0084	0.0075	0.0175
-0.0136	0.0009	-0.0037	-0.0099	-0.0025	-0.0025	-0.0003	-0.0041	-0.0019	0.0032	0.0121	0.0287	0.0130

TABELA 12. PESOS DO FILTRO DIRECIONAL. ACENTUA DIREÇÃO NE 60

0.0051	0.0086	0.0096	0.0077	0.0035	-0.0006	-0.0049	-0.0032	-0.0005	-0.0011	-0.0030	-0.0024	-0.0021
0.0123	0.0123	0.0083	0.0014	-0.0056	-0.0075	-0.0024	-0.0007	-0.0029	-0.0033	-0.0018	0.0039	0.0014
0.0007	0.0020	-0.0035	-0.0099	-0.0048	-0.0001	-0.0023	-0.0042	-0.0007	0.0004	-0.0015	0.0253	0.0078
-0.0013	-0.0060	-0.0051	-0.0009	-0.0016	-0.0038	0.0004	0.0048	-0.0067	-0.0116	0.0185	0.0327	0.0101
-0.0029	-0.0013	-0.0011	-0.0033	-0.0007	0.0059	-0.0052	-0.0261	0.0095	0.0638	0.0460	0.0082	-0.0004
-0.0005	-0.0028	-0.0033	0.0024	0.0014	-0.0249	-0.0184	0.0730	0.1016	0.0222	-0.0121	-0.0022	-0.0011
-0.0039	-0.0015	0.0031	-0.0118	-0.0371	0.0509	0.1501	0.0509	-0.0371	-0.0118	0.0031	-0.0015	-0.0039
-0.0011	-0.0022	-0.0121	0.0222	0.1016	0.0730	-0.0184	-0.0249	0.0014	0.0024	-0.0033	-0.0028	-0.0005
0.0001	0.0082	0.0460	0.0638	0.0095	-0.0261	-0.0052	0.0059	-0.0007	-0.0033	-0.0011	-0.0013	-0.0029
0.0071	0.0327	0.0185	-0.0116	-0.0067	0.0048	0.0004	-0.0038	-0.0016	-0.0009	-0.0051	-0.0060	-0.0013
0.0035	-0.0004	-0.0015	-0.0006	-0.0007	-0.0042	-0.0023	-0.0001	-0.0048	-0.0099	-0.0035	0.0020	0.0028
-0.0022	-0.0009	-0.0018	-0.0033	-0.0029	-0.0007	-0.0024	-0.0075	-0.0056	0.0014	0.0037	0.0050	0.0063
-0.0037	-0.0086	-0.0021	-0.0011	-0.0005	-0.0032	-0.0049	-0.0008	0.0037	0.0073	0.0120	0.0157	0.0165

TABELA 13. PESOS DO FILTRO DIRECIONAL. ACENTUA DIREÇÃO NW 60

-0.0016	-0.0013	-0.0001	-0.0011	-0.0005	-0.0032	-0.0049	-0.0006	0.0041	0.0085	0.0108	0.0100	0.0066
-0.0022	-0.0009	-0.0018	-0.0033	-0.0029	-0.0007	-0.0024	-0.0075	-0.0056	0.0014	0.0085	0.0130	0.0136
0.0035	-0.0004	-0.0015	0.0004	-0.0007	-0.0042	-0.0023	-0.0001	-0.0048	-0.0099	-0.0035	0.0020	0.0033
0.0073	0.0327	0.0185	-0.0116	-0.0067	0.0048	0.0004	-0.0038	-0.0016	-0.0009	-0.0051	-0.0060	-0.0013
0.0004	0.0082	0.0460	0.0638	0.0095	-0.0261	-0.0052	0.0059	-0.0007	-0.0033	-0.0011	-0.0013	-0.0029
-0.0011	-0.0022	-0.0121	0.0222	0.1016	0.0730	-0.0184	-0.0249	0.0014	0.0024	-0.0033	-0.0028	-0.0005
-0.0039	-0.0015	0.0031	-0.0118	-0.0371	0.0509	0.1501	0.0509	-0.0371	-0.0118	0.0031	-0.0015	-0.0039
-0.0005	-0.0028	-0.0033	0.0024	0.0014	-0.0249	-0.0184	0.0730	0.1016	0.0222	-0.0121	-0.0022	-0.0011
-0.0029	-0.0013	-0.0011	-0.0033	-0.0007	0.0059	-0.0052	-0.0261	0.0095	0.0638	0.0460	0.0082	-0.0004
-0.0013	-0.0060	-0.0051	-0.0009	-0.0016	-0.0038	0.0004	0.0048	-0.0067	-0.0116	0.0185	0.0327	0.0101
0.0024	0.0020	-0.0035	-0.0099	-0.0048	-0.0001	-0.0023	-0.0042	-0.0007	0.0004	-0.0015	0.0253	0.0078
0.0036	0.0017	0.0000	0.0014	-0.0056	-0.0075	-0.0024	-0.0007	-0.0029	-0.0033	-0.0016	0.0039	0.0014
0.0159	0.0148	0.0107	0.0056	0.0016	-0.0006	-0.0049	-0.0032	-0.0005	-0.0011	-0.0050	-0.0024	-0.0021

APÉNDICE B

PROGRAMAS DE COMPUTADOR

CALCULO DOS PESOS DE UM FILTRO NO DOMINIO DOS  
 ESPACOS A PARTIR DA SUA RESPOSTA ESPECTRAL  
 NO PRIMEIRO QUADRANTE

VALORES DE ENTRADA

B - RESPOSTA ESPECTRAL DO FILTRO, EM DECIBEIS  
 DX - INTERVALO DE DIGITALIZACAO DA RESPOSTA  
 ESPECTRAL, NA DIRECAO X, EM CICLOS/ INT. DADOS  
 DY - INTERVALO DE DIGITALIZACAO DA RESPOSTA  
 ESPECTRAL, NA DIRECAO Y, EM CICLOS/ INT. DADOS  
 NPX - NUMERO DE PESOS EM X DO FILTRO NO PRIMEIRO  
 QUADRANTE  
 NPY - NUMERO DE PESOS EM Y DO FILTRO NO PRIMEIRO  
 QUADRANTE

VALORES DE SAIDA

W - PESOS DO FILTRO NO PRIMEIRO QUADRANTE, NAO  
 SUAVIZADO  
 OUT - PESOS DO FILTRO NO PRIMEIRO QUADRANTE,  
 SUAVIZADO COM A JANELA HAMMING

```

DIMENSION W(20,20),OUT(20,20)
DIMENSION S(20,20),F(21,21),B(21,21)
PI=3.141593
READ(8,2) DX,DY,NPX,NPY
2  FORMAT(2F5.3,2I2)
   LT=(0.5/DX)+1.
   MT=(0.5/DY)+1.
100 READ(8,100)((B(L,M),L=1,LT),M=1,MT)
   FORMAT(10F8.3)
   DO 9 L=1,LT
   DO 9 M=1,MT
   Y=B(L,M)/20.
9   F(L,M)=10.**Y
   PNx=FLOAT(NPx)
   PNY=FLOAT(NPY)
   DO 3 KA=1,NPx
   AK=FLOAT(KA-1)
   DO 3 NA=1,NPY
   W(KA,NA)=0.
   AN=FLOAT(NA-1)
   S(KA,NA)=.54+.46*COS((PI*SQRT(AK**2+AN**2)))/

```

```
1(SQRT(PNX**2+PNY**2))
  DO 4 LA=1,LT
    AL=FLOAT(LA-1)
    DO 4 MA=1,MT
      AM=FLOAT(MA-1)
4    W(KA,NA)=W(KA,NA)+F(LA,MA)*COS(2.*PI*AL*DX*AK)
1    *COS(2.*PI*AM*DY*AN)*DX*DY
3    OUT(KA,NA)=4.*W(KA,NA)*S(KA,NA)
    WRITE(5,50)
50   FORMAT(1H1,'VALORES DO FILTRO NAO SUAVIZADO'////)
    DO 51 JR=1,NPY
      WRITE(5,52)(W(IR,JR),IR=1,NPX)
51   CONTINUE
    WRITE(5,53)
53   FORMAT(1H1,'VALORES DO FILTRO SUAVIZADO'////)
    DO 54 MY=1,NPY
      WRITE(5,52)(OUT(MX,MY),MX=1,NPX)
52   FORMAT(10X,10F8.5)
54   CONTINUE
1    FORMAT(10F8.5)
    WRITE(9,1)((OUT(I,J),J=1,NPY),I=1,NPX)
    CALL EXIT
    END
```

CALCULO DA CONVOLUCAO DE UMA MATRIZ DE DADOS  
COM UM FILTRO RADIAL

VALORES DE ENTRADA

INVAL - MATRIZ DOS DADOS ORIGINAIS (EM DISCO)  
IXE - NUMERO DE INTERVALOS DO FILTRO AO LONGO  
DE X (NO PRIMEIRO QUADRANTE)  
IYE - NUMERO DE INTERVALOS DO FILTRO AO LONGO  
DE Y (NO PRIMEIRO QUADRANTE)  
LX - LIMITE ESQUERDO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE X  
POINX - LIMITE DIREITO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE X  
LY - LIMITE ESQUERDO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE Y  
POINY - LIMITE DIREITO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE Y  
WK - CONSTANTE MULTIPLICATIVA DOS DADOS DE SAIDA  
W - PESOS DO FILTRO NO PRIMEIRO QUADRANTE

VALORES DE SAIDA

IVAL - MATRIZ DOS DADOS FILTRADOS

```

INTEGER POINX,POINY
REAL INVAL(300)
DIMENSION IVAL(160),RWDAT(20,166),W(20,20)
DEFINE FILE 1(300,300,U,L),2(300,300,U,LL)
L=1
LL=1
READ(8,10)IXE,IYE,LX,POINX,LY,POINY,WK
10 FORMAT(6I4,F4.0)
IXM1=IXE+1
IYM1=IYE+1
IXF=IXE*2
IYF=IYE*2
NX2=IXE*2+1
NY2=IYE*2+1
READ(8,11)((W(I,J),I=1,IXM1),J=1,IYM1)
11 FORMAT(10F8.5)
WRITE(5,19)NX2,NY2
19 FORMAT(1H1,54X,'FILTRO ',I2,' X ',I2///)
DO 20 J1=1,IYM1

```

```

J=IYM1-J1+1
WRITE(5,21)(W(I,J),I=1,IXM1)
21 FORMAT(1X,15F8.5)
20 CONTINUE
NPFX=POINX-IXF
DO 12 IP=LX,NPFX
  IP1=IP-LX+1
  IFIM=IP+IXF
  DO 13 IQ=IP,IFIM
    IPX=IQ-IP+1
    READ(1'IQ)INVAL
    DO 13 NP=LY,POINY
      13 RWDAT(IPX,NP)=INVAL(NP)
      NPFY=POINY-IYF
      DO 14 NP=LY,NPFY
        NP1=NP-LY+1
        NPFJ=NPFY-LY+1
        ASUM =0.
        DO 15 K=1,IXE
          K1=K+1
          SUM=0.
          DO 16 L=1,IYE
            L1=L+1
            KX=K+IXM1
            KY=NP+IYE+L
            KXL=IXM1-K
            KYL=NP+IYE-L
            SUM=SUM+W(K1,L1)+(RWDAT(KX,KY)+RWDAT(KX,KYL)+
      17 RWDAT(KXL,KY)+RWDAT(KXL,KYL))
          16 CONTINUE
          ASUM=ASUM+SUM
          15 CONTINUE
          BSUM=0.
          DO '23 K=1,IXE
            K1=K+1
            KX=K+IXM1
            KXL=IXM1-K
            KFIX=NP+IYE
            BSUM=BSUM+W(K1,1)*(RWDAT(KX,KFIX)+RWDAT(KXL,KFIX))
          23 CONTINUE
          CSUM=0.
          DO 24 L=1,IYE
            L1=L+1
            KY=NP+IYE+L
            KYL=NP+IYE-L
            CSUM=CSUM+W(1,L1)*(RWDAT(IXM1,KY)+RWDAT(IXM1,KYL))
          24 CONTINUE

```

```
LF=NP+IYE  
IVAL(NP1)=(ASUM+BSUM+CSUM+W(1,1)*RWDAT(IXM1,LF))*WK  
14 CONTINUE  
WRITE(2,'IPI')(IVAL(NP2),NP2=1,NPFJ)  
12 CONTINUE  
CALL EXIT  
END
```

CALCULO DA CONVOLUCAO DE UMA MATRIZ DE DADOS  
COM UM FILTRO (RADIAL OU NAO RADIAL)

VALORES DE ENTRADA

IVAL - MATRIZ DOS DADOS ORIGINAIS (EM DISCO)  
IXE - NUMERO DE INTERVALOS DO FILTRO AO LONGO  
DE X (NO PRIMEIRO QUADRANTE)  
IYE - NUMERO DE INTERVALOS DO FILTRO AO LONGO  
DE Y (NO PRIMEIRO QUADRANTE)  
LX - LIMITE ESQUERDO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE X  
POINX - LIMITE DIREITO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE X  
LY - LIMITE ESQUERDO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE Y  
POINY - LIMITE DIREITO DA MATRIZ DE DADOS AO  
LONGO DE Y  
WK - CONSTANTE MULTIPLICATIVA DOS DADOS DE SAIDA  
W - PESOS DO FILTRO NO PRIMEIRO QUADRANTE

VALORES DE SAIDA

IVAL - MATRIZ DOS DADOS FILTRADOS

```

INTEGER POINX,POINY
DIMENSION IVAL(160),IVAL(300),RWDAT (17,166),W(20,20)
DEFINE FILE 1(300,300,U,L),2(300,300,U,LL)
L=1
LL=1
10 READ(8,10)IXE,IYE, POINX, POINY,LX,LY
   FORMAT(6I4)
   NXSIG=IXE+1
   NYSIG=IYE+1
11 READ(8,11)((W(I,J),J=1,NYSIG),I=1,NXSIG)
   FORMAT(10F8.4)
   WRITE(5,19) NXSIG,NYSIG
19 FORMAT(1H1,54X,'FILTRO ',12,' X ',12///)
   DO 20 J1=1,NYSIG
     J=NYSIG-J1+1
     WRITE(5,21)(W(I,J),I=1,NXSIG)
21 FORMAT(1X,15F8.5)
20 CONTINUE
NPFX= POINX-IXE

```

```
DO 12 IP=LX,NPFX
  IP1=IP-LX+1
  IFIM=IP+IXE
  DO 13 IQ=IP,IFIM
    IPX=IQ-IP+1
    READ(1'IQ)INVAL
    DO 13 NP=LY, POINY
13  RWDAT(IPX,NP)=INVAL(NP)
    NPFY=POINY-IYE
    DO 14 NP=LY,NPFY
      NP1=NP-LY+1
      ASUM=0.
      DO 15 K=1,NXSIG
        SUM=0.
        DO 16 L=1,NYSIG
          ICY=NP+L-1
          SUM=SUM+W(K,L)*RWDAT(K,ICY)
16  CONTINUE
        ASUM=ASUM+SUM
15  CONTINUE
        IVAL(NP1)=ASUM
14  CONTINUE
        WRITE(2'IP1)(IVAL(NP2),NP2=1,NPFY)
        WRITE(5,50) IP1
50  FORMAT(1X,15)
12  CONTINUE
    CALL EXIT
  END
```

CALCULO DA TRANSFORMADA DE FOURIER DE DADOS REAIS  
 BIDIMENSIONAIS (ALGORITMO DE NAIDU)  
 1 PARTE - TRANSFORMADA DAS COLUNAS

VALORES DE ENTRADA

IVAL - DADOS REAIS (EM DISCO)  
 NP - NUMERO DE PONTOS NA DIRECAO X (N-S)  
 NPE - NUMERO DE PONTOS NA DIRECAO Y (E-W)

VALORES DE SAIDA

CVAL1 E CVAL2 - TRANSFORMADA DE FOURIER DAS  
 COLUNAS DOS DADOS REAIS (EM DISCO)

```

REAL IVAL(128)
DIMENSION CVAL(128),CVAL1(64),CVAL2(64)
DIMENSION MM(3),INV(16),S(16)
DEFINE FILE 1(32,300,U,L),2(32,300,U,LL)
L=1
LL=1
NP=32
NPE=32
NPS2=NP/2
IFSET=-1
MM(1)=5
MM(2)=0
MM(3)=0
DO 3 J=1,NPE,2
JA=J+1
READ(1'J')(IVAL(2*IL-1),IL=1,NP)
READ(1'JA')(IVAL(2*IL),IL=1,NP)
DO 4 KX=1,NP
CVAL(2*KX-1)=IVAL(2*KX-1)
4 CVAL(2*KX)=IVAL(2*KX)
S1I=0.
S1P=0.
S2I=0.
S2P=0.
DO 5 KX=1,NPS2
S1I=S1I+CVAL(4*KX-3)
S2I=S2I+CVAL(4*KX-2)
S1P=S1P+CVAL(4*KX-1)
S2P=S2P+CVAL(4*KX)

```

```
5 CONTINUE
  CVAL1(NPS2+1)=(S1I-S1P)/FLOAT(NP)
  CVAL2(NPS2+1)=(S2I-S2P)/FLOAT(NP)
  CALL HARM(CVAL,MM,INV,S,IFSET,IFERR)
  CVAL1(1)=CVAL(1)
  CVAL2(1)=CVAL(2)
  DO 6 I=2,NPS2
    KT1=NPS2+I
    KTT=2*NP-2*(I-1)+1
    KT2=2*NP-2*(I-2)
    CVAL1(I)=(CVAL(2*I-1)+CVAL(KTT))*0.5
    CVAL1(KT1)=(CVAL(2*I)-CVAL(KT2))*0.5
    CVAL2(I)=(CVAL(2*I)+CVAL(KT2))*0.5
    CVAL2(KT1)=(CVAL(KTT)-CVAL(2*I-1))*0.5
6 CONTINUE
  WRITE(2'J)(CVAL1(IQ),IQ=1,NP)
  WRITE(2'JA)(CVAL2(IQ),IQ=1,NP)
3 CONTINUE
  CALL EXIT
  END
```

CALCULO DA TRANSFORMADA DE FOURIER DE DADOS REAIS  
 BIDIMENSIONAIS (ALGORITMO DE NAIDU)  
 2ª PARTE - TRANSFORMADA DAS LINHAS

VALORES DE ENTRADA

CVAL - TRANSFORMADA DE FOURIER DAS COLUNAS  
 DOS DADOS REAIS (EM DISCO)  
 NP - NUMERO DE PONTOS NA DIRECAO X (N-S)  
 NPE - NUMERO DE PONTOS NA DIRECAO Y (E-W)

VALORES DE SAIDA

CVAL1 E CVAL2 - TRANSFORMADA DE FOURIER DOS DADOS REAIS

```

DIMENSION CVAL(128),CVAL1(64),CVAL2(64),MM(3),INV(16),S(16)
DEFINE FILE 1(32,300,U,L)
L=1
NP=32
NPE=32
NPE2=NPE/2
NPE21=NPE2+1
NPS2=NP/2
IFSET=-1
MM(1)=5
MM(2)=0
MM(3)=0
DO 1 J=2,NPE2
JB=J+NPE2
READ(1'J)(CVAL(2*I-1),I=1,NP)
READ(1'JB)(CVAL(2*I),I=1,NP)
CALL HARM(CVAL,MM,INV,S,IFSET,IFERR)
WRITE(1'J)(CVAL(2*I-1),I=1,NP)
1 WRITE(1'JB)(CVAL(2*I),I=1,NP)
READ(1'1)(CVAL(2*I-1),I=1,NP)
READ(1'NPE21)(CVAL(2*I),I=1,NP)
S1I=0.
S1P=0.
S2I=0.
S2P=0.
DO 5 KX=1,NPS2
S1I=S1I+CVAL(4*KX-3)
S2I=S2I+CVAL(4*KX-2)
S1P=S1P+CVAL(4*KX-1)

```

```
S2P=S2P+CVAL(4*KX)
5  CONTINUE
   CVAL1(NPS2+1)=(S1I-S1P)/FLOAT(NP)
   CVAL2(NPS2+1)=(S2I-S2P)/FLOAT(NP)
   CALL HARM(CVAL,MM,INV,S,IFSET,IFERR)
   CVAL1(1)=CVAL(1)
   CVAL2(1)=CVAL(2)
   DO 6 I=2,NPS2
     KT1=NPS2+I
     KTT=2*NP-2*(I-1)+1
     KT2=2*NP-2*(I-2)
     CVAL1(I)=(CVAL(2*I-1)+CVAL(KTT))*0.5
     CVAL1(KT1)=(CVAL(2*I)-CVAL(KT2))*0.5
     CVAL2(I)=(CVAL(2*I)+CVAL(KT2))*0.5
     CVAL2(KT1)=(CVAL(KTT)-CVAL(2*I-1))*0.5
6  CONTINUE
   WRITE(1'1')(CVAL1(IQ),IQ=1,NP)
   WRITE(1'NPE21')(CVAL2(IQ),IQ=1,NP)
   CALL EXIT
   END
```

CALCULO DOS PESOS DO FILTRO DE CONTINUACAO PARA  
CIMA NO DOMINIO DOS ESPACOS

VALORES DE ENTRADA

LX - NUMERO DE PESOS, EM X, DO FILTRO NO  
PRIMEIRO QUADRANTE  
LY - NUMERO DE PESOS, EM Y, DO FILTRO NO  
PRIMEIRO QUADRANTE  
H - NIVEL DE CONTINUACAO PARA CIMA, EM INTERVALOS  
DE DIGITALIZACAO

VALORES DE SAIDA

W - PESOS DO FILTRO DE CONTINUACAO PARA CIMA  
NO PRIMEIRO QUADRANTE, SUAVIZADO COM A JANELA  
HAMMING

```

DIMENSION S(10,10),W(7,7)
PI=3.141593
READ (8,1) LX,LY,H
1 FORMAT(2I2,F3.1)
WRITE(5,4) H
4 FORMAT(1H1,' PESOS DO FILTRO DE CONTINUACAO
1 PARA CIMA H=',F2.0////)
XL=FLOAT(LX)
YL=FLOAT(LY)
DO 2 I=1,LX
DO 2J=1,LY
AX=FLOAT(I-1)
AY=FLOAT(J-1)
KX=I-1
KY=J-1
S(I,J)=.50+.50*COS(PI*SQRT(AX**2+AY**2)/
1SQRT(XL**2+YL**2))
W(I,J)=H*S(I,J)/(2.*PI*SQRT((AX**2+AY**2+
1H**2)**3) )
WRITE(5,3) KX,KY,W(I,J)
3 FORMAT(1X,'W(',I1,',',I1,',')=',F9.5)
2 CONTINUE
WRITE(9,10)((W(I,J),I=1,7),J=1,7)
10 FORMAT(10F8.5)
CALL EXIT
END

```

## CALCULO DE UM FILTRO NORMALIZADO

## VALORES DE ENTRADA

N - DIMENSOES DO FILTRO  
 W - PESOS DO FILTRO NAO NORMALIZADO

## VALORES DE SAIDA

F - PESOS DO FILTRO NORMALIZADO

```

DIMENSION W(30,30), F(30,30),FILT(8)
READ(8,1)N,RW,FILT
1  FORMAT(12,F8.4,8A4)
READ(8,2)((W(I,J),I=1,N),J=1,N)
2  FORMAT(10F8.5)
S=0.
WRITE(5,5)FILT
5  FORMAT(1H1,10X,'PESOS DO FILTRO ',8A4,'NORMALIZADO'///)
DO 3 J=1,N
DO 3 I=2,N
3  S=S+W(I,J)
S=4.*S+W(1,1)
DO 4 J=1,N
KY=J-1
DO 4 I=1,N
KX=I-1
F(I,J)=(W(I,J)/S)*RW
WRITE(5,6) KX,KY,F(I,J)
6  FORMAT(1X,'W(',I1,',',I1,',')=',F9.5)
4  CONTINUE
WRITE(9,7)((F(I,J),I=1,N),J=1,N)
7  FORMAT(10F8.5)
CALL EXIT
END

```

CALCULO DE UM FILTRO EQUIVALENTE, NO DOMINIO  
DOS ESPACOS (ALGORITMO DE MUFTI)

VALORES DE ENTRADA

NL - DIMENSAO DO FILTRO(NL X NL), ORIGINAL  
NS - DIMENSAO DO FILTRO (NS X NS), EQUIVALENTE  
WL - PESOS DO FILTRO ORIGINAL

VALORES DE SAIDA

WS - PESOS DO FILTRO EQUIVALENTE

```

DIMENSION WL(20,20),WS(20,20),TITL(15)
SL=0.
SS=0.
1 READ(8,1)NL,NS,TITL
  FORMAT(2I4,15A4)
2 READ(8,2)((WL(I,J),I=1,NL),J=1,NL)
  FORMAT(10F8.5)
7 WRITE(5,7)TITL
  FORMAT(1H1,10X,'PESOS DO FILTRO EQUIVALENTE',15A4,///)
  DO 3J=1,NL
  DO 3I=2,NL
3 SL=SL+WL(I,J)
  WRITE(5,5) SL
5 FORMAT(1H1,10X,'WL=',F10.5)
  PAUSE 1111
  SL=4.*SL+WL(1,1)
  DO 4 J=1,NS
  DO 4I=2,NS
4 SS=SS+WL(I,J)
  SS=4.*SS+WL(1,1)
  DO 6 J=1,NS
  KY=J-1
  DO 6 I=1,NS
  KX=I-1
  WS(I,J)=WL(I,J)*SL/SS
6 CONTINUE
  WRITE(9,2)((WS(I,J),J=1,NS),I=1,NS)
  CALL EXIT
  END

```

CALCULO DO CAMPO MAGNETICO PRODUZIDO POR UM  
PRISMA FINITO COM FACES PARALELAS AOS EIXOS  
COORDENADOS

VALORES DE ENTRADA

AO - METADE DA ARESTA DO PRISMA NA DIRECAO  
X (N-S)  
BO - METADE DA ARESTA DO PRISMA NA DIRECAO  
Y(E-W)  
HT - PROFUNDIDADE DO TOPO DO PRISMA  
HB - PROFUNDIDADE DA BASE DO PRISMA  
DEC - DECLINACAO DO VETOR MAGNETIZACAO DO  
PRISMA  
INC - INCLINACAO DO VETOR MAGNETIZACAO DO  
PRISMA  
TDEC - DECLINACAO DO VETOR CAMPO MAGNETICO  
NORMAL  
TINC - INCLINACAO DO VETOR CAMPO MAGNETICO  
NORMAL  
XO - COORDENADA DO CENTRO DO PRISMA AO LONGO  
DE X (N-S) EM RELACAO AO CENTRO DA AREA  
YO - COORDENADA DO CENTRO DO PRISMA AO LONGO  
DE Y (E-W) EM RELACAO AO CENTRO DA AREA

VALORES DE SAIDA

TOT - CAMPO MAGNETICO PRODUZIDO PELO PRISMA

SUBROUTINE PRISM(TOT,AO,BO,HT,HB,DEC,INC,TDEC,TINC,XO,YO)  
REAL INC  
DIMENSION TOT(32,32),GX(2,2,2)  
DIMENSION GY(2,2,2),GZ(2,2,2)  
DO 23 I=1,2  
DO 23 J=1,2  
DO 23 K=1,2  
GX(I,J,K) = 0.  
GY(I,J,K) = 0.  
23 GZ(I,J,K) = 0.  
PI=3.1415927  
DEC=DEC\*PI/180.  
INC=INC\*PI/180.  
P=COS(INC)\*COS(DEC)  
Q=COS(INC)\*SIN(DEC)

```
R=SIN(INC)
TDEC=TDEC*PI/180.
TINC=TINC*PI/180.
PP=COS(TINC)*COS(TDEC)
QQ=COS(TINC)*SIN(TDEC)
RR=SIN(TINC)
DO 50 N=1,32
Y=N-17
DO 100 M=1,32
X=M-17
A1=A0-X+X0
A2=-A0-X+X0
B1=B0-Y+Y0
B2=-B0-Y+Y0
DO 10 IC=1,2
C=HT
IF(IC-2)11,12,11
12 C=HB
IF(HB) 11,10,11
11 DO 10 IA=1,2
A=A1
IF(IA-2) 13,14,13
14 A=A2
13 DO 10 IB=1,2
B=B1
IF(IB-2) 15,16,15
16 B=B2
15 RO=SQRT(A**2+B**2+C**2)
IF(A) 17,18,17
18 A=0.0000001
17 IF(B) 19,20,19
20 B=0.0000001
19 IF(C) 21,22,21
22 C=0.0000001
21 TX1=ATAN(B/A)
UX=C*B
VX=A*RO
TX2=ATAN(UX/VX)
TL=TX1-TX2
TY1=ATAN(A/B)
UY=C*A
VY=B*RO
TY2=ATAN(UY/VY)
TM=TY1-TY2
GAP=ALOG(RO+A)
GAM=ALOG(RO-A)
GBP=ALOG(RO+B)
```

```
GBM=ALOG(RO-B)
GCP=ALOG(RO+C)
GX(IA,IB,IC)=-(P*TL+Q*GCP+R*(GBP-GBM)/2.)
GY(IA,IB,IC)=-(Q*TM+P*GCP+R*(GAP-GAM)/2.)
GZ(IA,IB,IC)=(R*(TL+TM)-P*(GBP-GBM)/2.-Q*
10 1(GAP-GAM)/2.)
CONTINUE
TX=GX(1,1,1)+GX(2,2,1)-GX(1,2,1)-GX(2,1,1)-
1(GX(1,1,2)+GX(2,2,2)-GX(1,2,2)-GX(2,1,2))
TY=GY(1,1,1)+GY(2,2,1)-GY(1,2,1)-GY(2,1,1)-
1(GY(1,1,2)+GY(2,2,2)-GY(1,2,2)-GY(2,1,2))
TZ=GZ(1,1,1)+GZ(2,2,1)-GZ(1,2,1)-GZ(2,1,1)-
1(GZ(1,1,2)+GZ(2,2,2)-GZ(1,2,2)-GZ(2,1,2))
TT=PP*TX+QQ*TY+RR*TZ
100 TOT(M,N)=TT
CONTINUE
50 CONTINUE
RETURN
END
```

REFERÊNCIAS

- .ANDRADE, C.A.C. e CUNHA, F.M.B., 1971 , Revisão geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas: Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia, v. 3, p. 93-112.
- .ARAUJO, J.B., 1970 , Compilação e integração dos dados geofísicos da Bacia Amazônica: Rel. PETROBRÁS int. nº 627-A.
- .ARAUJO, J.B., 1972 , Reavaliação dos dados de refração sísmica na Bacia do Amazonas: PETROBRÁS/RENOR - Relatório interno.
- .ASMUS, H.E. e PORTO, R., 1972, Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, p. 67-90.
- .BÄTH, M., 1974, Spectral analysis in Geophysics: Elsevier Scientific Publishing Company, 563 pp.
- .BHATTACHARYYA, B.K., 1972, Design of spatial filters and their application to high-resolution aeromagnetic data: Geophysics, v.37, nº 1, p. 68-91.
- .BLACK, D.I. e SCOLLAR, I., 1969, Spatial filtering in the wave-vector domain: Geophysics, v.34, nº 6, p.916-923.
- .BRACEWELL, R., 1965, The Fourier transform and its applications: Mc Graw-Hill, 381 pp.
- .CLEMENT, W.G., 1973, Basic principles of two-dimensional digital filtering: Geophysical Prospecting, v.21, nº1, p.125-145.

- .COOLEY, J.W. e TUKEY, J.W., 1965, An algorithm for machine calculation of complex Fourier series: Math.Comput., v.19, p.297-301.
- .CUNHA, F.M.B.; CARNEIRO, R.C. e CAPUTO, M.V., 1971, Estudo Geomorfológico preliminar da Bacia do Médio Amazonas: Rel. PETROBRÁS, int. n° 634.
- .CURTIS, C.E. e JAIN, S., 1975, Determination of volcanic thickness and underlying structures from aeromagnetic maps in the Silet area of Algeria: Geophysics, v.40, n°1, p.79-90.
- .DARBY, E.K. e DAVIES, E.B., 1967, The analysis and design of two-dimensional filters for two-dimensional data: Geophysical Prospecting, v.15, n° 3, p.383-406.
- .DEAN, W.C., 1958, Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation. Geophysics, v.23, n° 1, p.97-127.
- .ELKINS, T.A., 1951, The second derivative method of gravity interpretation: Geophysics, v.16, n° 1, p. 29-50.
- .FRASER, D.C.; FULLER, B.D. e WARD, S.H., 1966, Some numerical techniques for application in mining exploration: Geophysics, v.31, n° 6, p. 1066-1077.
- .FULLER, B.D., 1967, Two-dimensional frequency analysis and design of grid operators: Mining Geophysics, Soc.Explor. Geophys., v.2, p.658-708.
- .GAY, S.P., Jr., 1971, Morphological study of geophysical maps by viewing in three dimensions: Geophysics, v.36, n° 2, p. 396-414.

- .GAY, S.P., Jr., 1972, Fundamental characteristics of aeromagnetic lineaments; their geological significance, and their significance to geology: American Stereo Map Company, Salt Lake City, 94pp.
- .GRANT, F.S., 1972, Review of data processing and interpretation methods in gravity and magnetics, 1964-71: Geophysics, v.37, n° 4, p. 647-661.
- .GUNN, P.J., 1972, Application of Wiener filters to transformations of gravity and magnetic fields: Geophysical Prospecting, v. 20, n° 4, p. 860-871.
- .HENDERSON, R.G. e ZIETZ, I., 1949, The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields: Geophysics, v.14, n° 4, p.508-516.
- .HENDERSON, R.G., 1960, A comprehensive system of automatic computation in magnetic and gravity interpretation: Geophysics, v.25, n° 3, p.569-585.
- .KU, C.C., TELFORD, W.M. e LIM, S.H., 1971, The use of linear filtering in gravity problems : Geophysics, v.36, n°6, p.1174-1203.
- .LAVIN, P.M. e DEVANE, J.F., 1970, Direct design of two-dimensional digital wavenumber filters: Geophysics, v.35, n° 6, p.1073 - 1078.
- .LINSER, H., 1973, Um discurso sobre intrusões de diabásio, ilustrado por um modelo simplificado: Bol. Tec. PETROBRÁS, v. 16, n° 4, p.201-219.

- .LOCZY, L. de, 1974, Possibilidades de petróleo e mineralização na Amazônia: Mineração e Metalurgia, nº 354, p. 6-13.
- .Mc GINNIS, L.D., 1970, Tectonics and the gravity field in the continental interior: Jour. Geophysical Res., v.75, nº 2, p. 317-331.
- .MESKÓ, C.A., 1966, Two-dimensional filtering and the second-derivative method: Geophysics, v.31, nº 3, p.606-617.
- .MUFTI, I.R., 1972, Design of small operators for the continuation of potential field data: Geophysics, v.37, nº 3, p.488-506.
- .NAIDU, P., 1968, Spectrum of the potential field due to randomly distributed sources: Geophysics, v.33, nº 2, p.337-345.
- .NAIDU, P.S., 1970, Fourier transform of large scale aeromagnetic field using a modified version of Fast Fourier Transform : Pure Appl. Geophys., v.81, p.17-25.
- .PETERS, L.J., 1949, The direct approach to magnetic interpretation and its practical application: Geophysics, v.14, nº 3, p. 290-320.
- .PORTO, R., 1972, Um modelo para a origem da Bacia do Médio e Baixo Amazonas: Rel. PETROBRÁS.
- .REZENDE, W.M. e BRITO, C.G., 1973, Avaliação geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, v.3, p.227-245.
- .ROBINSON, J.E., CHARLESWORTH, H.A.K. e ELLIS, M.J., 1969, Structural analysis using spatial filtering in interior plains of South-Central Alberta: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v.53, nº 11, p.2341-2367.

- .ROBINSON, J.E., e MERRIAN, D.F., 1972, Enhancement of patterns in geologic data by spatial filtering: Journal of Geology , v. 80, n° 3, p. 333-345.
- .ROSEBANCH, O., 1953, A contribution to the computation of the "second derivative", from gravity data: Geophysics, v. 18 , n° 4, p. 894-907.
- .SPECTOR, A. e GRANT, F.S., 1970, Statistical models of interpreting aeromagnetic data: Geophysics, v. 35, n° 2, p. 293-302.
- .SYBERG, F.J.R., 1972, A Fourier method for the regional-residual problem of potential fields: Geophysical Prospecting, v. 20 , n° 1, p. 47-75.
- .ZURFLUEH, E.G., 1967, Application of two-dimensional linear wavelengt filtering: Geophysics, v.32, n° 6, p. 1015-1035.

FIGURAS

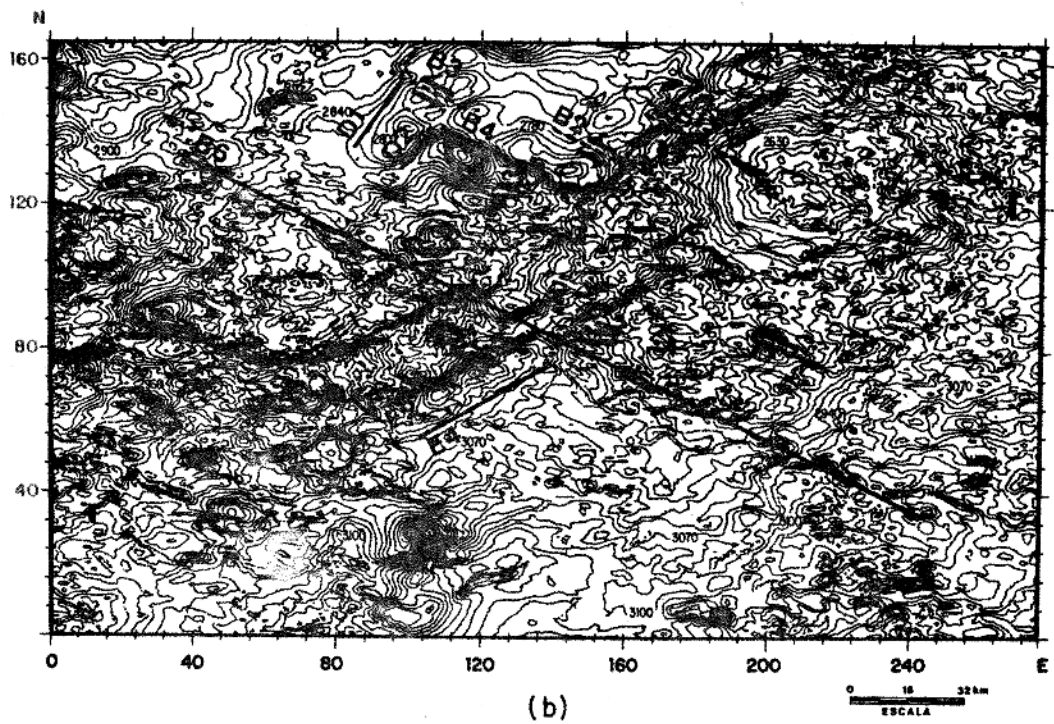
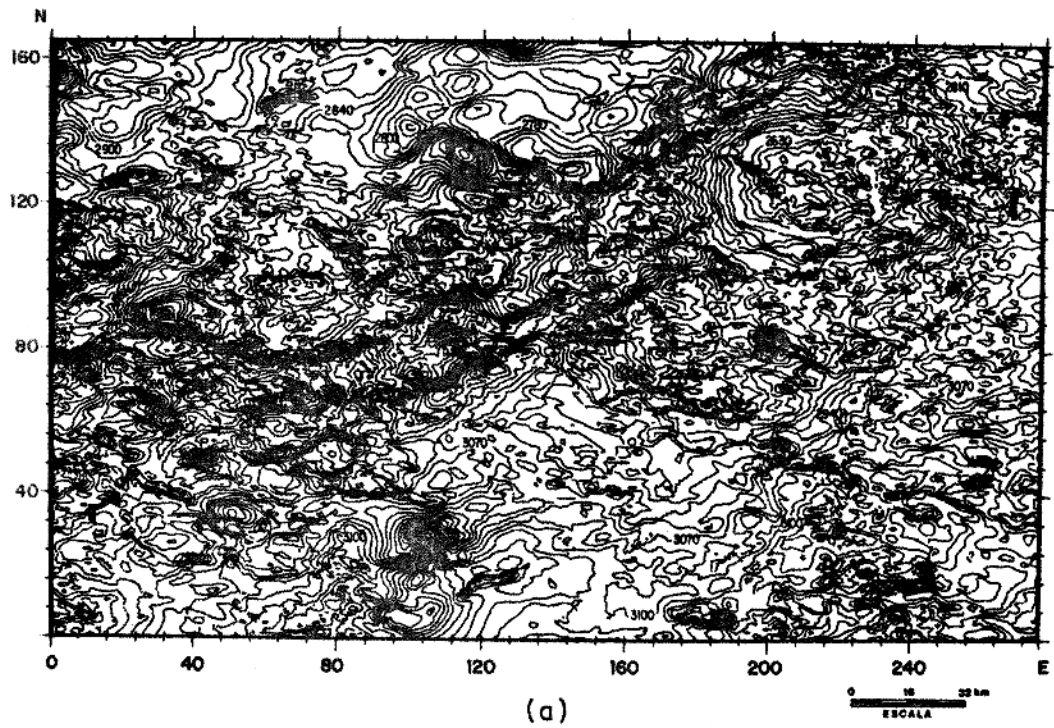


FIG. A2.1 - (a) Campo magnético total. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

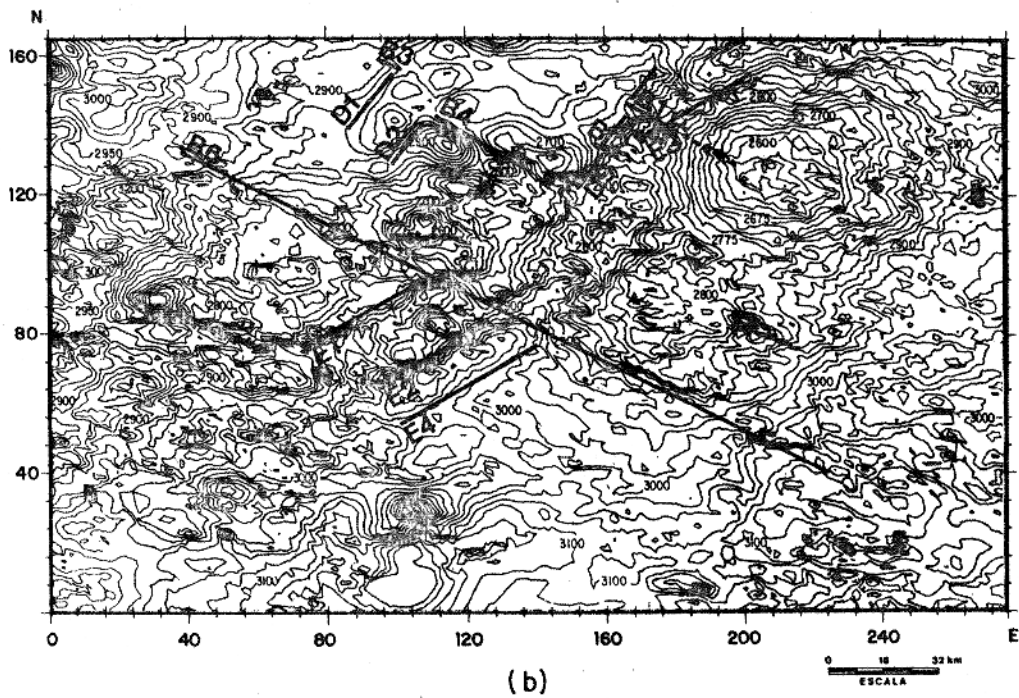
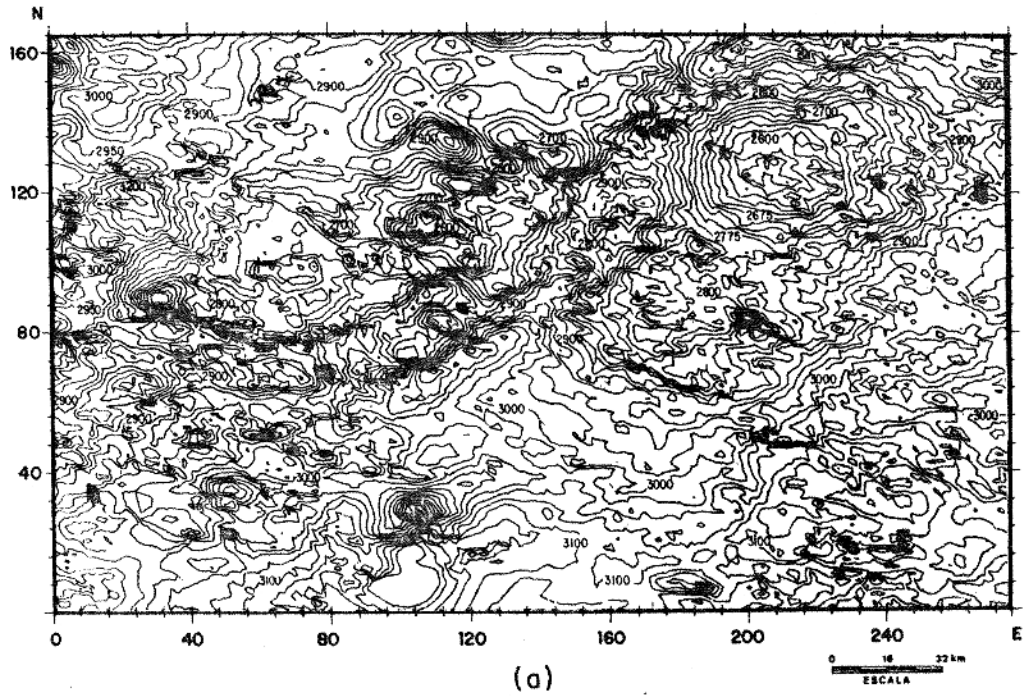


FIG. A2.2 - (a) Campo magnético total amostrado a cada 2 valores nas direções N-S e E-W. Intervalo de contorno 25 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

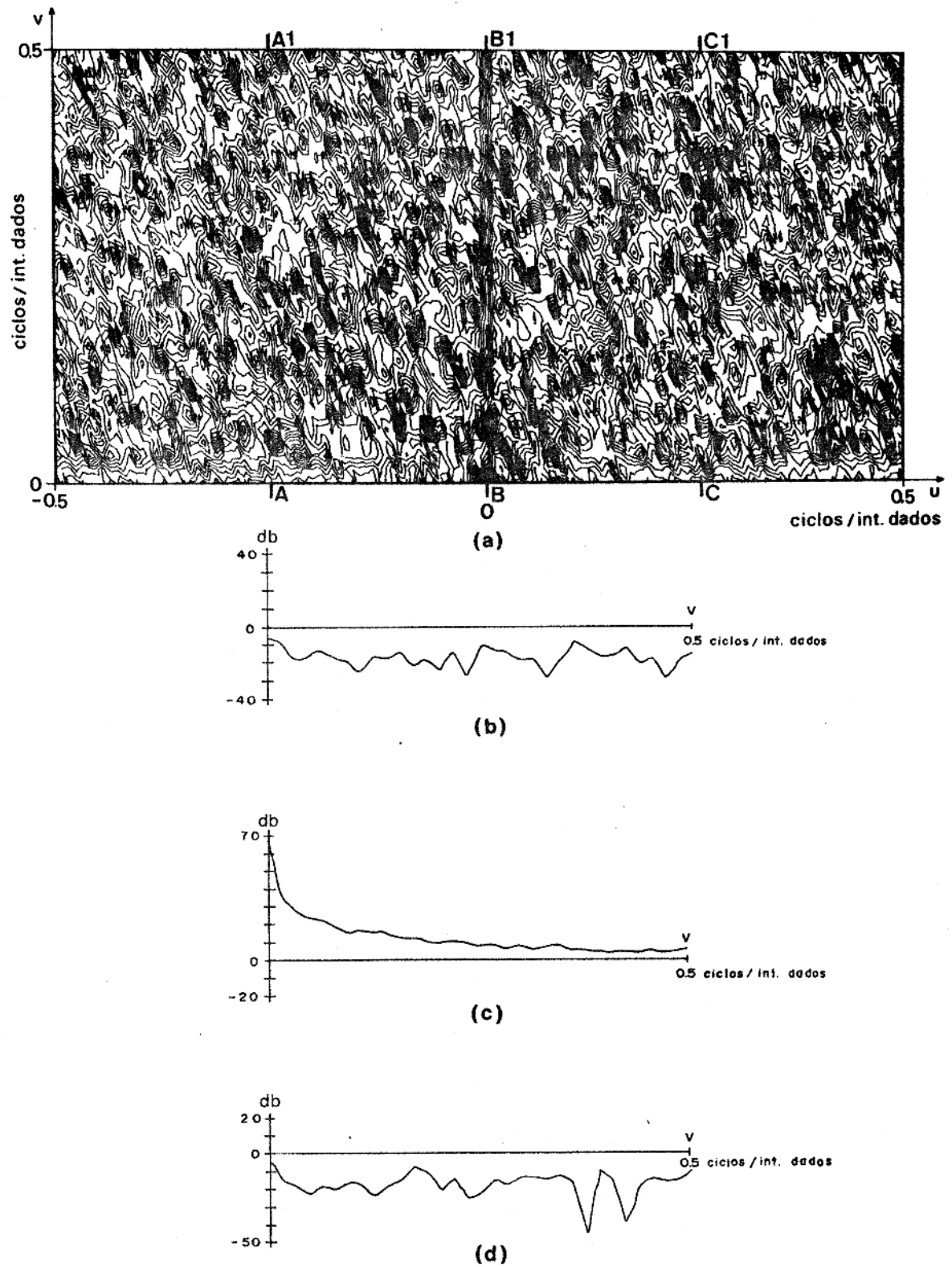
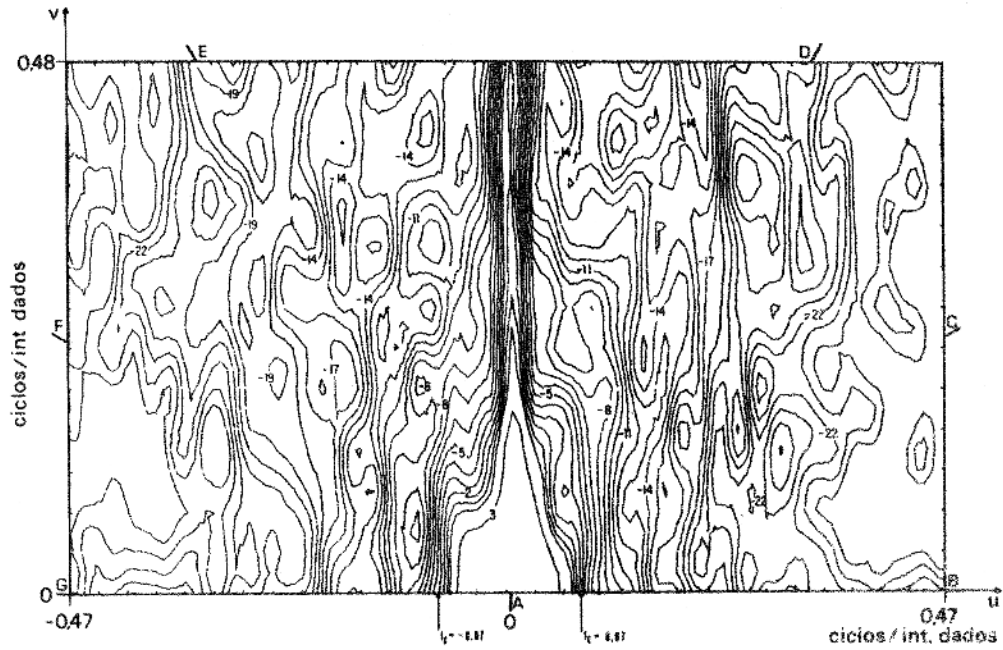
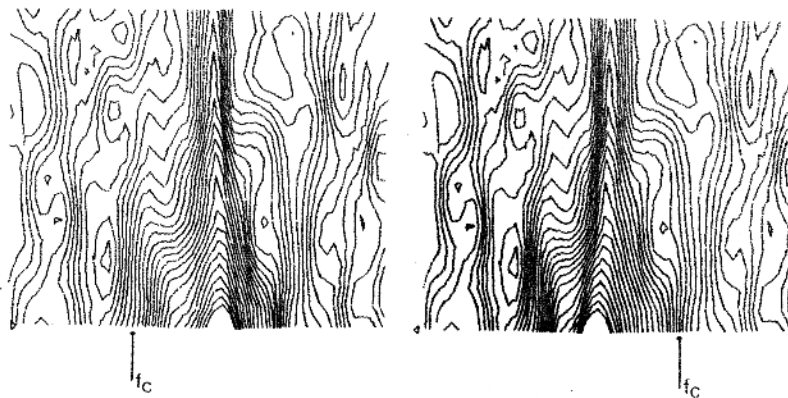


FIG. A2.3 - (a) Espectro de amplitude bidimensional dos dados aeromagnéticos. Intervalo de contorno 3 decibéis. (b) Perfil AA1 do espectro. (c) Perfil BB1 do espectro. (d) Perfil CC1 do espectro.



(a)



(b)

FIG. A2.4 - (a) Espectro de amplitude bidimensional dos dados aeromagnéticos, suavizado através de convolução com filtro de banda baixa. Intervalo de contorno 3 decibéis. (b) Par estereoscópico do espectro suavizado. Intervalo de contorno 1 decibel. Frequência de corte em 0,07 ciclos/int. dados.

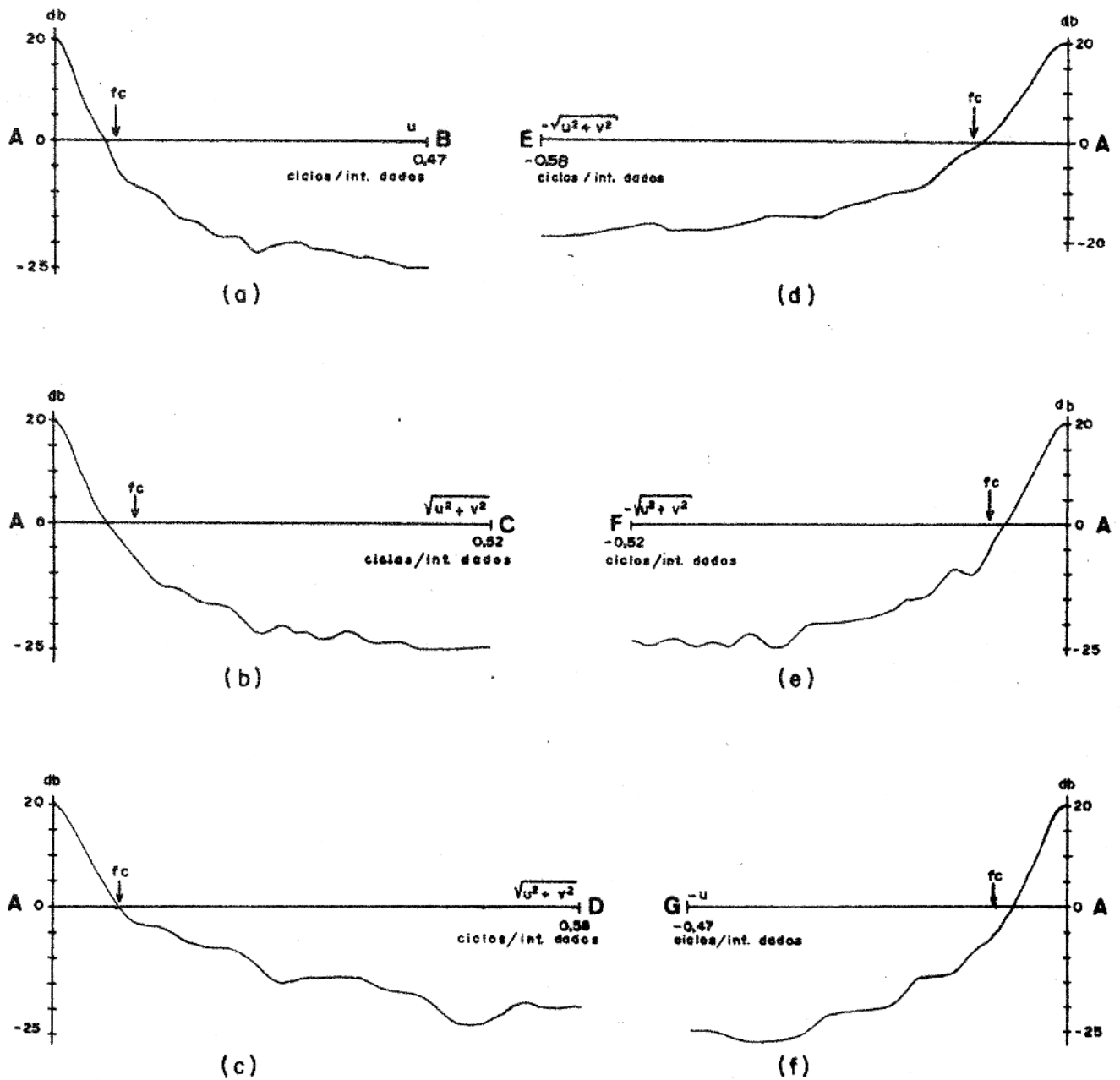


FIG. A2.5 - Perfis do espectro suavizado da fig. A2.4. Frequência de corte em 0,07 ciclos/int. dados. (a) Perfil AB. (b) Perfil AC. (c) Perfil AD. (d) Perfil AE. (e) Perfil AF. (f) Perfil AG.

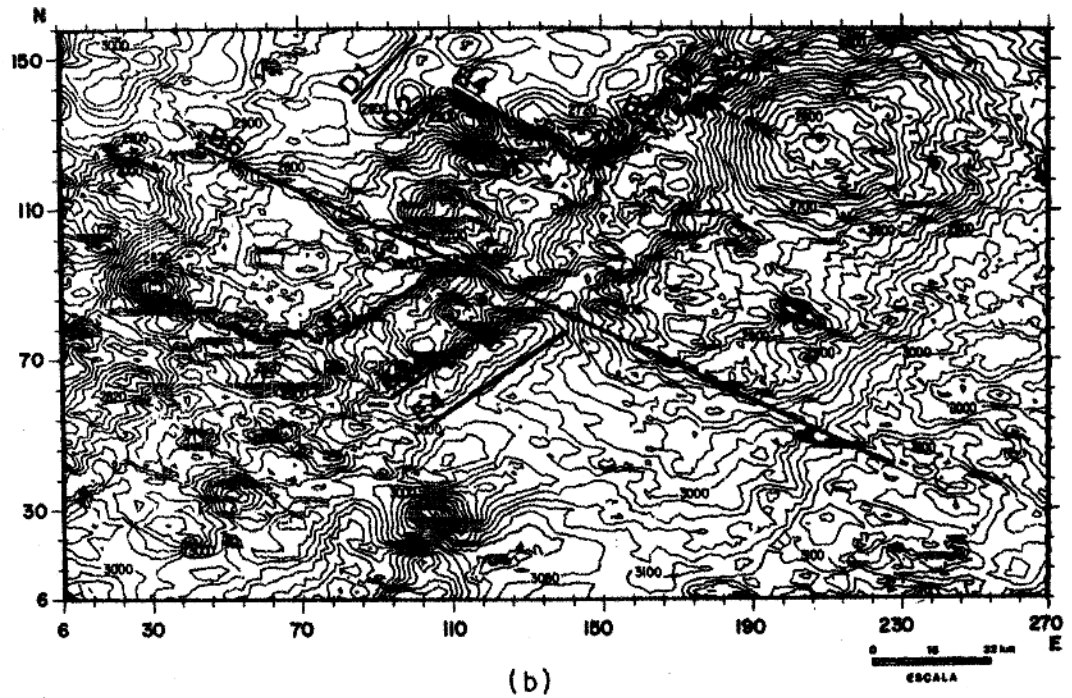
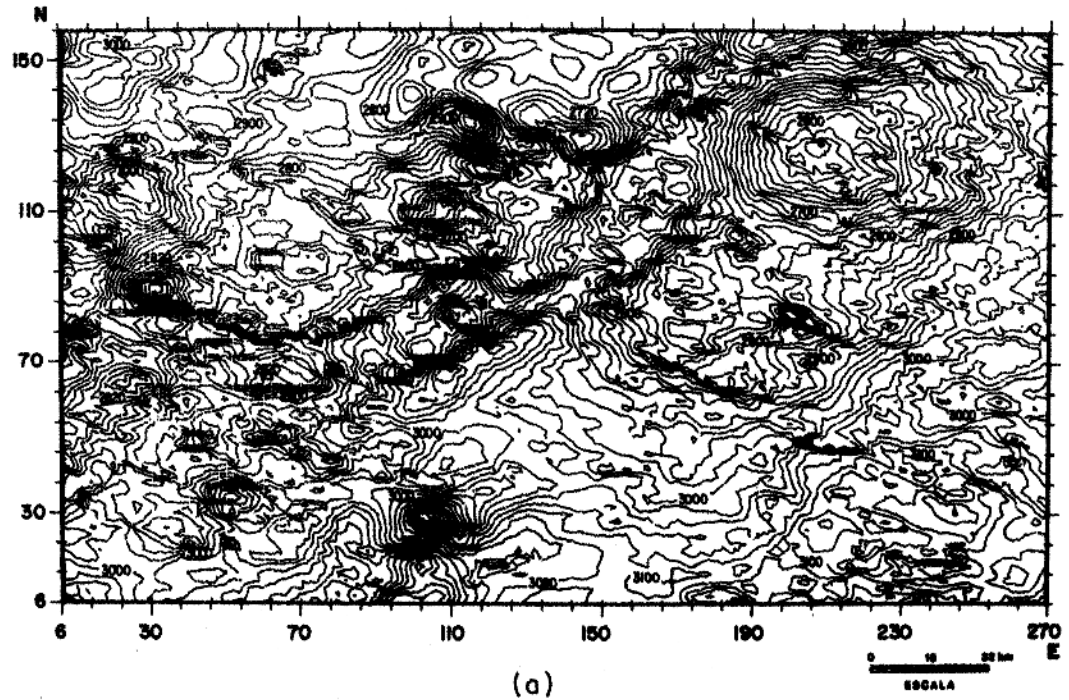


FIG. A2.6 - (a) Campo magnético continuado para cima  $h=0,5$ . Intervalo de contorno 20 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

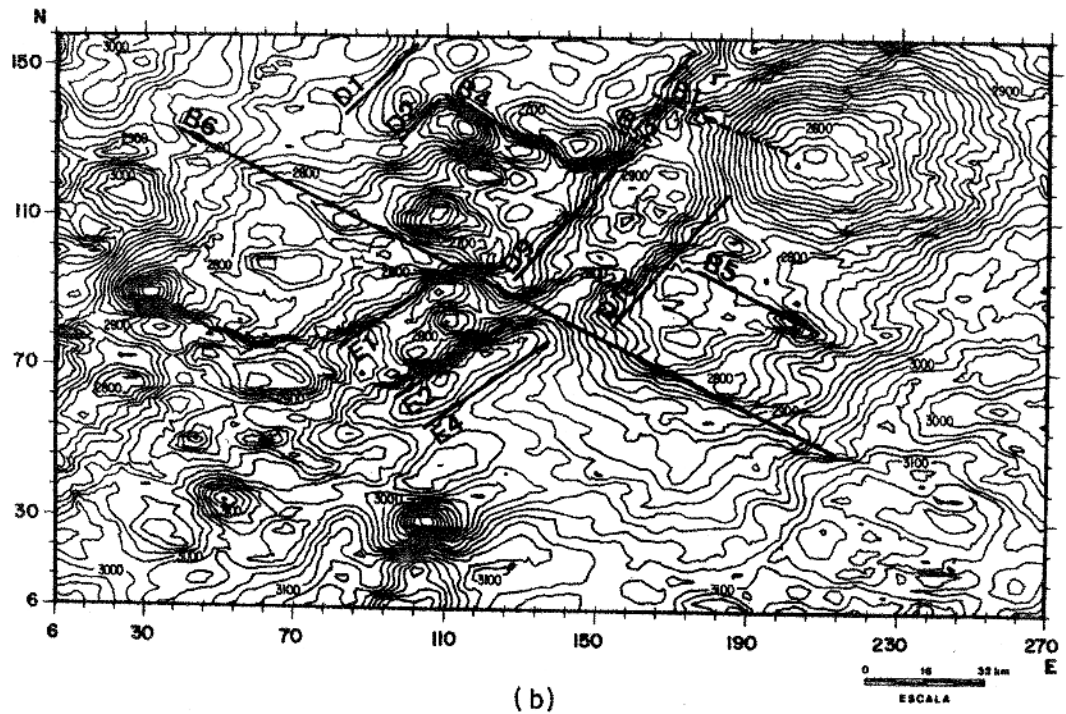
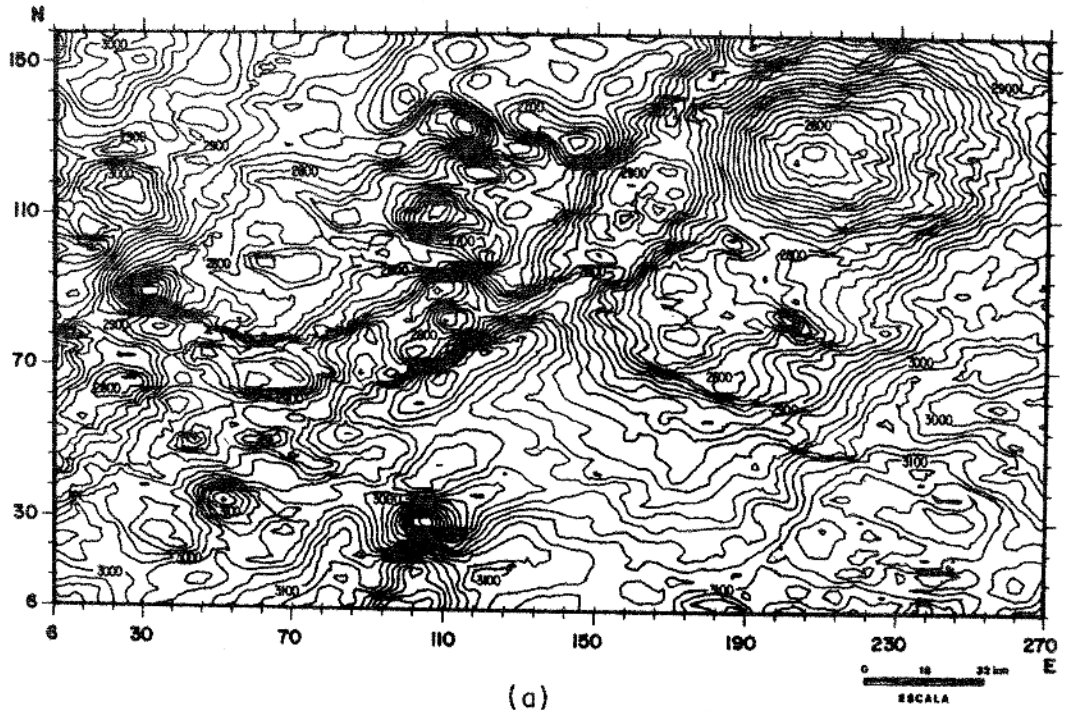
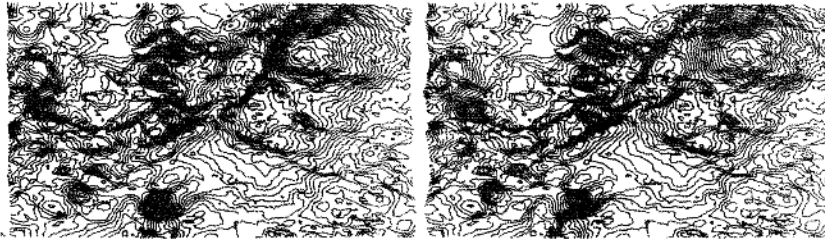
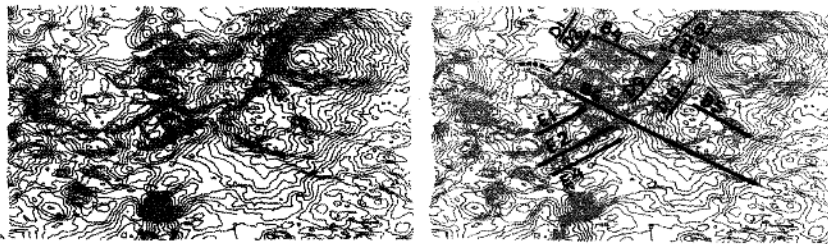


FIG. A2.7 - (a) Campo magnético continuado para cima  $h=1,0$ . Intervalo de contorno 20 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.



(a)



(b)

0 100 km

ESCALA

FIG. A2.8 - (a) Par estereoscópico do campo magnético continuado para cima  $h=1,0$ . Intervalo de contorno 20 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

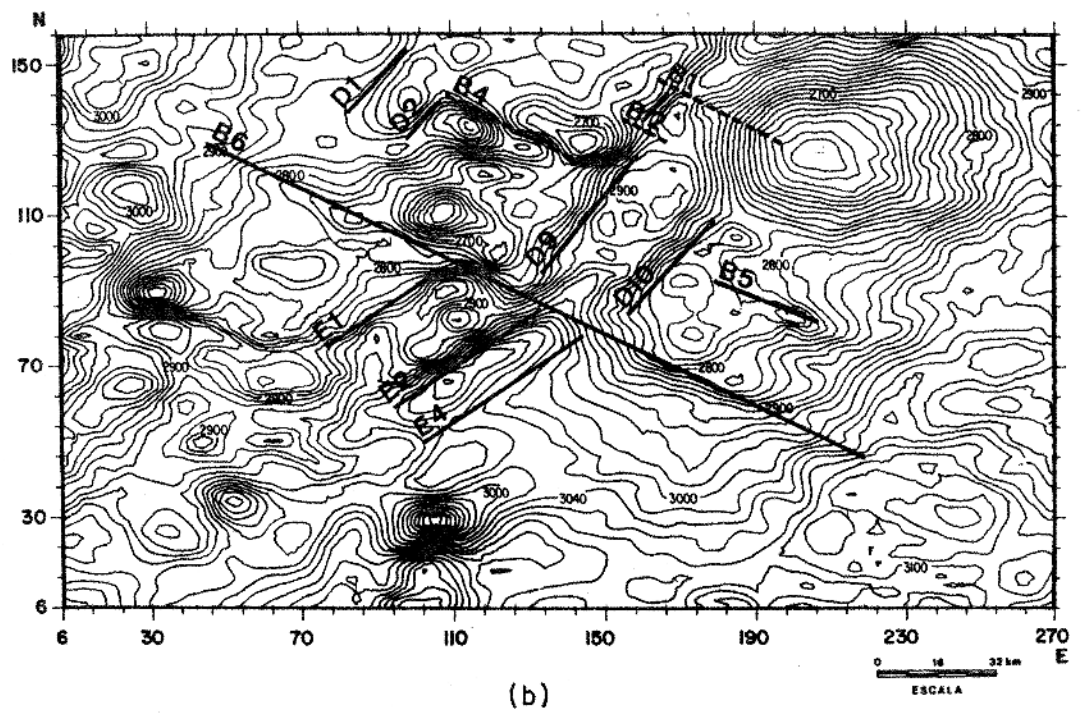
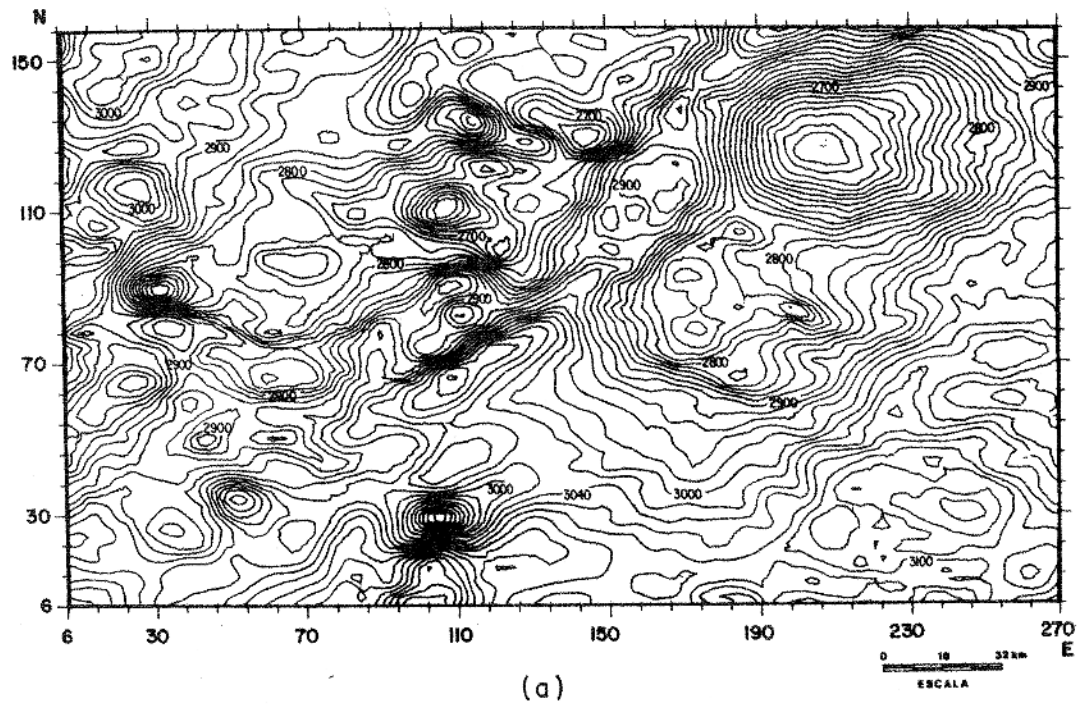


FIG. A2.9 - (a) Campo magnético continuado para cima  $h=2,0$ . Intervalo de contorno 20 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.



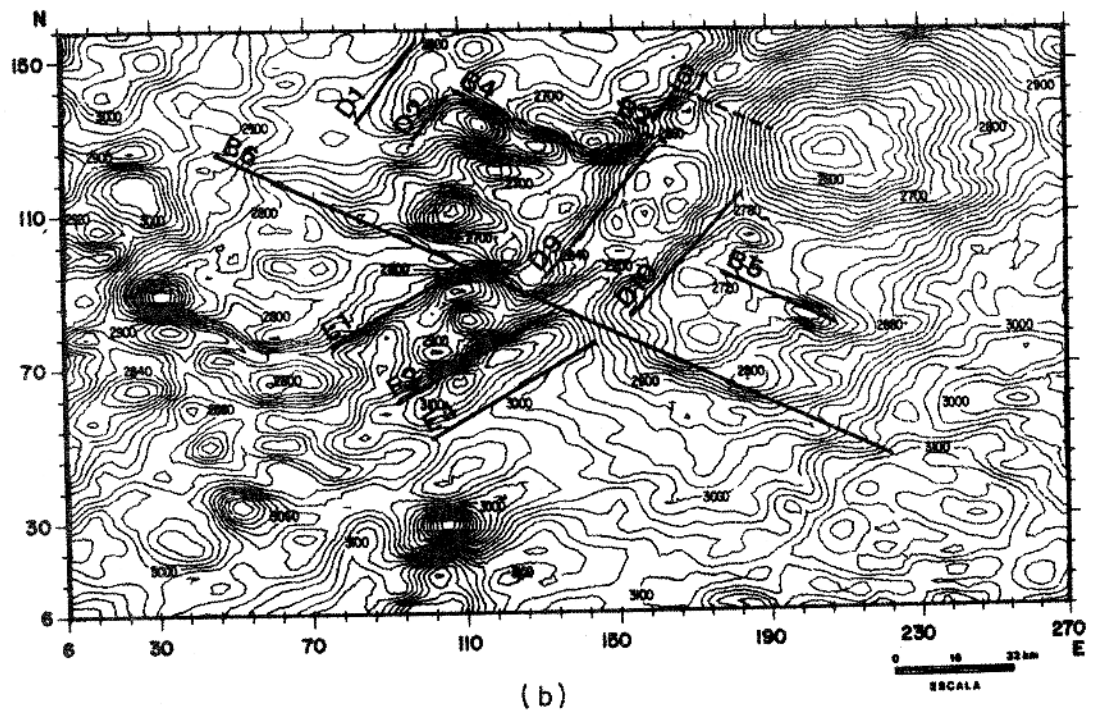
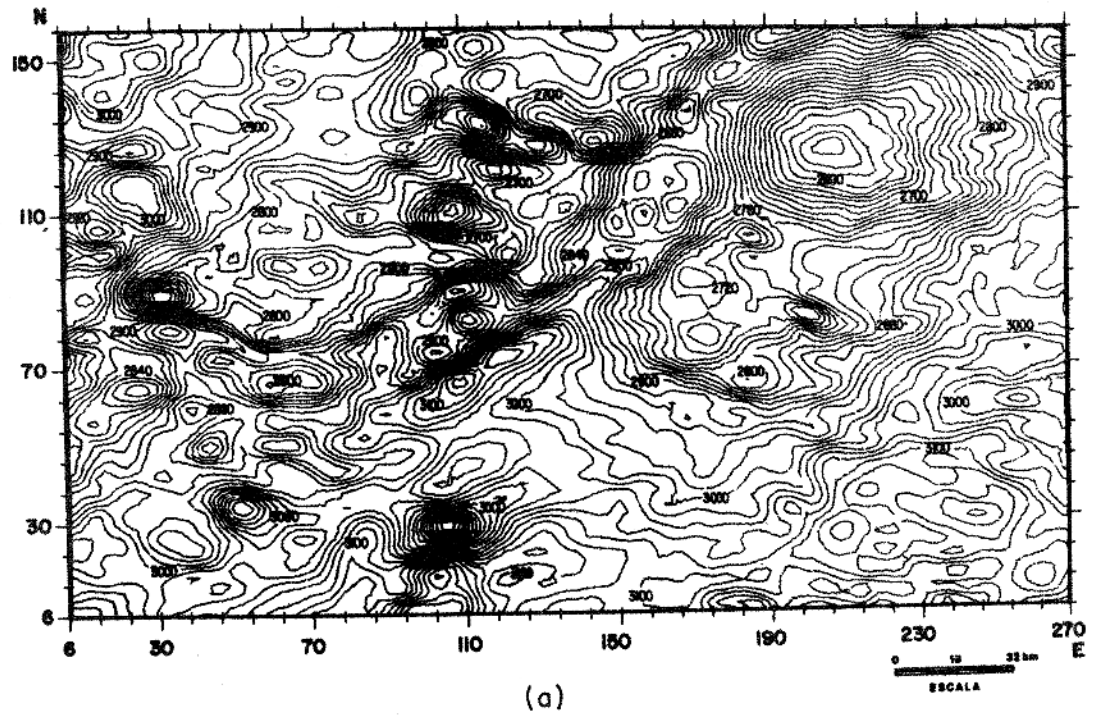


FIG. A2.11 - (a) Campo magnético regional com frequência de corte 0,125 ciclos/int. dados. Intervalo de contorno 20 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

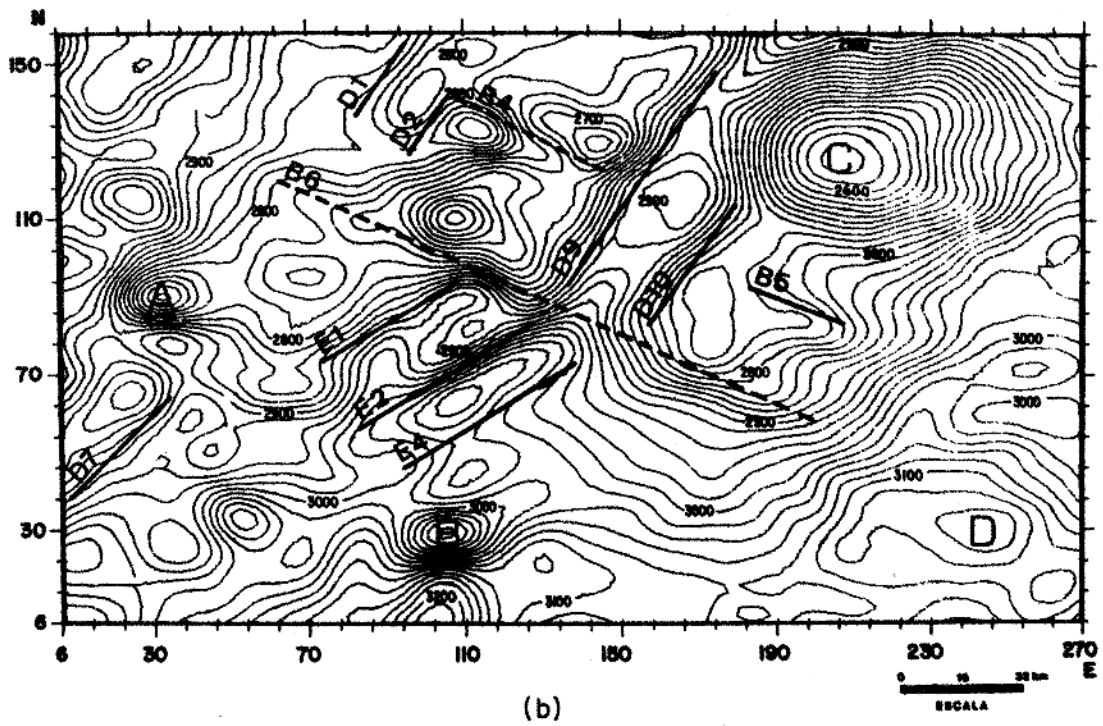
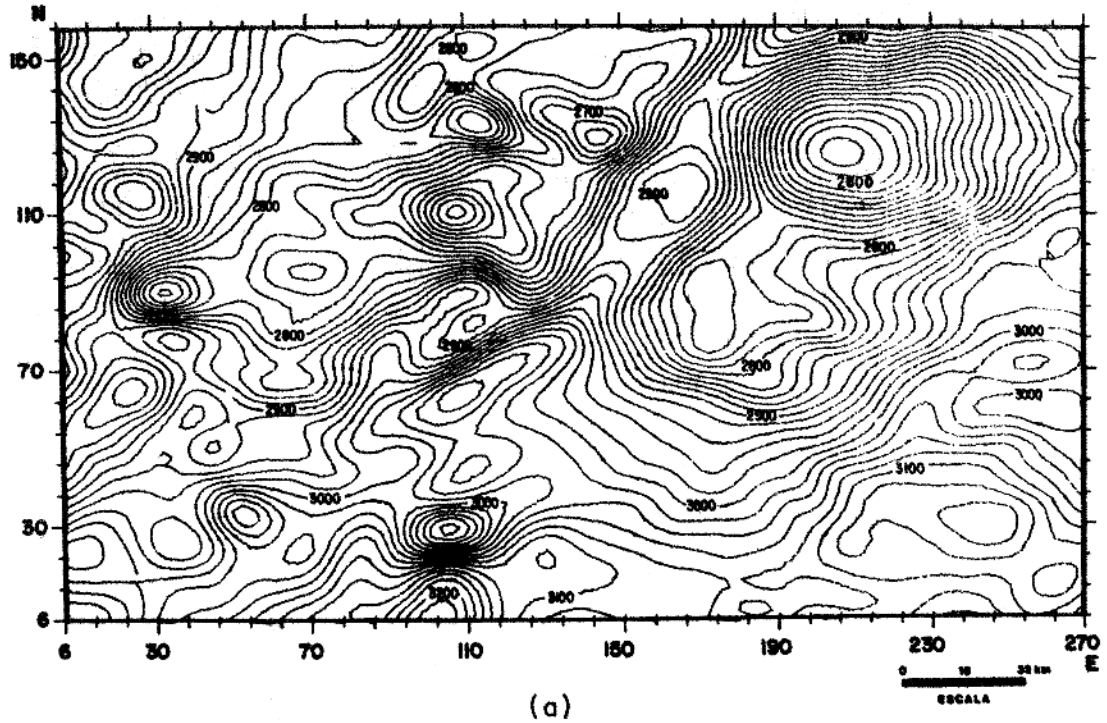


FIG. A2.12 - (a) Campo magnético regional com frequência de corte 0,07 ciclos/int. dados. Intervalo de contorno 20 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

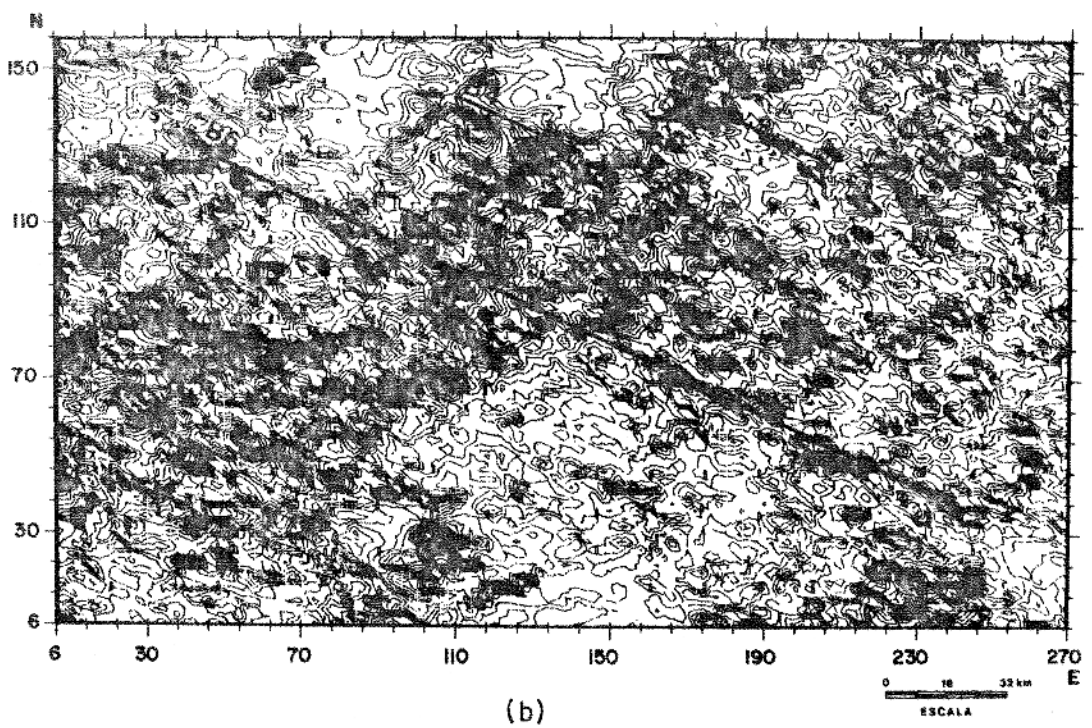
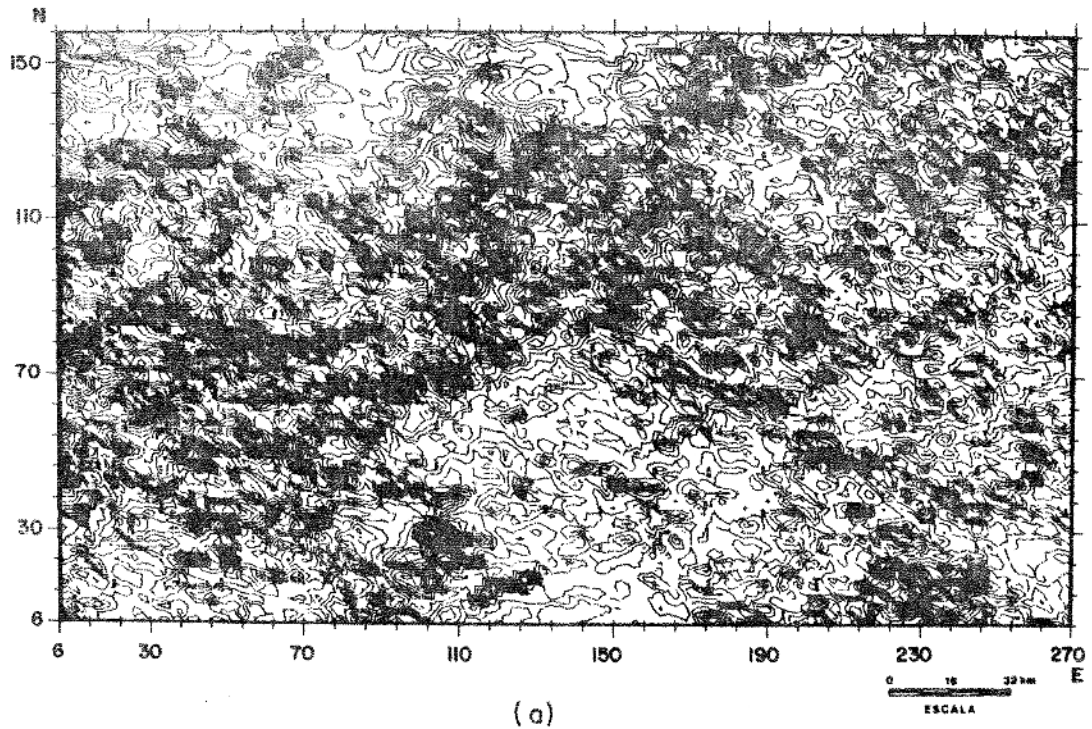


FIG. A2.13 - (a) Campo magnético residual com frequência de corte 0,07 ciclos/int.dados. Intervalo de contorno 5 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

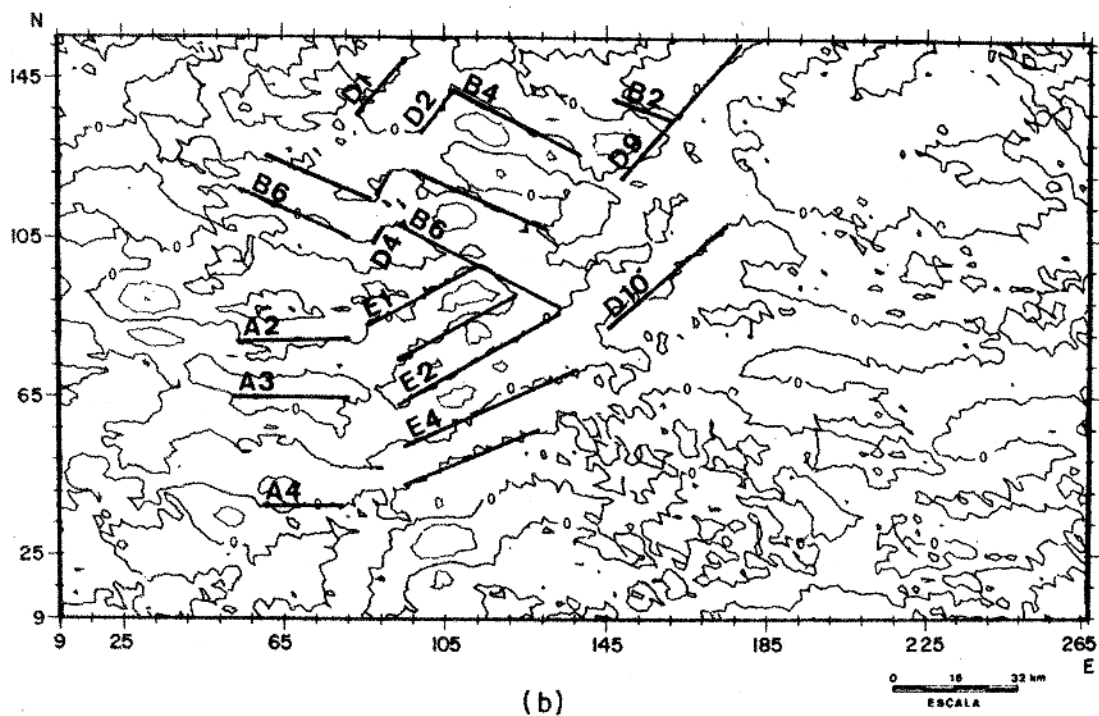
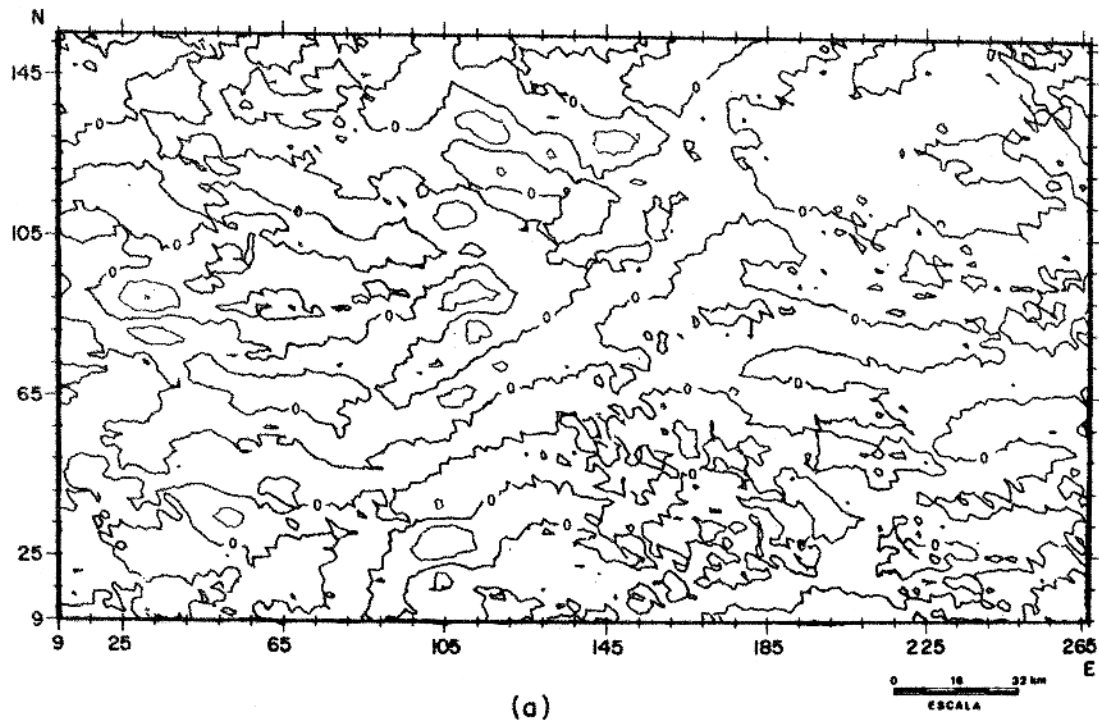


FIG. A2.14 - (a) Mapa de derivada segunda do campo magnético. Intervalo de contorno 5 gammas/km<sup>2</sup>. (b) O mesmo mapa mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

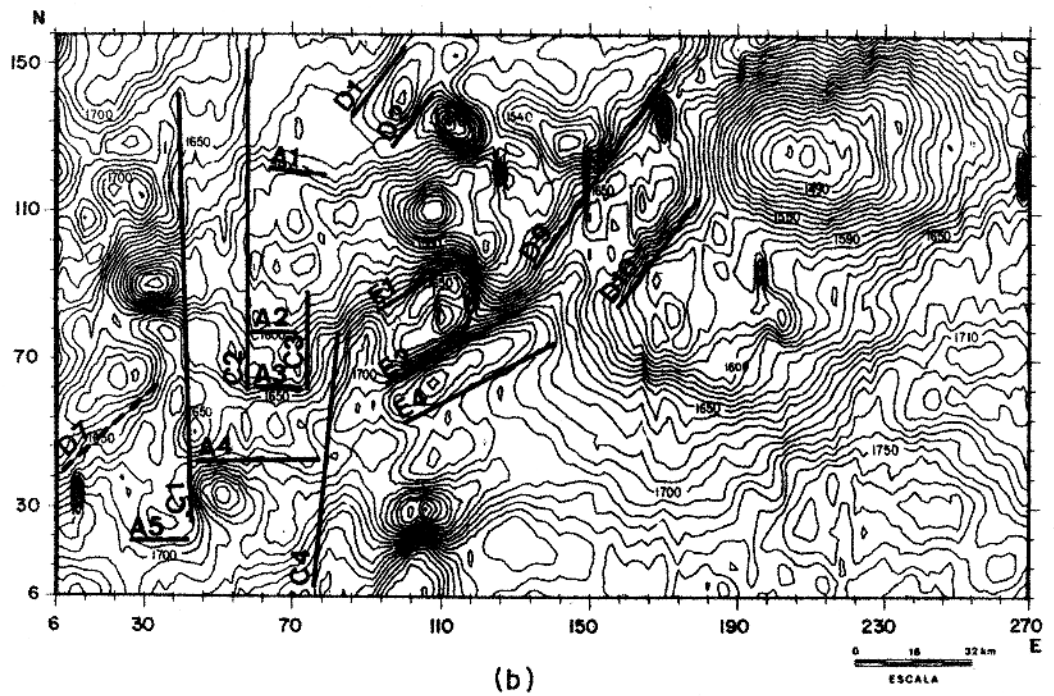
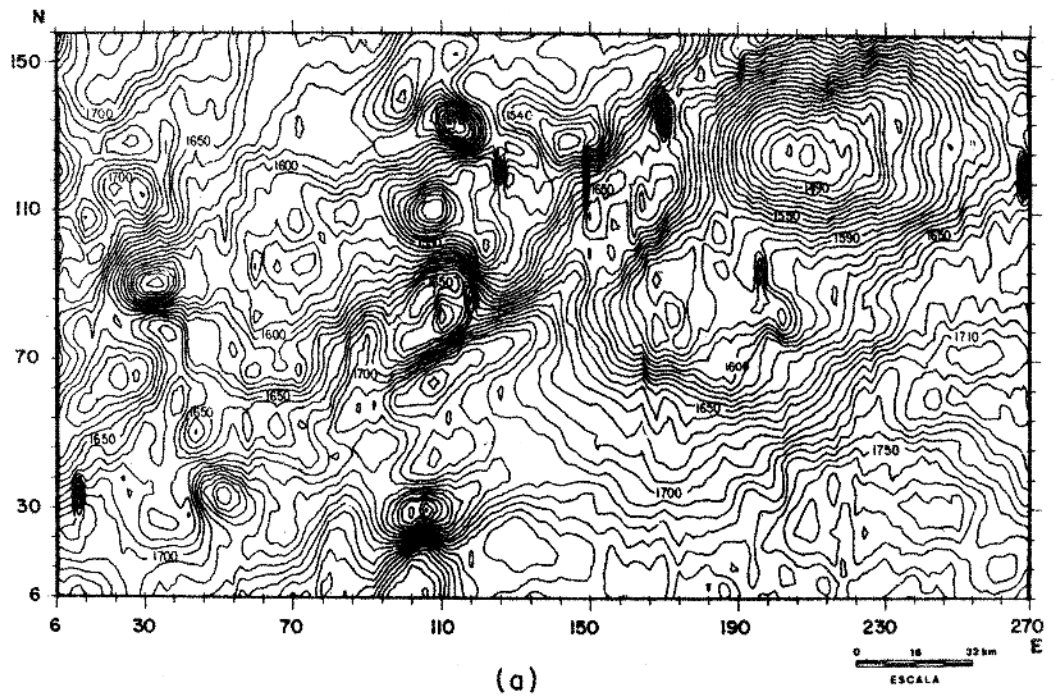
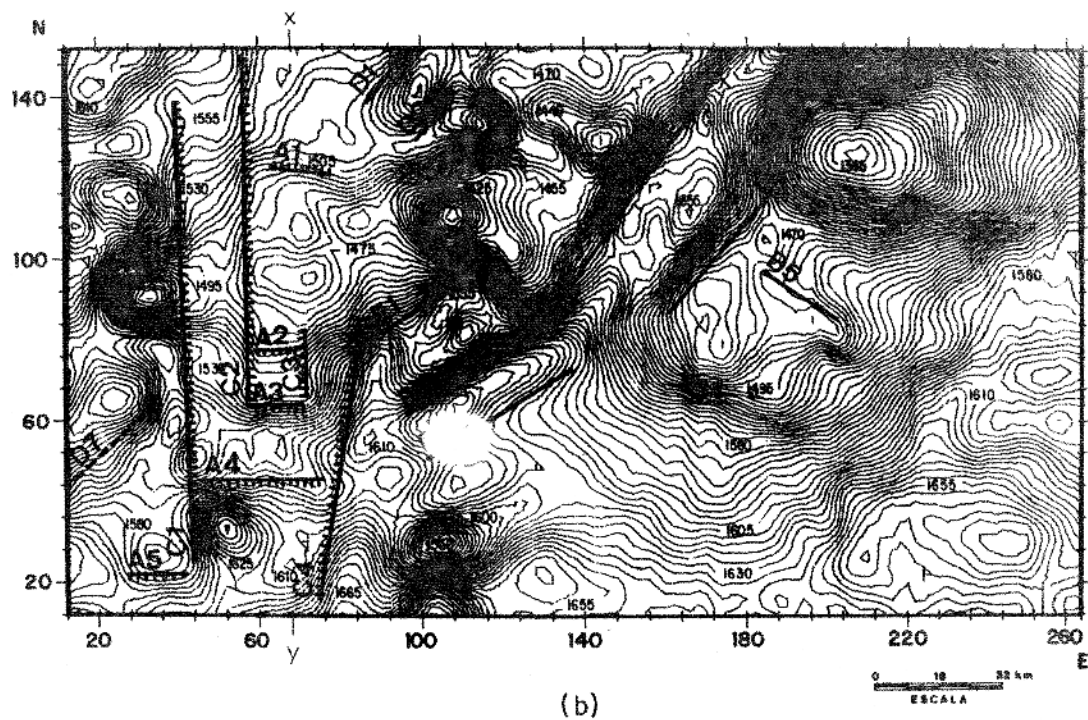
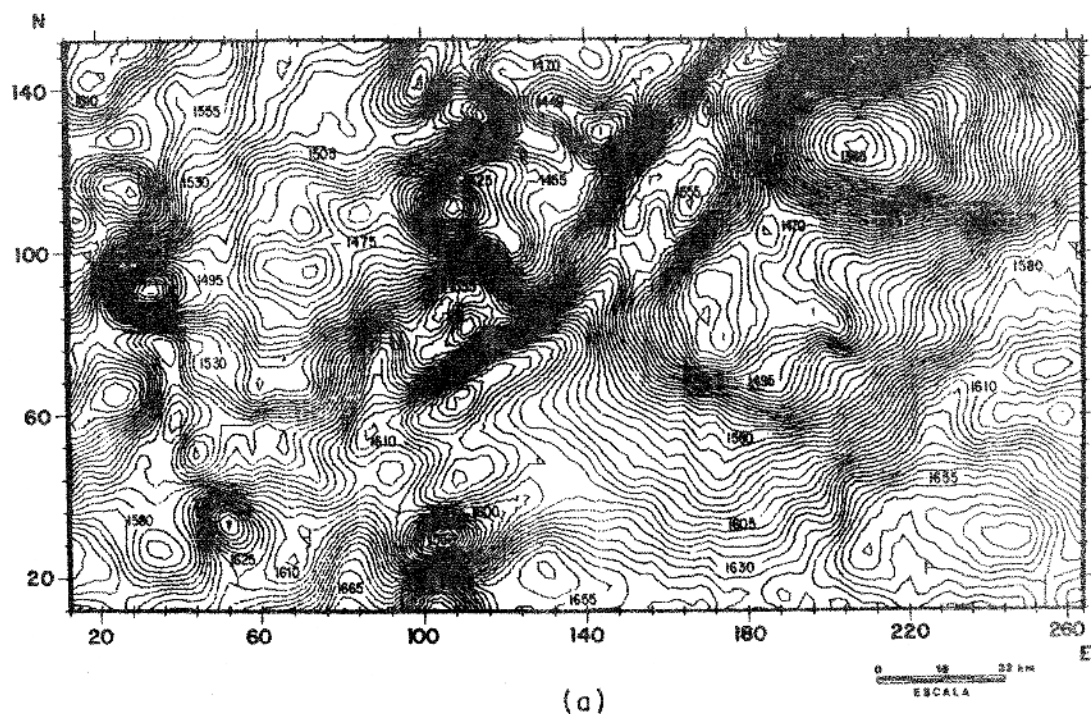
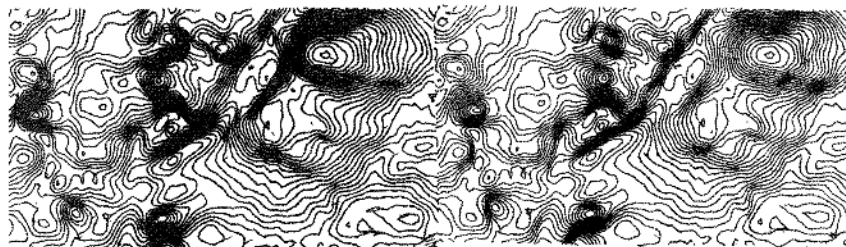


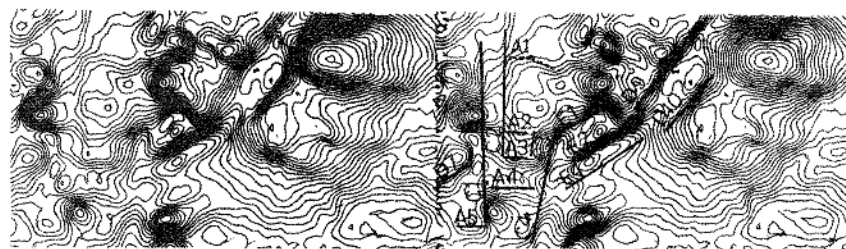
FIG. A2.15 - (a) Campo magnético filtrado direcionalmente. Conserva feições com direção N-S. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo mapa mostrando os lineamentos aeromagnéticos.



FIS. A2.16 - (a) Campo magnético continuado para cima  $h=2,0$  e filtrado direcionalmente. Conserva feições com direção N-S. Intervalo de contorno 5 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.



(a)



(b)

0 100 km  
ESCALA

FIG. A2.17 - (a) Par estereoscópico do campo magnético continuado para cima  $h=2,0$  e filtrado direcionalmente. Conserva feições com direção N-S. Intervalo de contorno 10 gamas .  
(b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

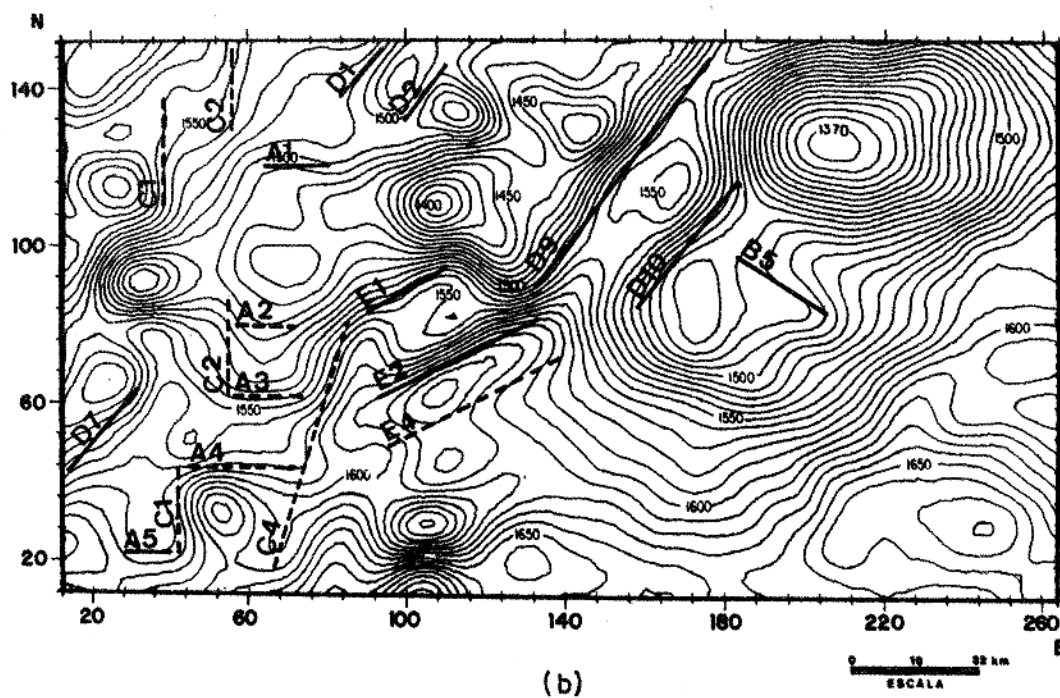
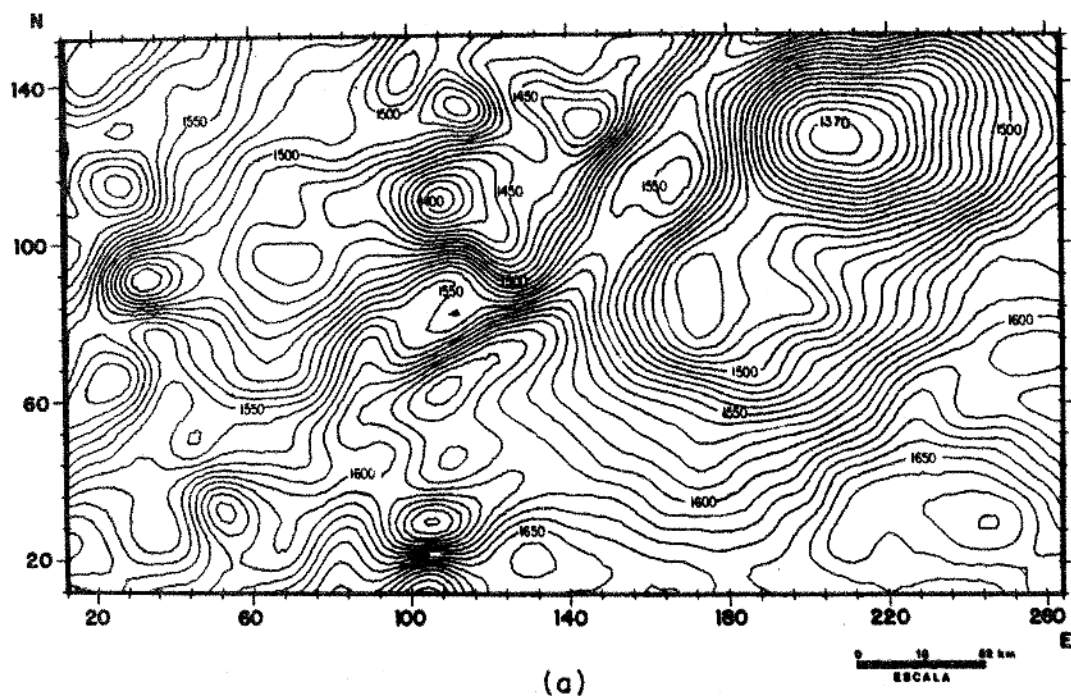


FIG. A2.18 - (a) Campo magnético regional filtrado direcionalmente. Frequência de corte em 0,07 ciclos/int.dados. Conserva feições com direção N-S. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

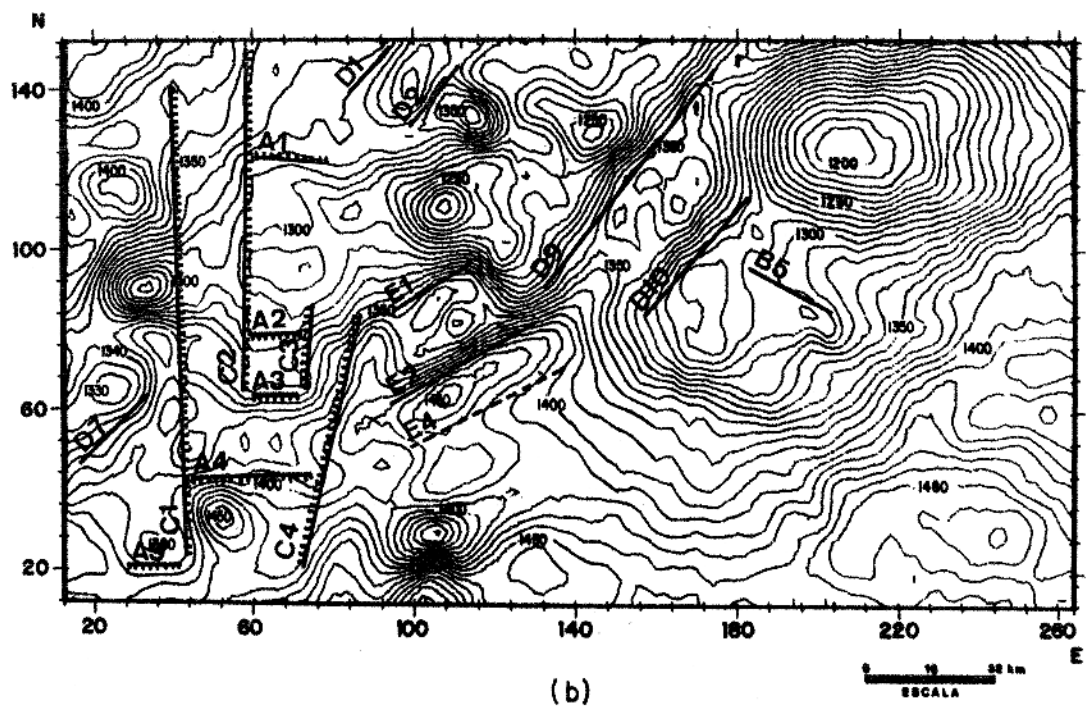
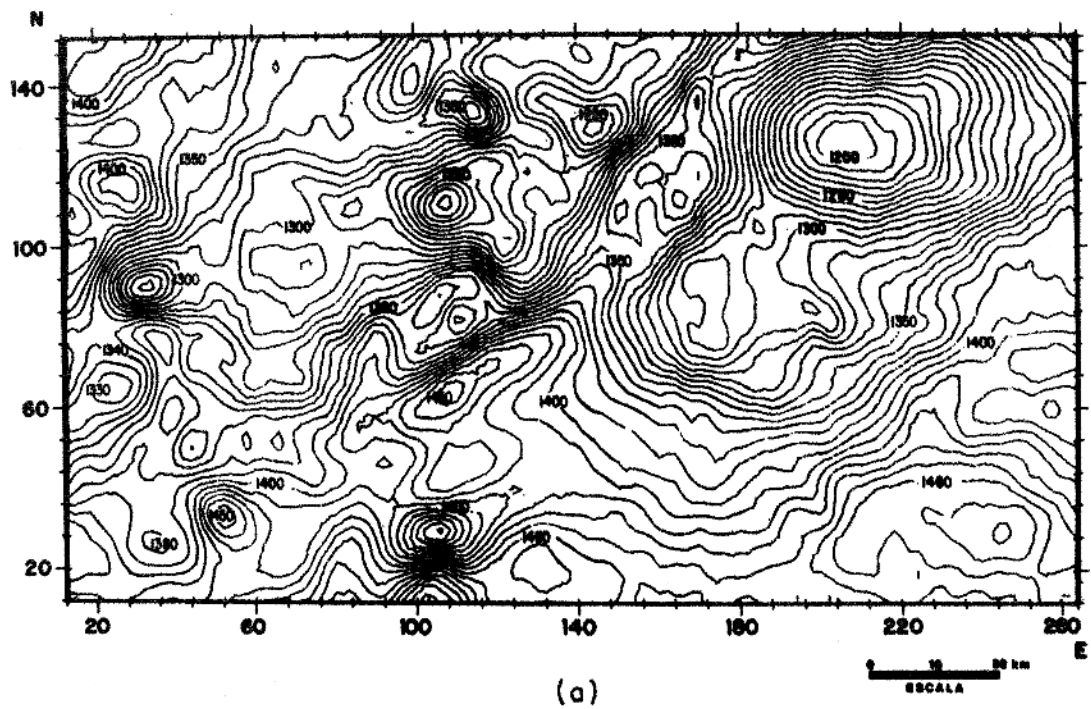


FIG. A2.19 - (a) Campo magnético continuado para cima  $h=2,0$  e filtrado direcionalmente. Conserva feições com direções entre  $NW45^\circ$  e  $NE45^\circ$ . Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

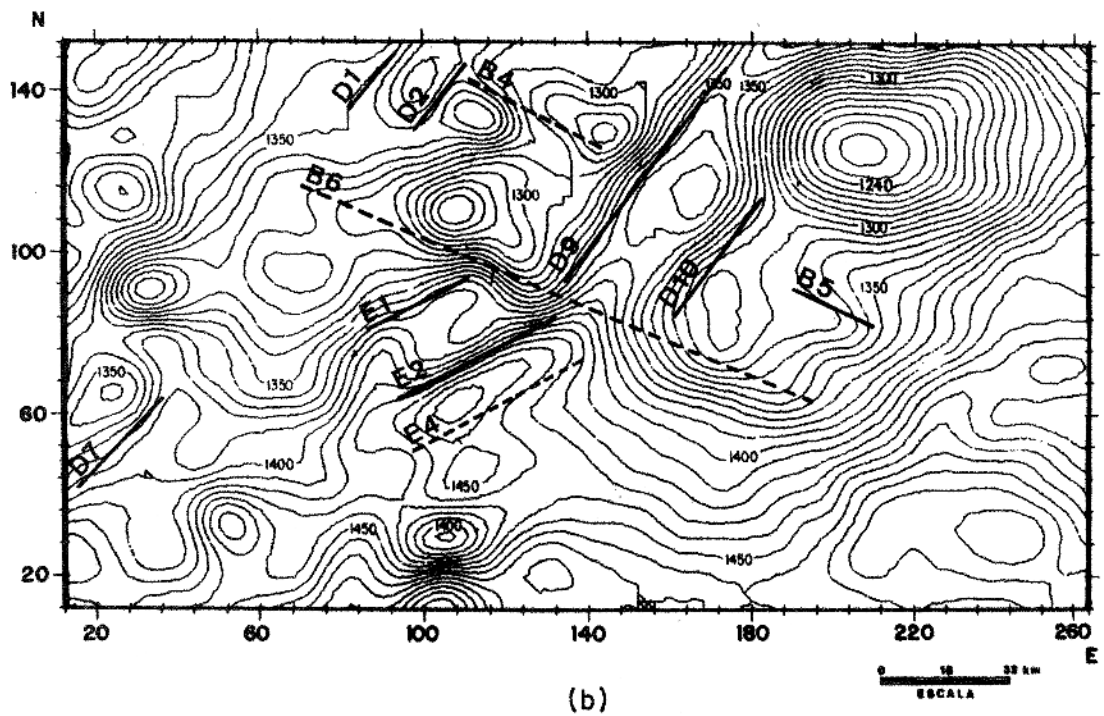
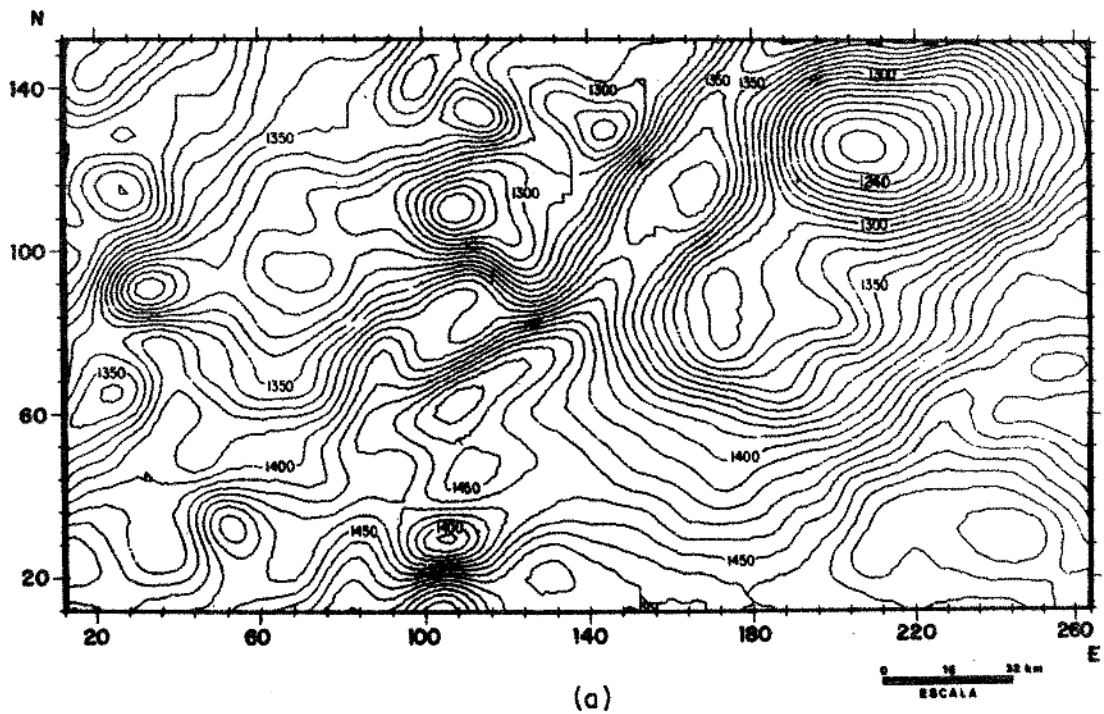


FIG. A2.20 - (a) Campo magnético regional filtrado direcionalmente. Frequência de corte em 0,07 ciclos/int.dados. Conserva feições com direções entre NW45° e NE45°. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

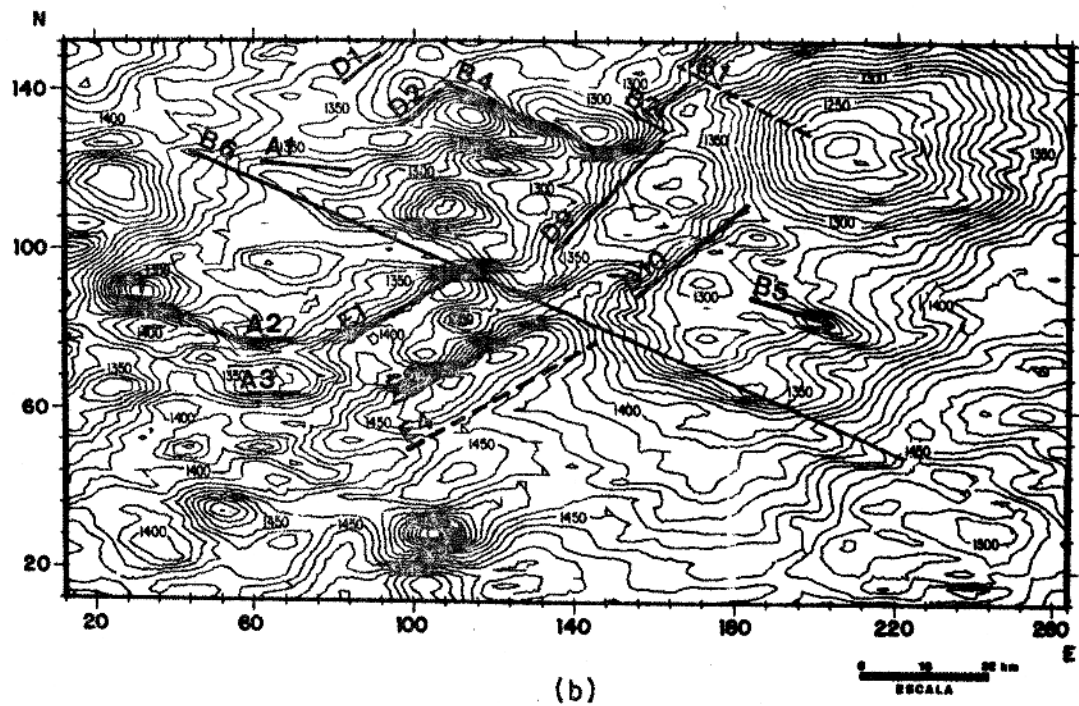
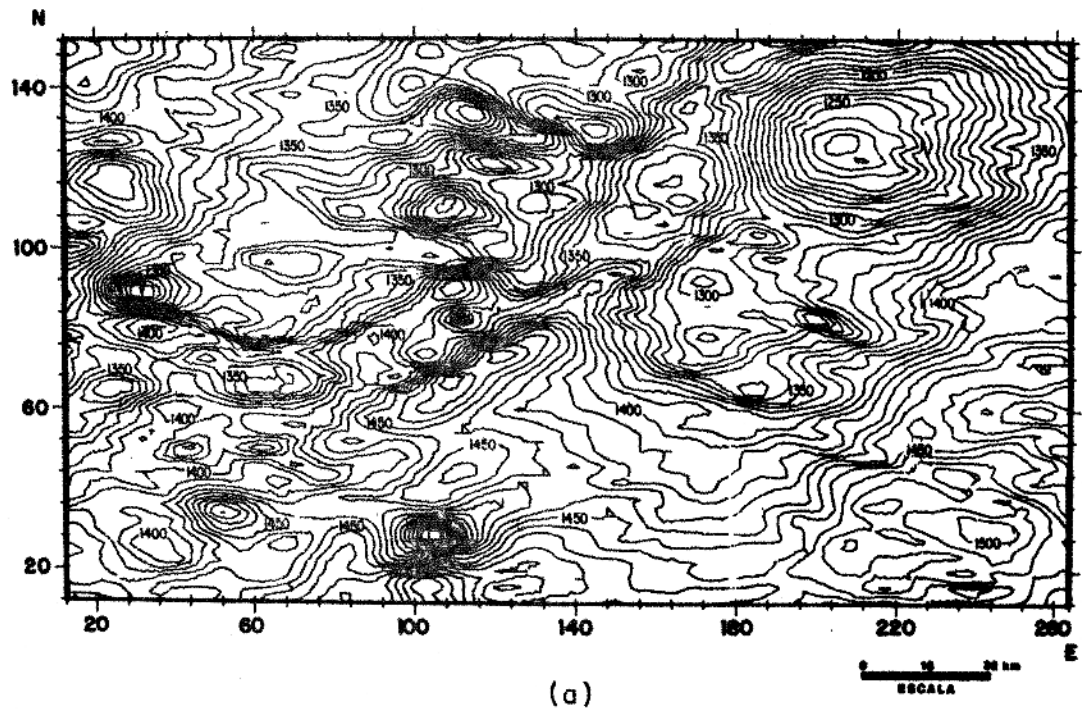


FIG. A2.21 - (a) Campo magnético filtrado direcionalmente. Con serve feições com direções entre NE45° e SE45°. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

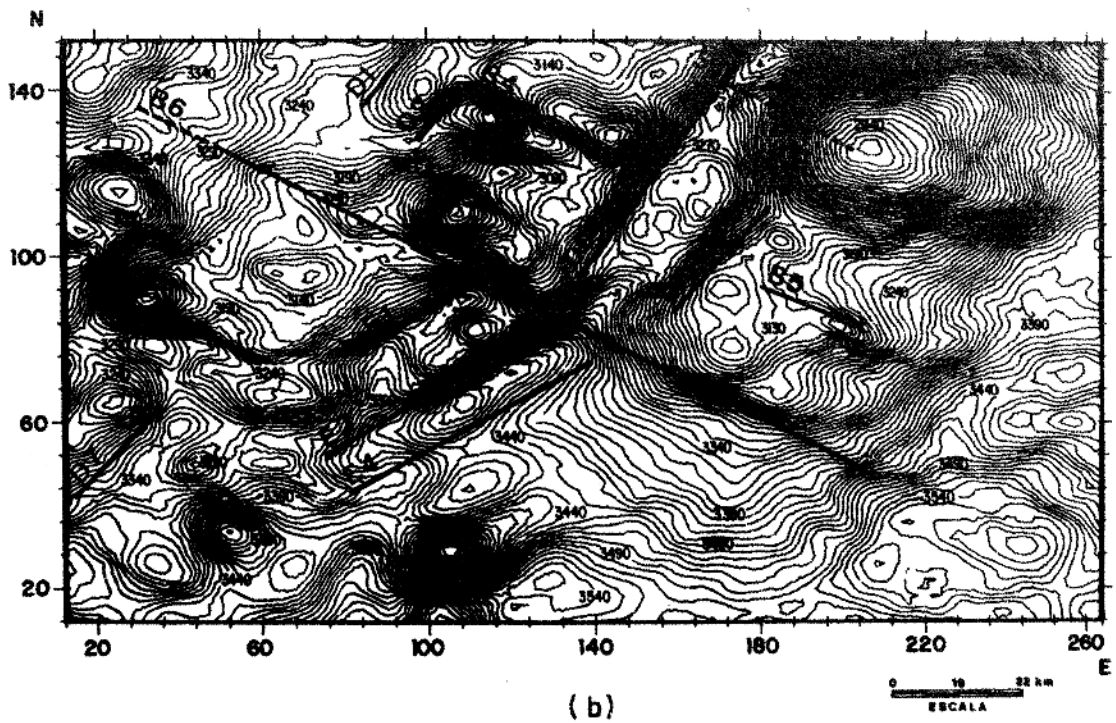
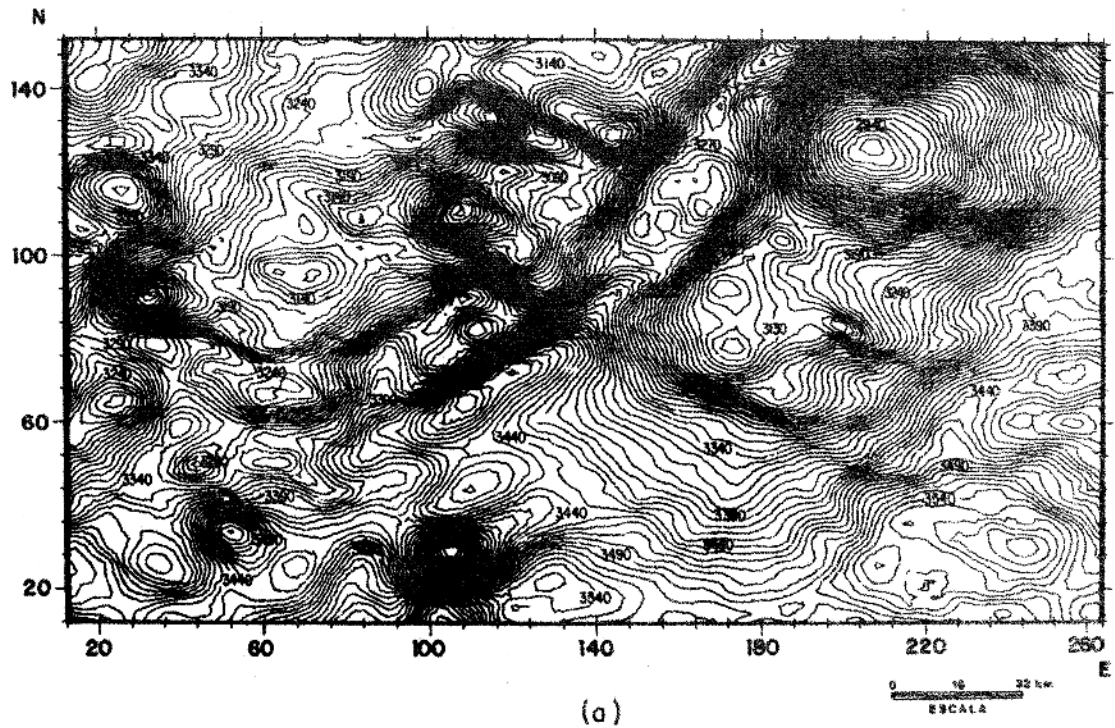


FIG. A2.22 - (a) Campo magnético filtrado direcionalmente. Atenua feições com direções N-S e E-W. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

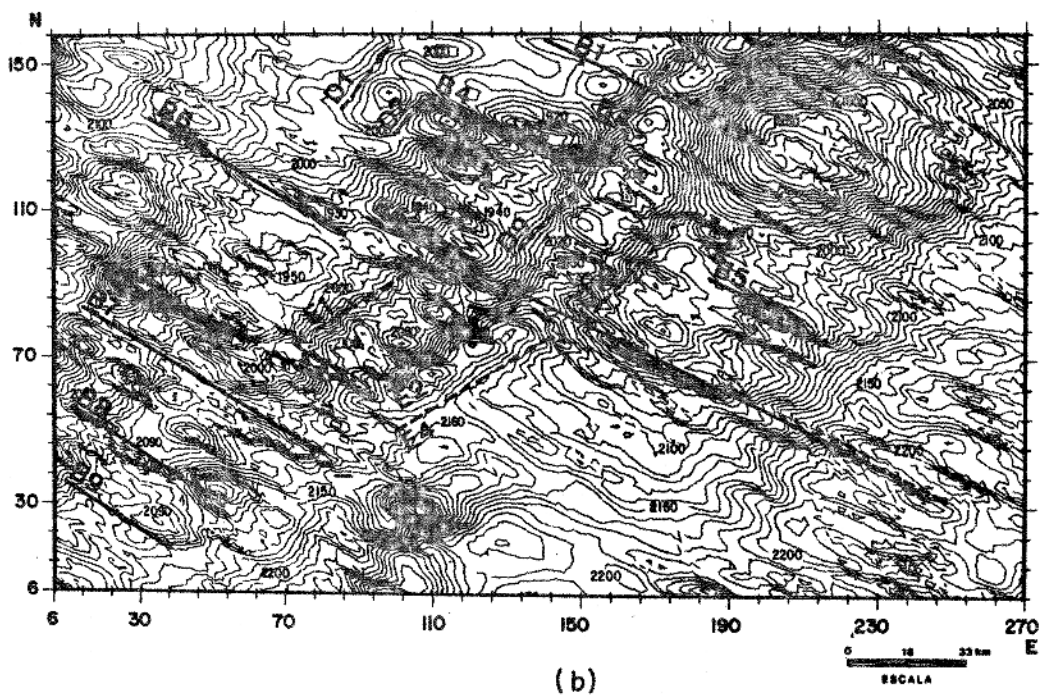
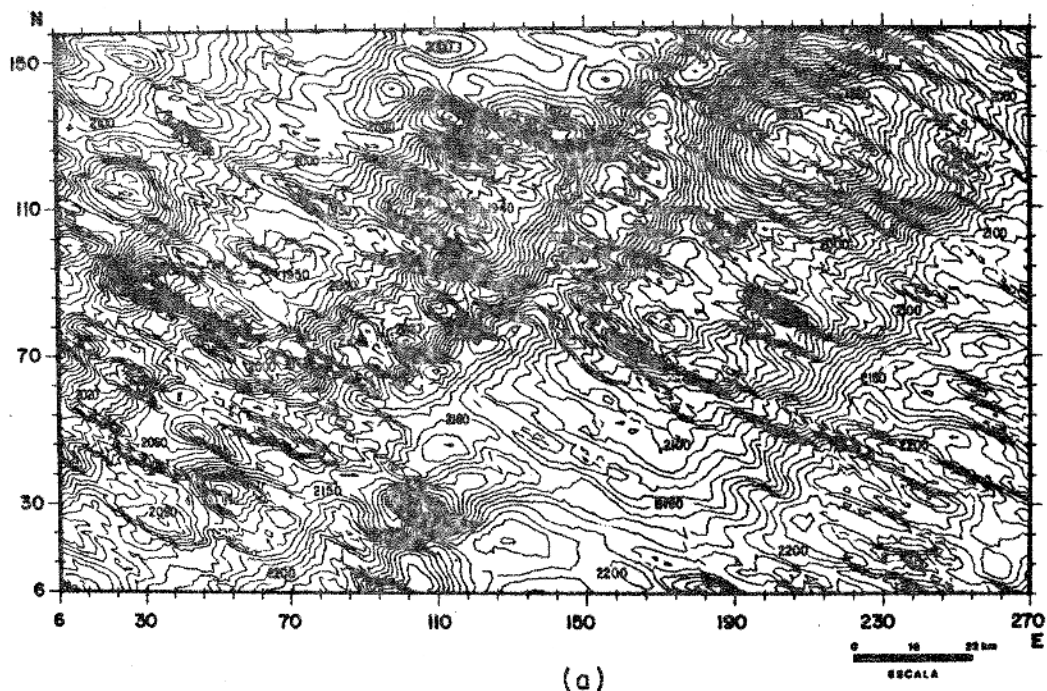


FIG. A2.23 - (a) Campo magnético filtrado direcionalmente. Conserva feições com direção NW60°. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

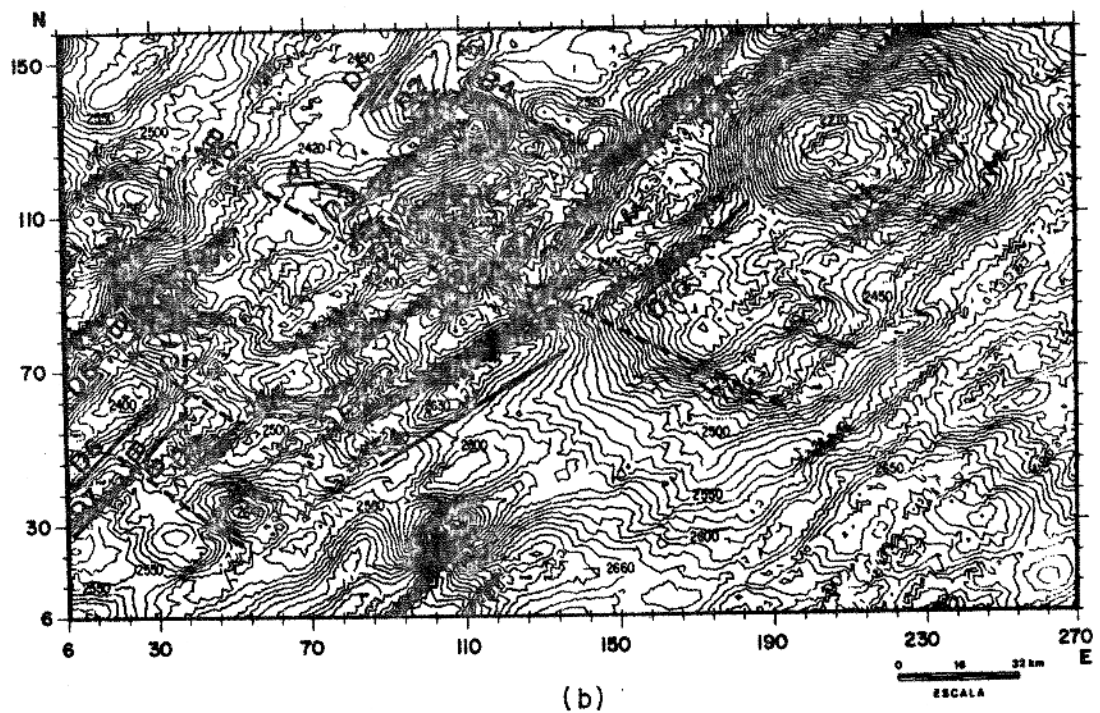
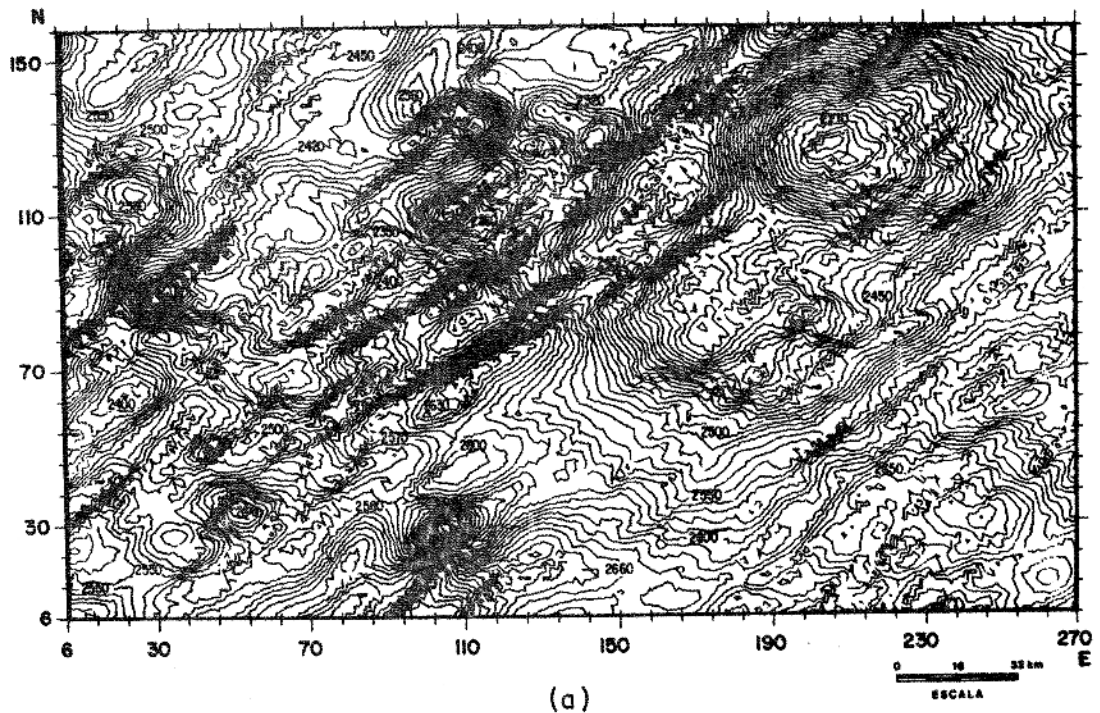


FIG. A2.24 - (a) Campo magnético filtrado direcionalmente. Conserva feições com direção NE45°. Intervalo de contorno 10 gammas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

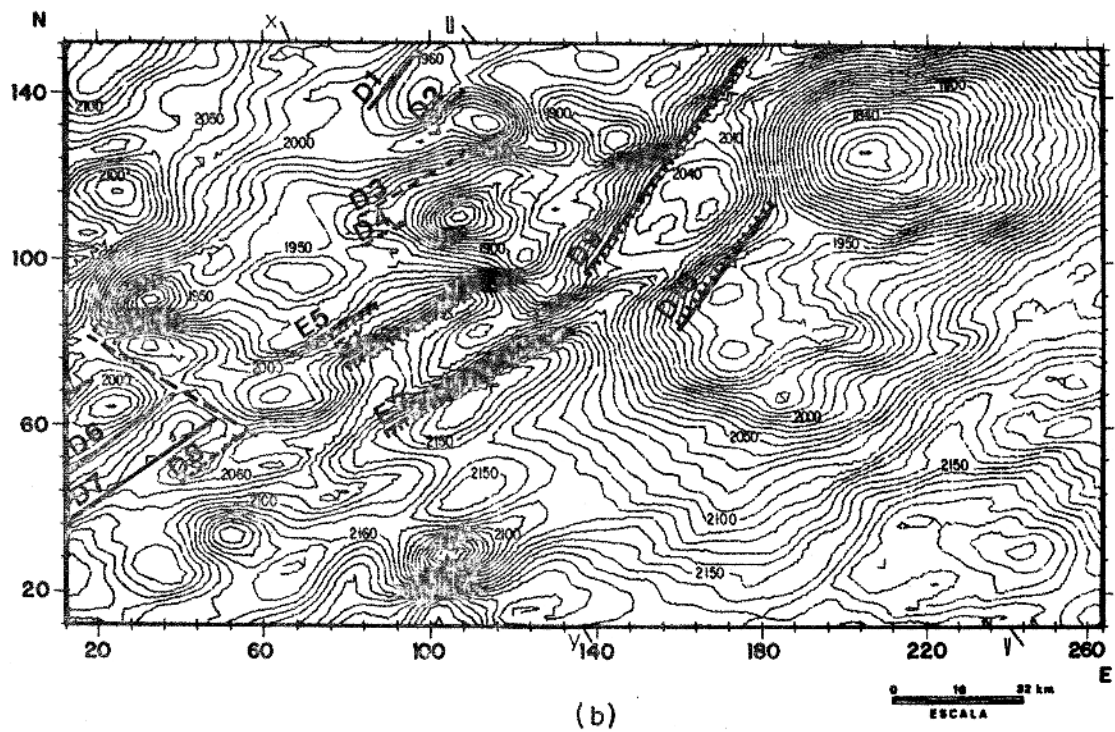
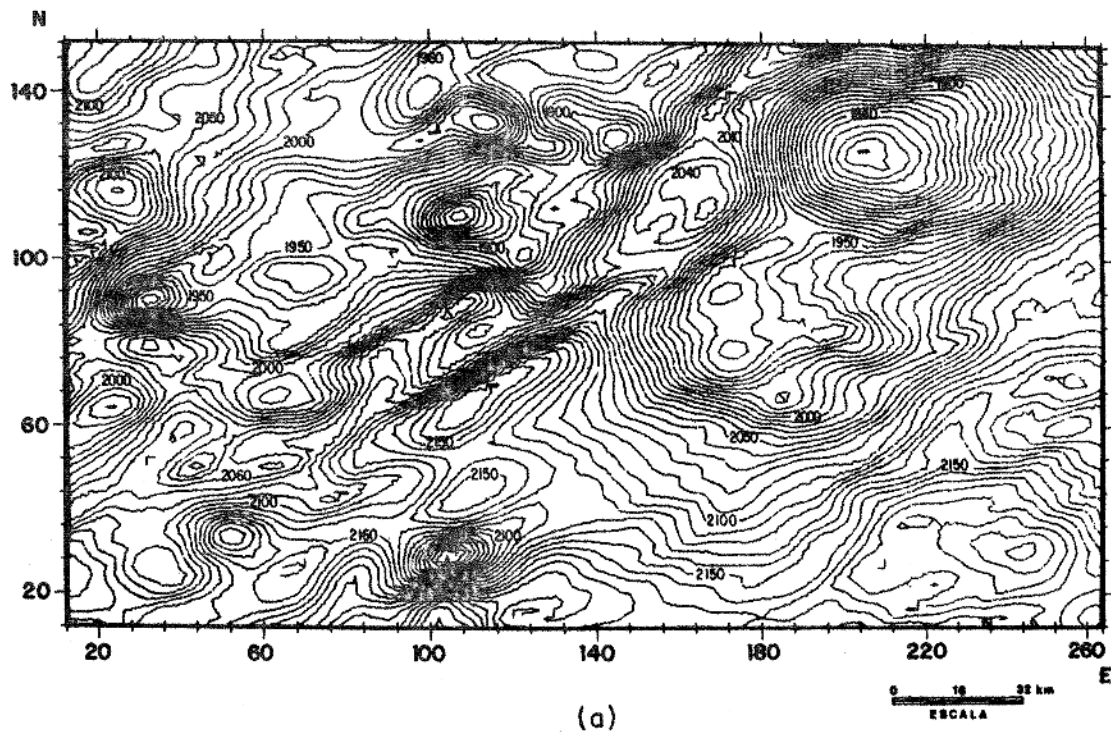
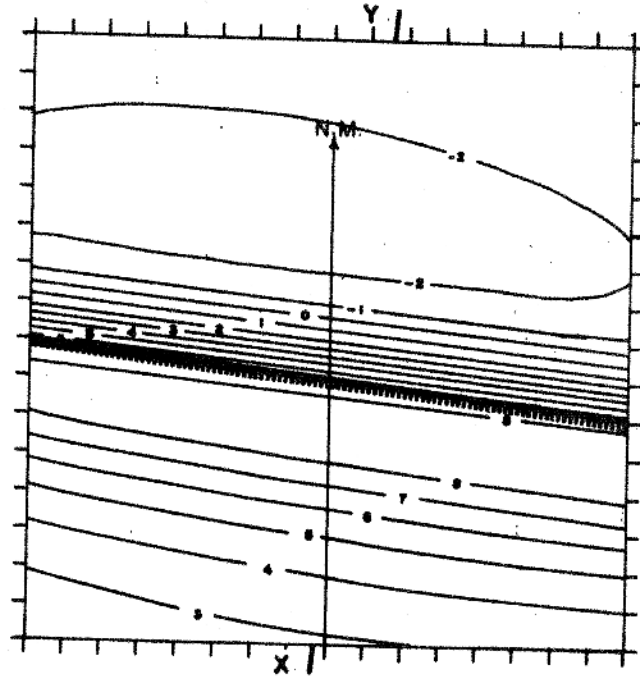
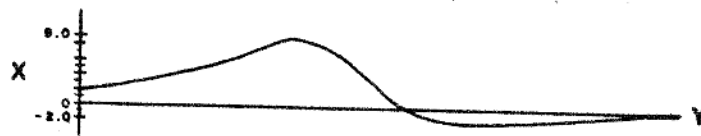


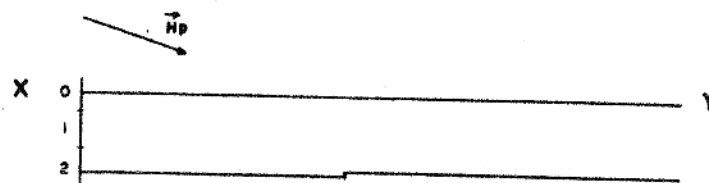
FIG. A2.25 - (a) Campo magnético filtrado direcionalmente. Con<sub>serva</sub> feições com direção NE60°. Intervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.



(a)

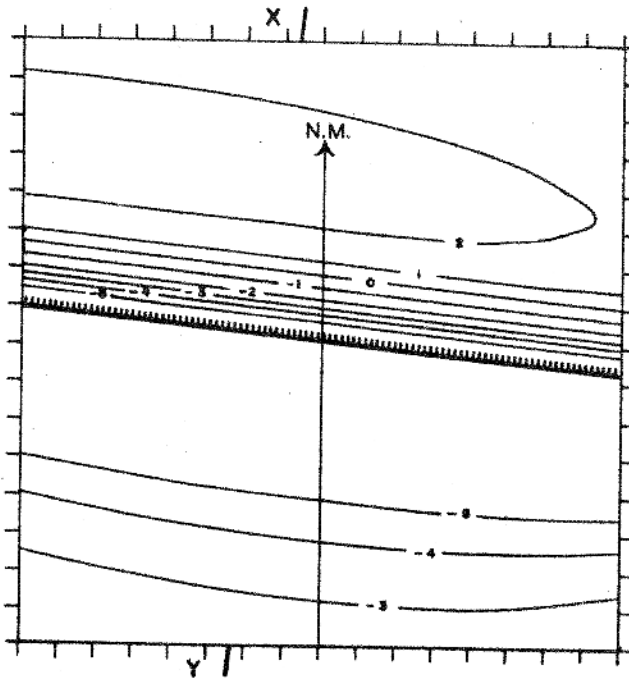


(b)

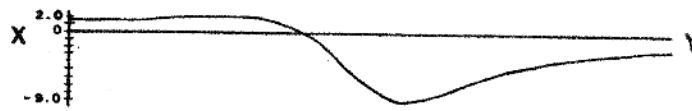


(c)

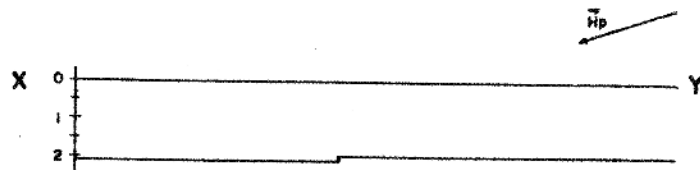
FIG. A2.26 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção E-W. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

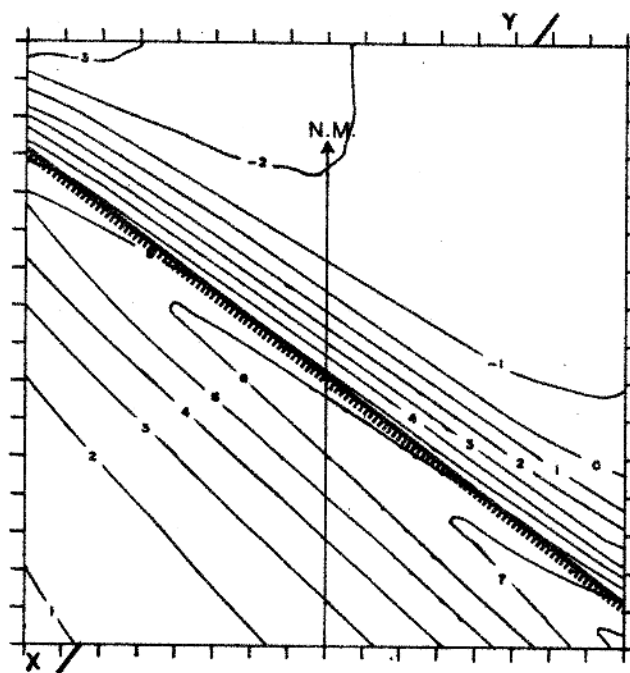


(b)

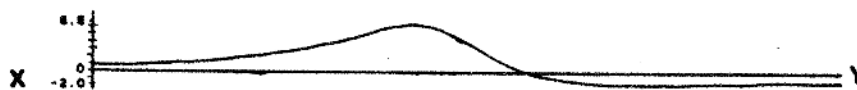


(c)

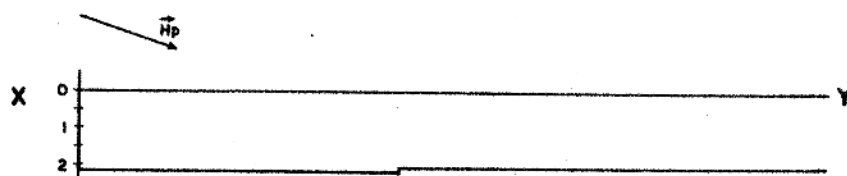
FIG. A2.27 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção E-W. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

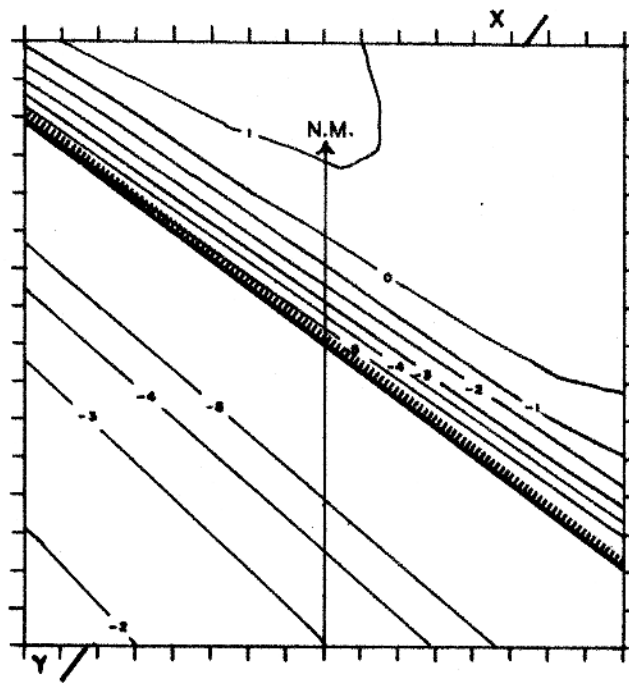


(b)

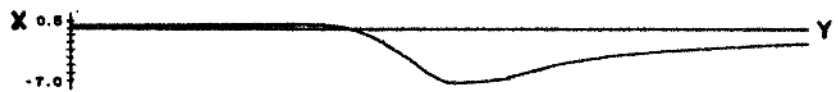


(c)

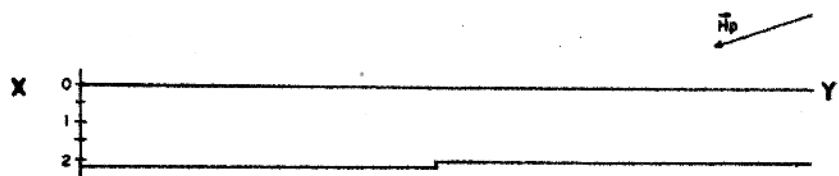
FIG. A2.28 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção NW60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

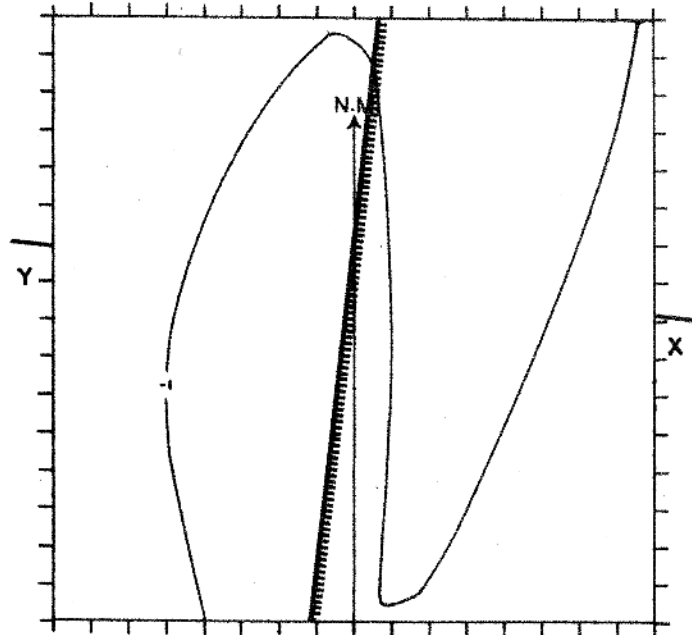


(b)



(c)

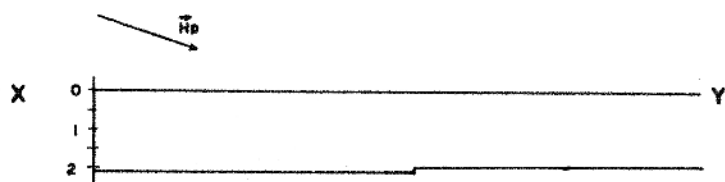
FIG. A2.29 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção NW60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

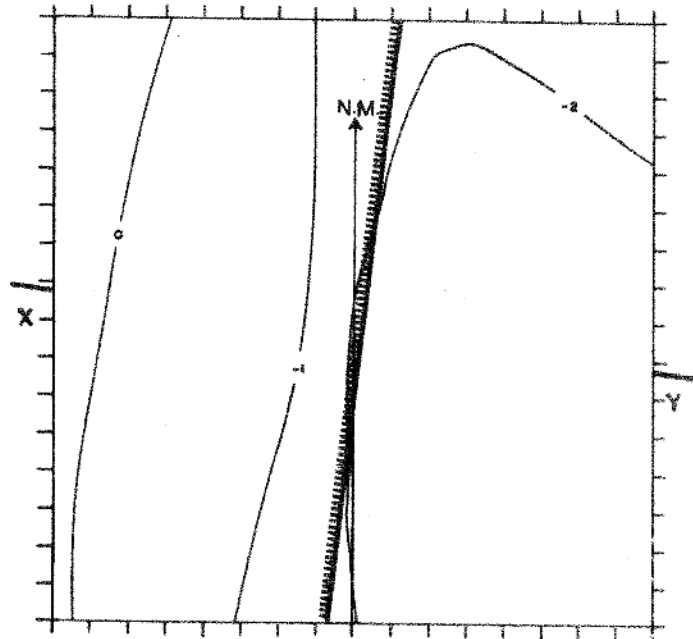


(b)



(c)

FIG. A2.30 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção N-S. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

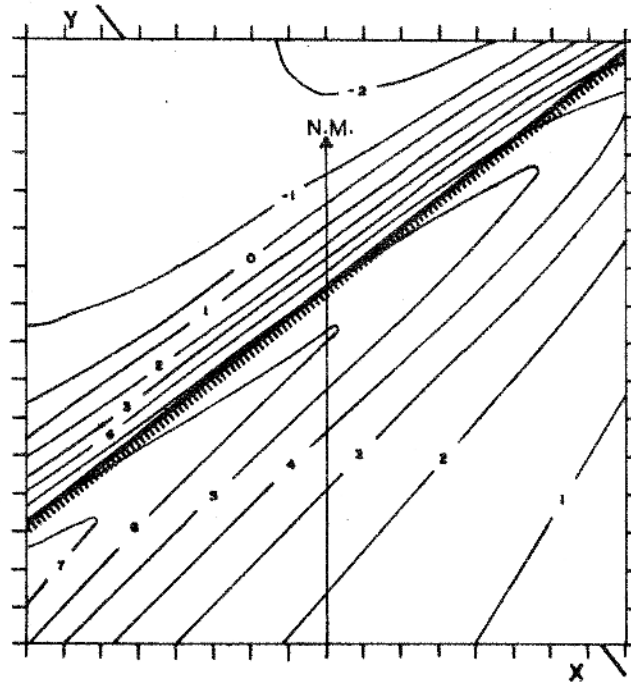


(b)

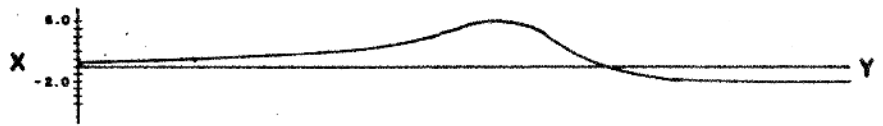


(c)

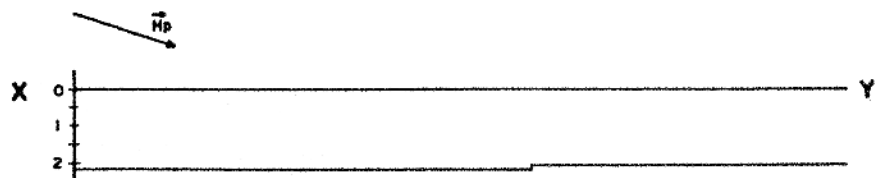
FIG. A2.31 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção N-S. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)



(b)



(c)

FIG. A2.32 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção NE45°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.

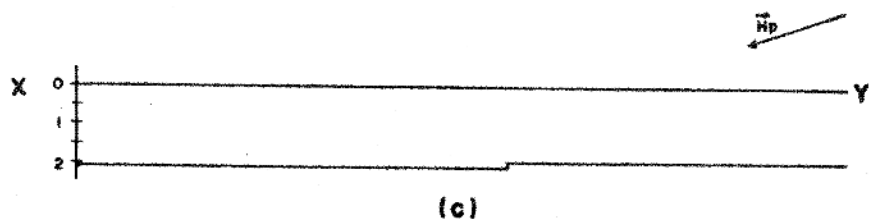
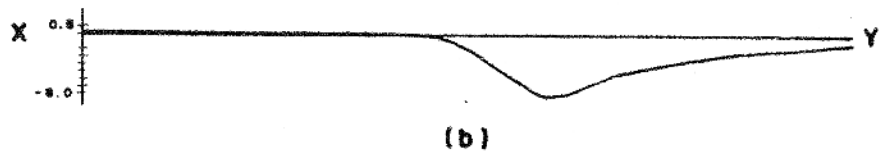
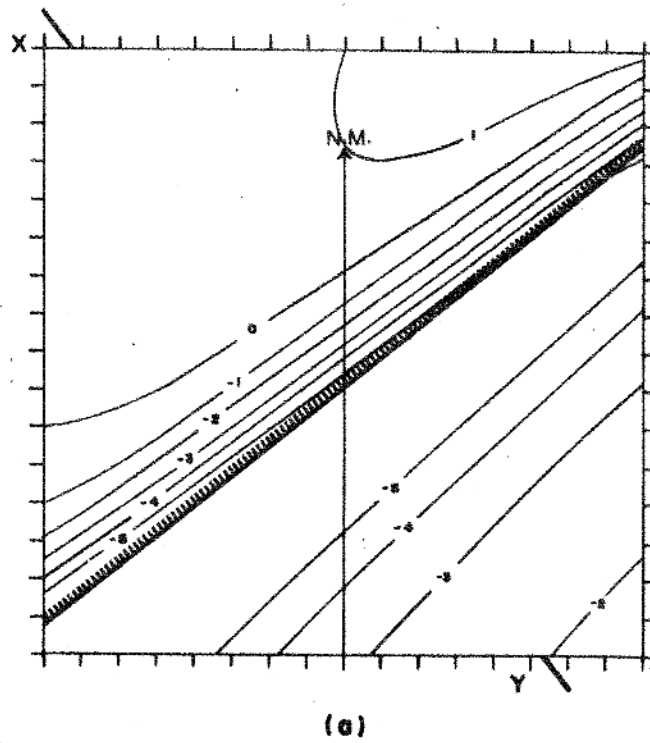
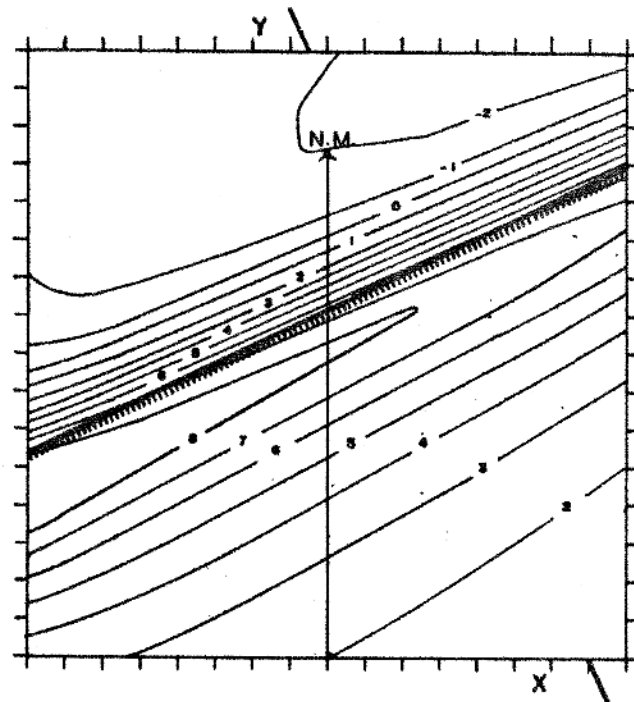
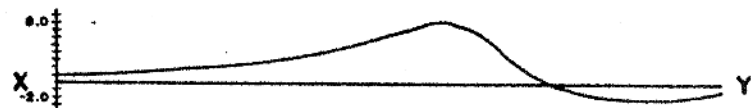


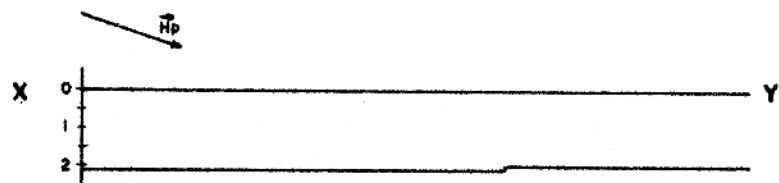
FIG. A2.33 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção NE45°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)



(b)



(c)

FIG. A2.34 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção NE60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.

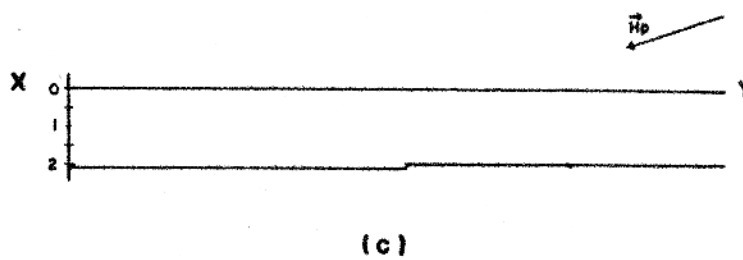
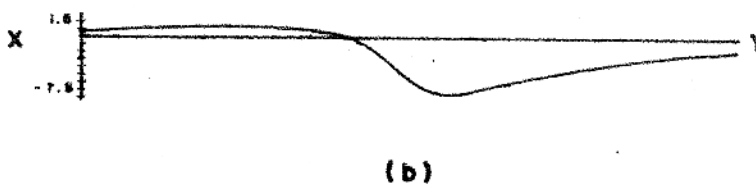
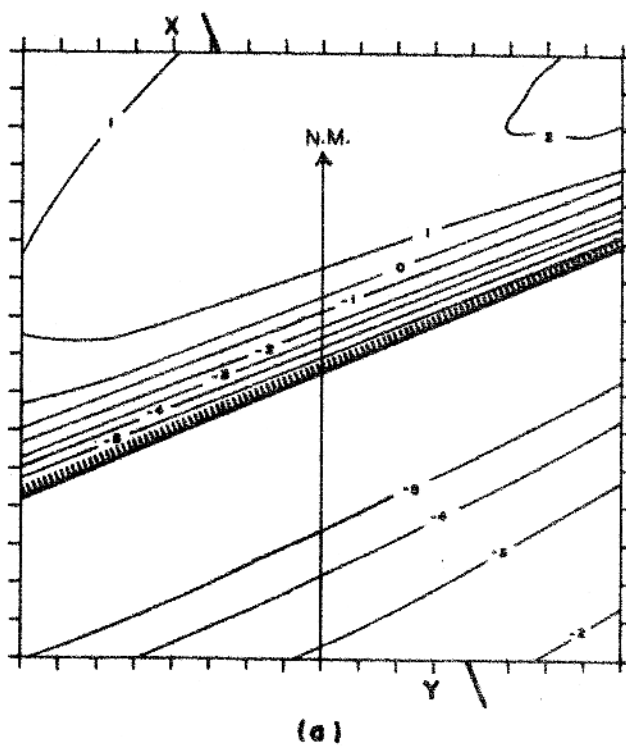
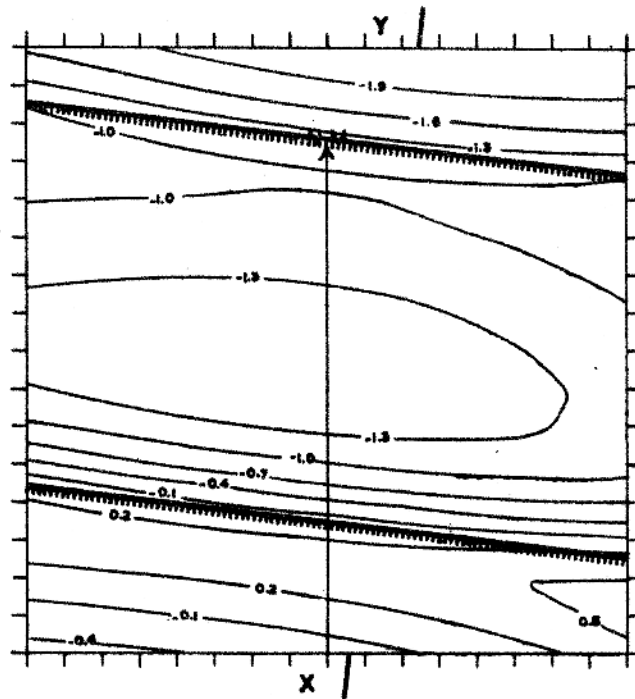
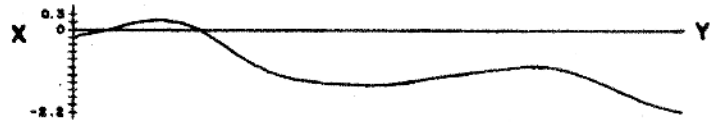


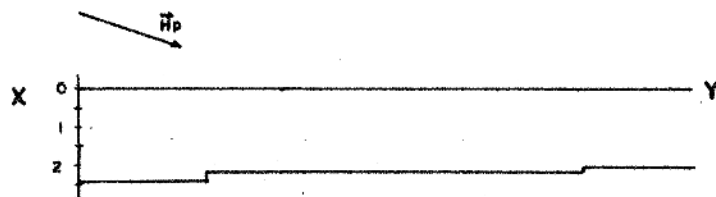
FIG. A2.35 - (a) Campo magnético produzido por falha simples com plano de falha na direção NE60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)



(b)



(c)

FIG. A2.36 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de falha na direção E-W. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.

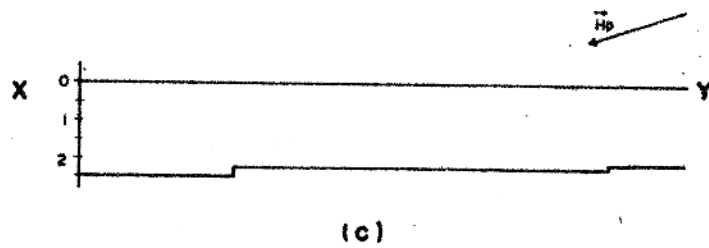
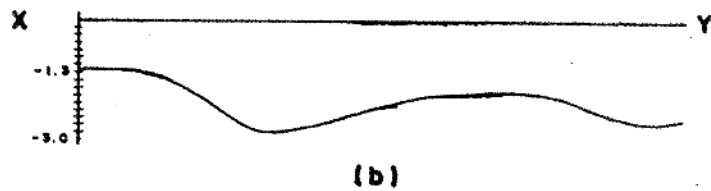
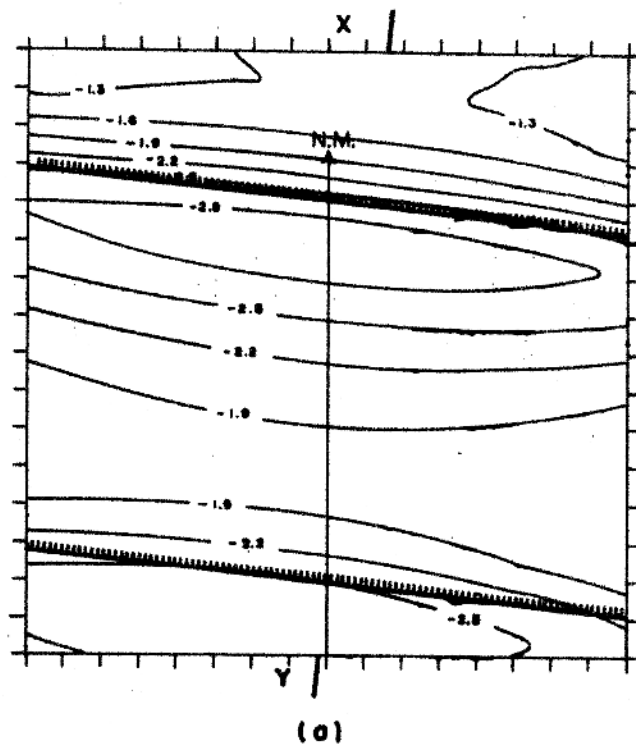
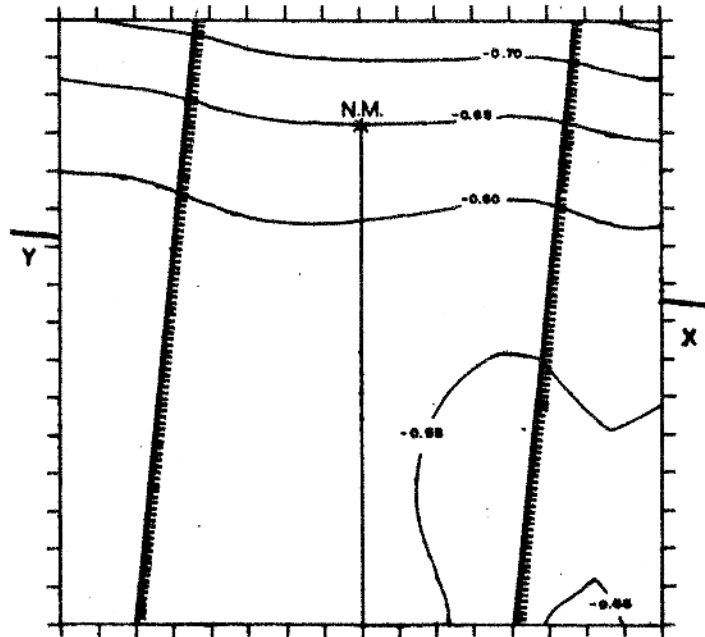
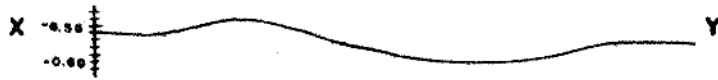


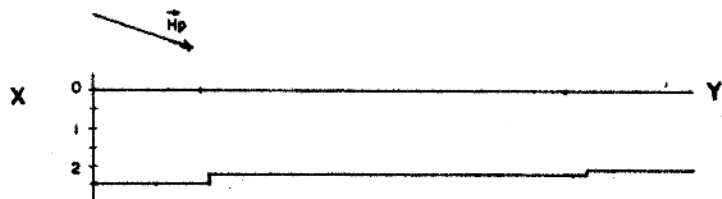
FIG. A2.37 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de falha na direção E-W. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

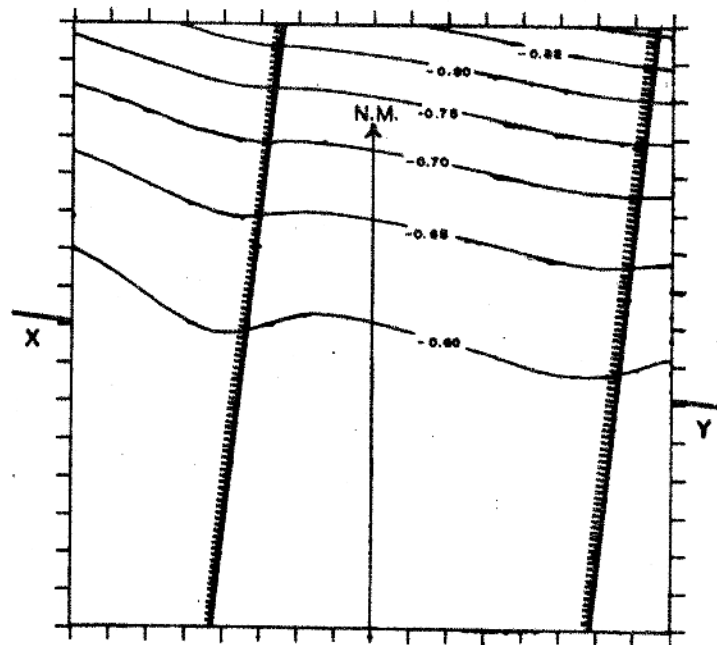


(b)

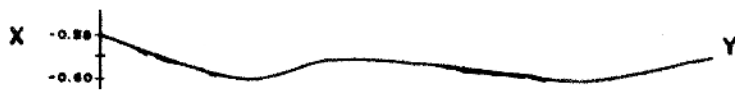


(c)

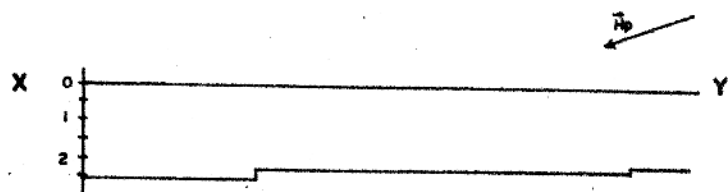
FIG. A2.38 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de falha na direção N-S. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

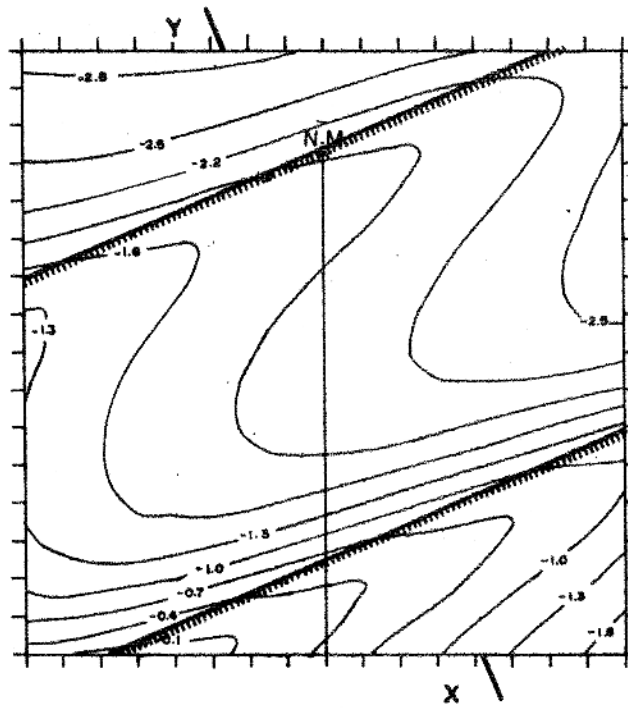


(b)

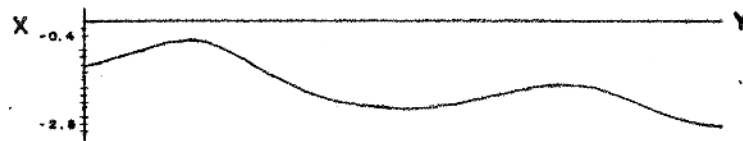


(c)

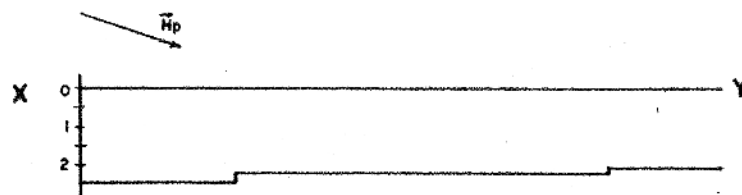
FIG. A2.39 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de falha na direção N-S. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

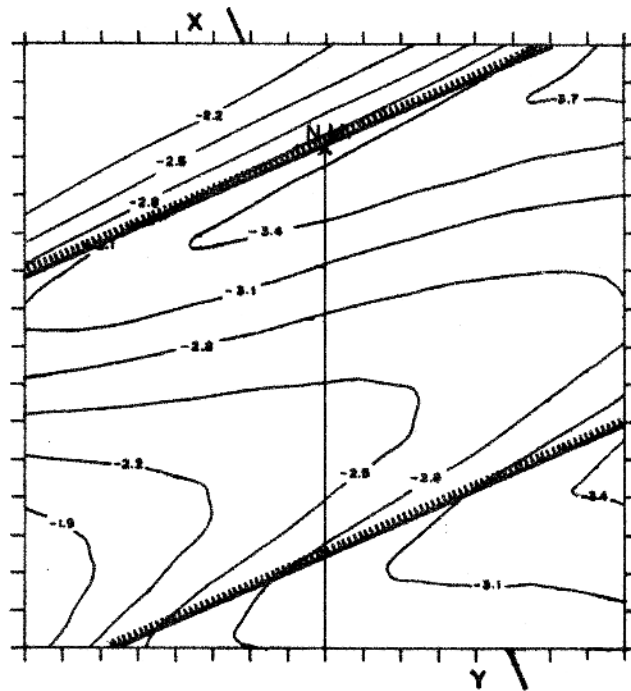


(b)



(c)

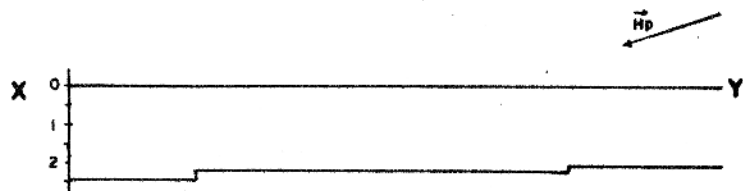
FIG. A2.40 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de falha na direção NE60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

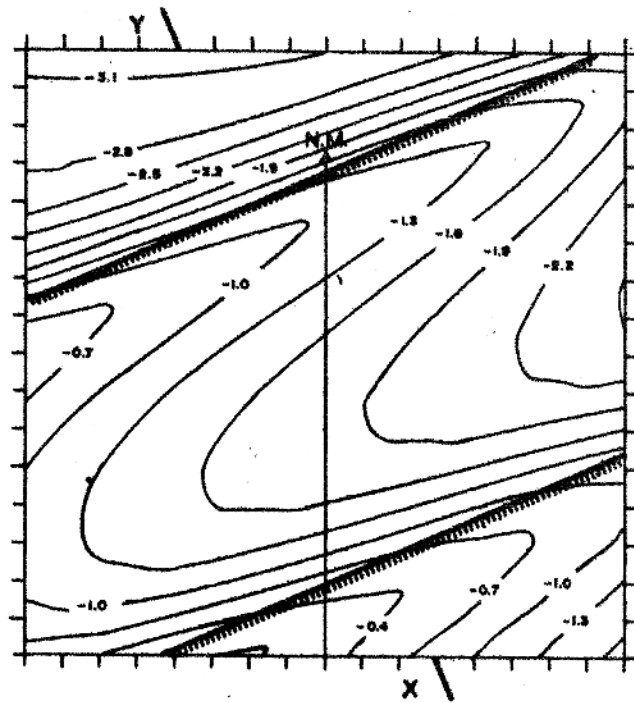


(b)

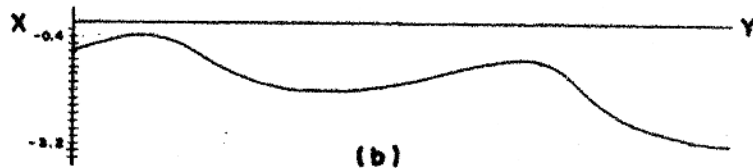


(c)

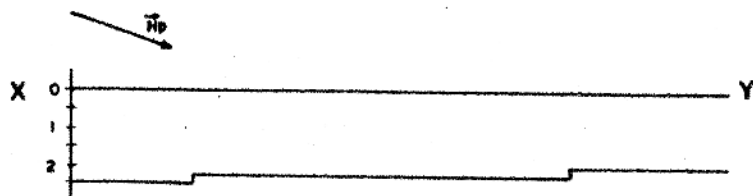
FIG. A2.41 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de fálha na direção NE60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

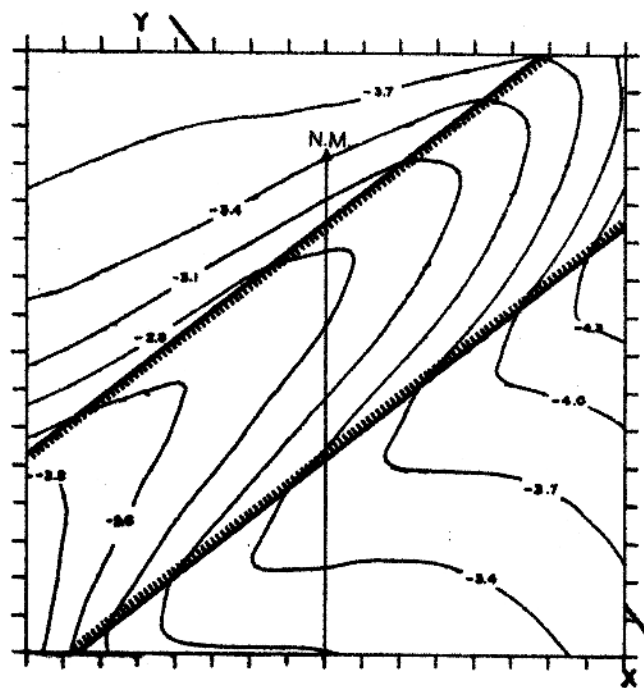


(b)



(c)

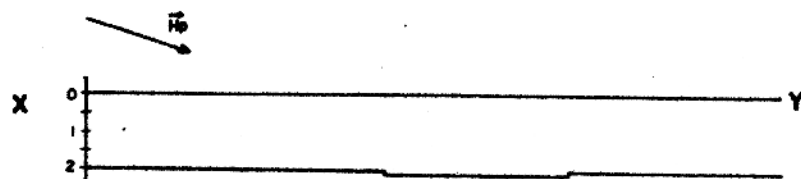
FIG. A2.42 - (a) Campo magnético produzido por falhas escalonadas com planos de falha na direção NE60°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

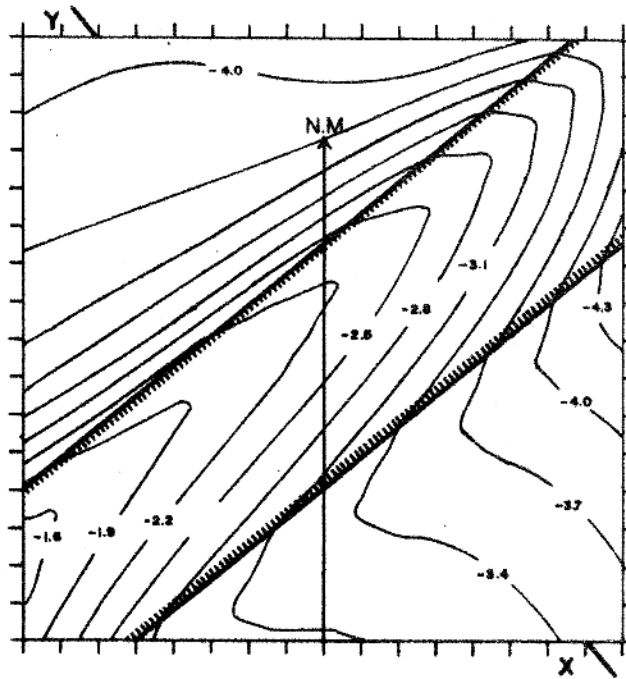


(b)



(c)

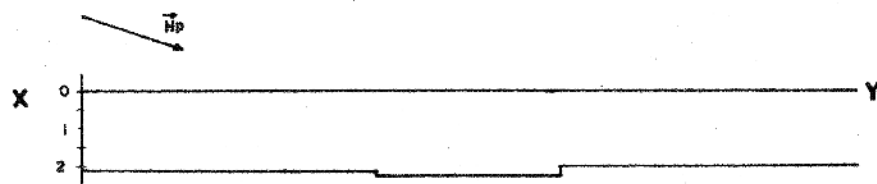
FIG. A2.43 - (a) Campo magnético produzido por graben com direção NE45°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

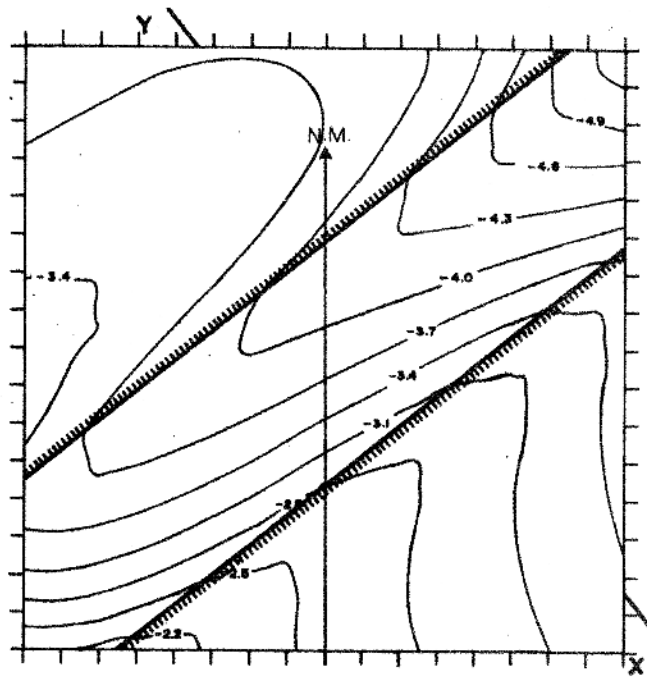


(b)

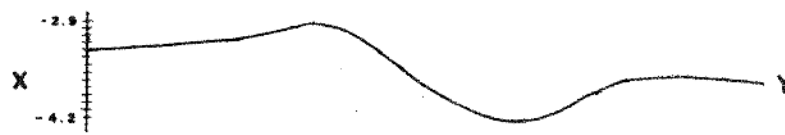


(c)

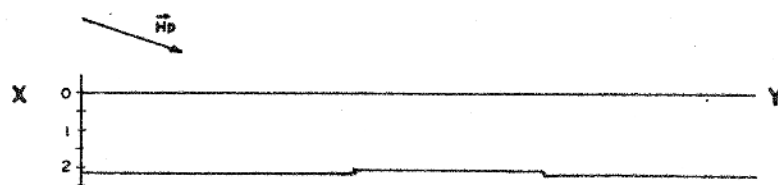
FIG. A2.44 - (a) Campo magnético produzido por graben com direção NE45°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

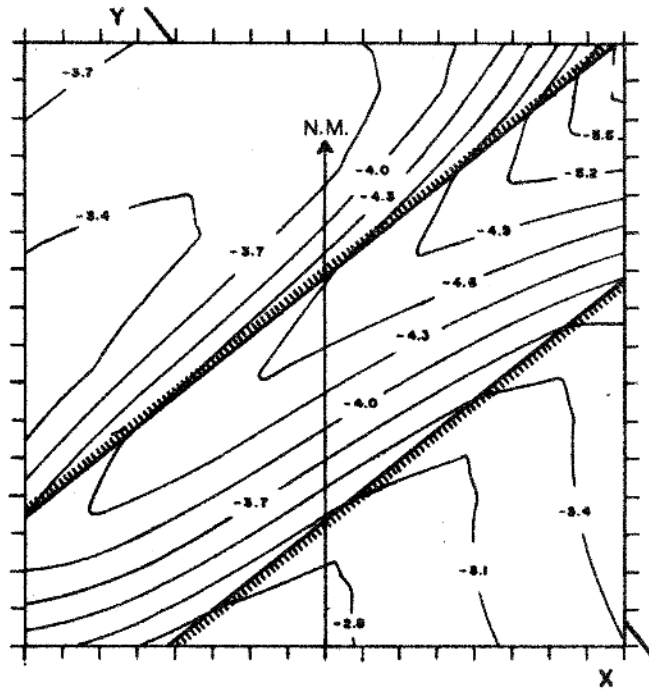


(b)



(c)

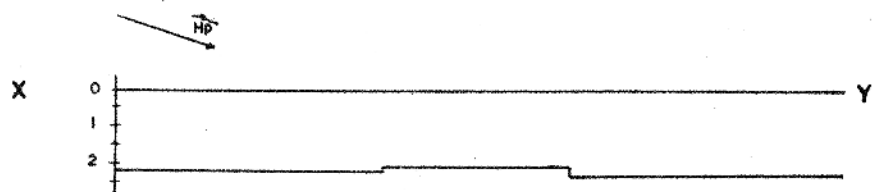
FIG. A2.45 - (a) Campo magnético produzido por horst com direção NE45°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

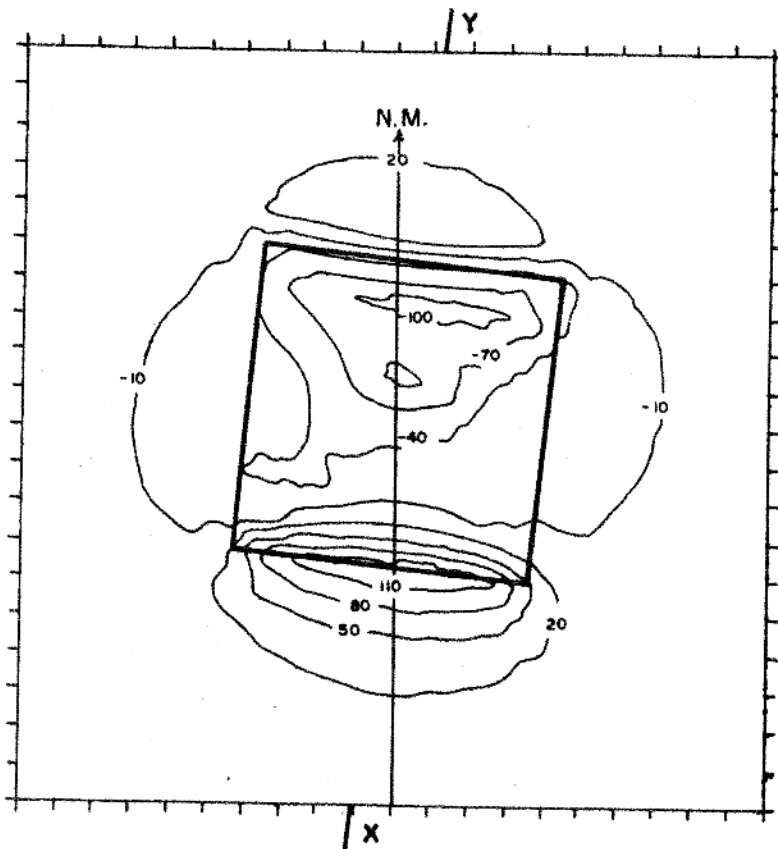


(b)

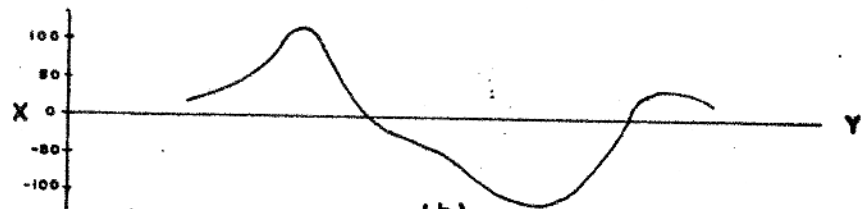


(c)

FIG. A2.46 - (a) Campo magnético produzido por horst com direção NE45°. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

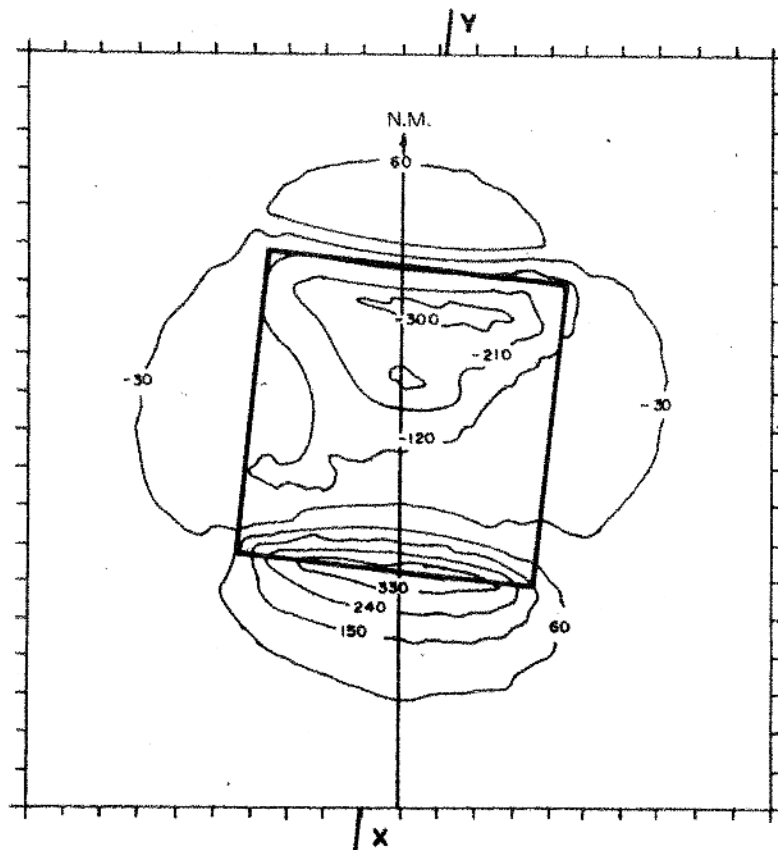


(b)

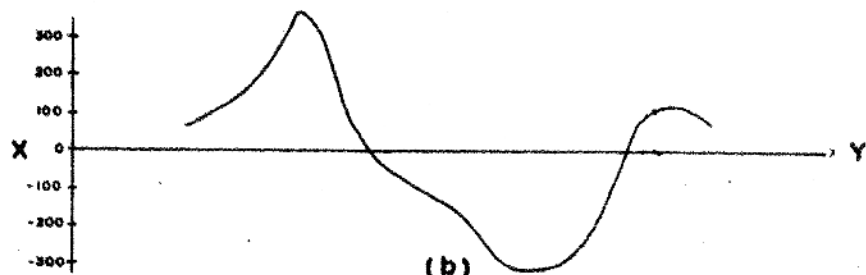


(c)

FIG. A2.47 - (a) Campo magnético, em gammas, produzido por anomalia do supraembasamento.  $I=18^\circ$ ,  $D=-6^\circ$ ,  $I_0=18^\circ$ ,  $D_0=-6^\circ$ ,  $\chi=0,001$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

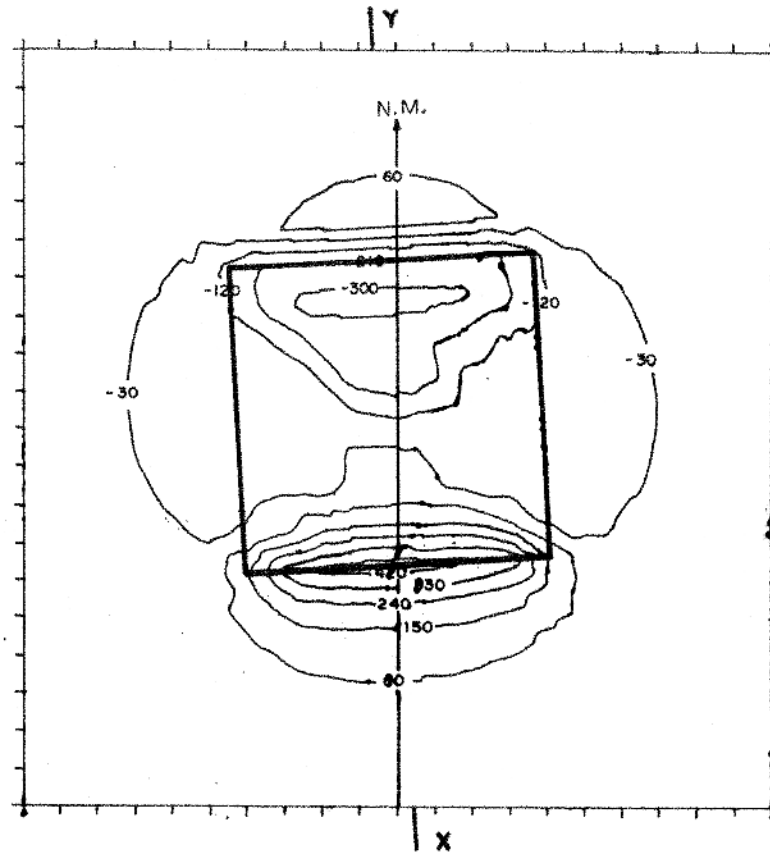


(b)

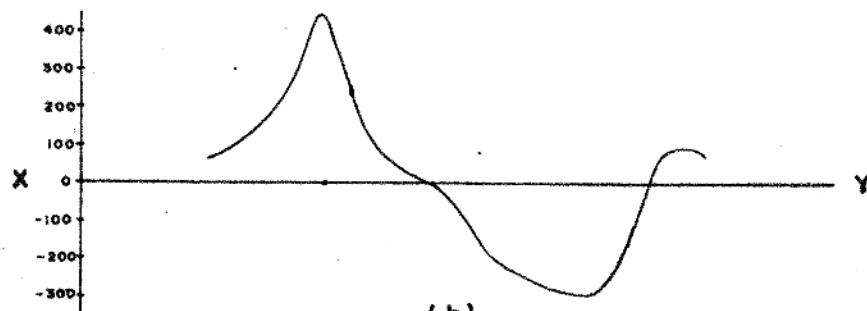


(c)

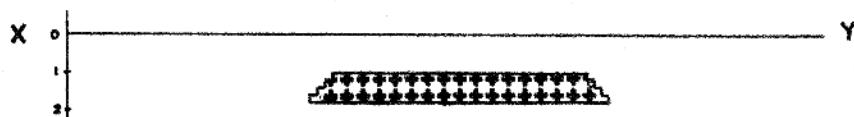
FIG. A2.48 - (a) Campo magnético, em gamas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I=18^\circ$ ,  $D=-6^\circ$ ,  $I_0=18^\circ$ ,  $D_0=-6^\circ$ ,  $\chi=0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)



(b)



(c)

FIG. A2.49 - (a) Campo magnético, em gammas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I=30^\circ$ ,  $\rho=0^\circ$ ,  $I_0=18^\circ$ ,  $D_0=-6^\circ$ ,  $X=0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.

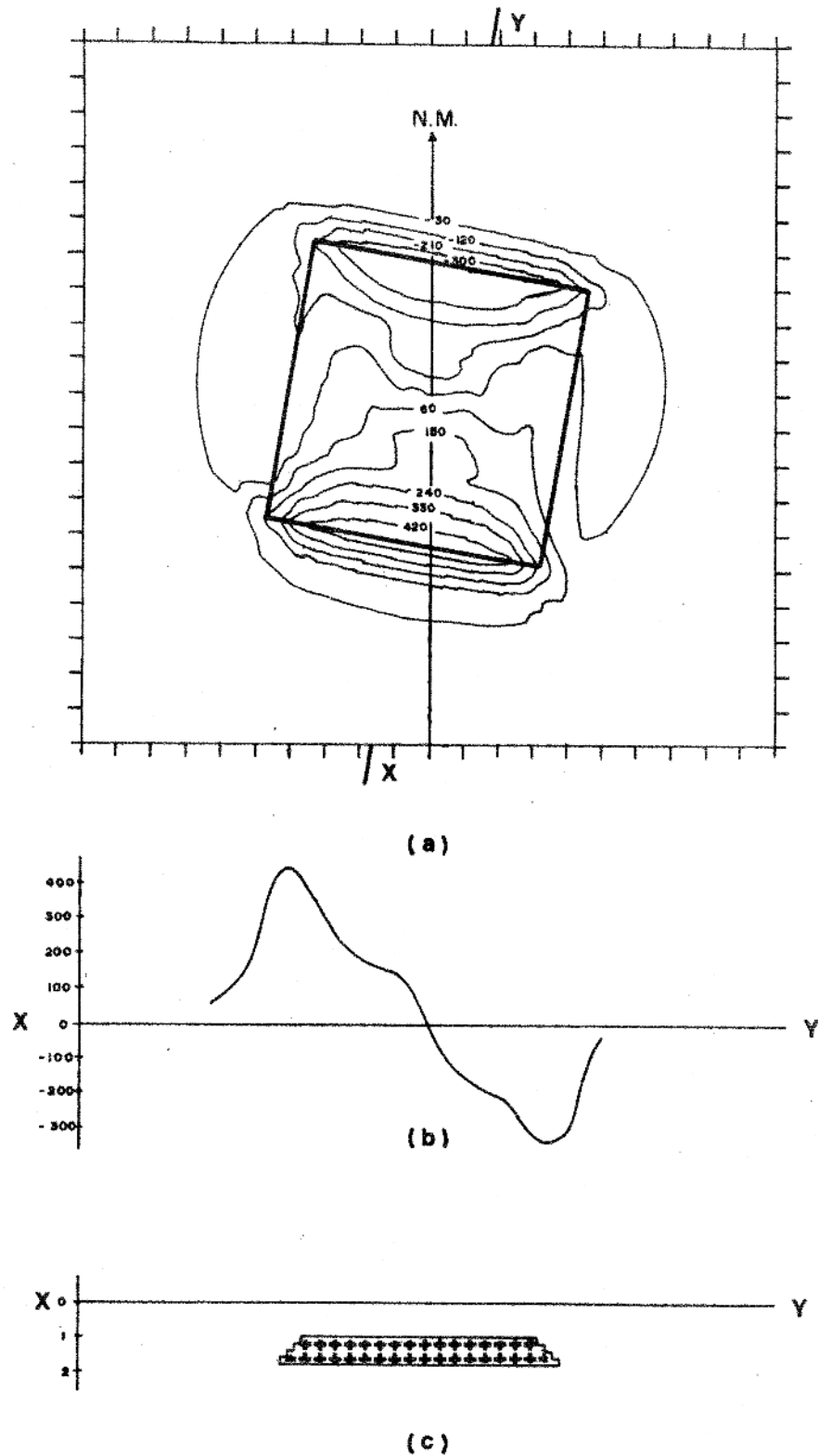
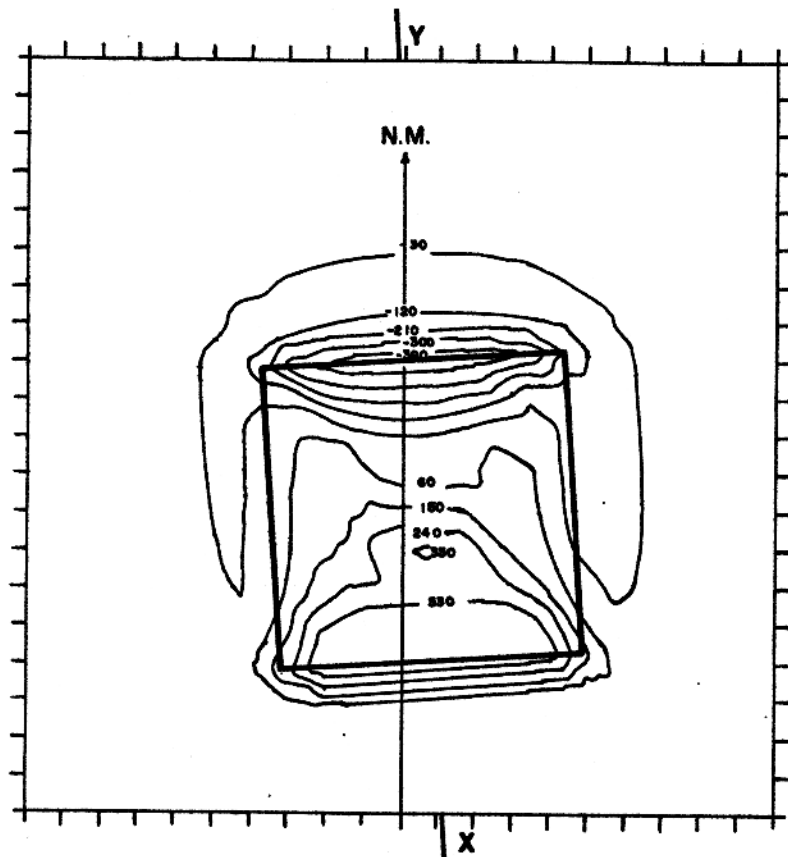
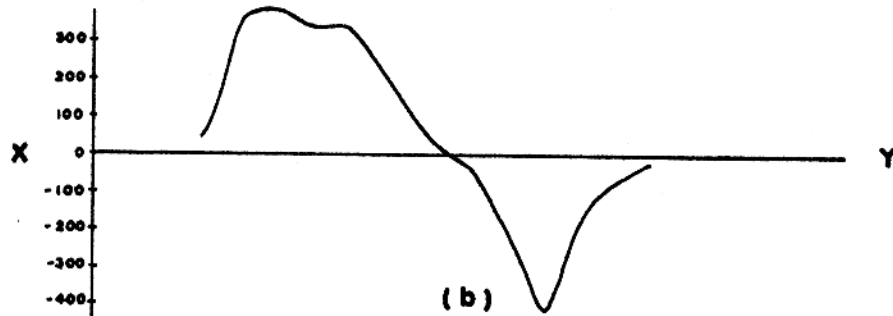


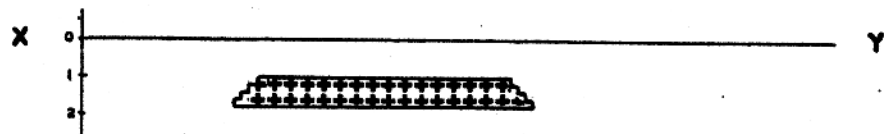
FIG. A2.50 - (a) Campo magnético, em gammas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I=60^\circ$ ,  $D=10^\circ$ ,  $I_0=18^\circ$ ,  $D_0=-6^\circ$ ,  $X=0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

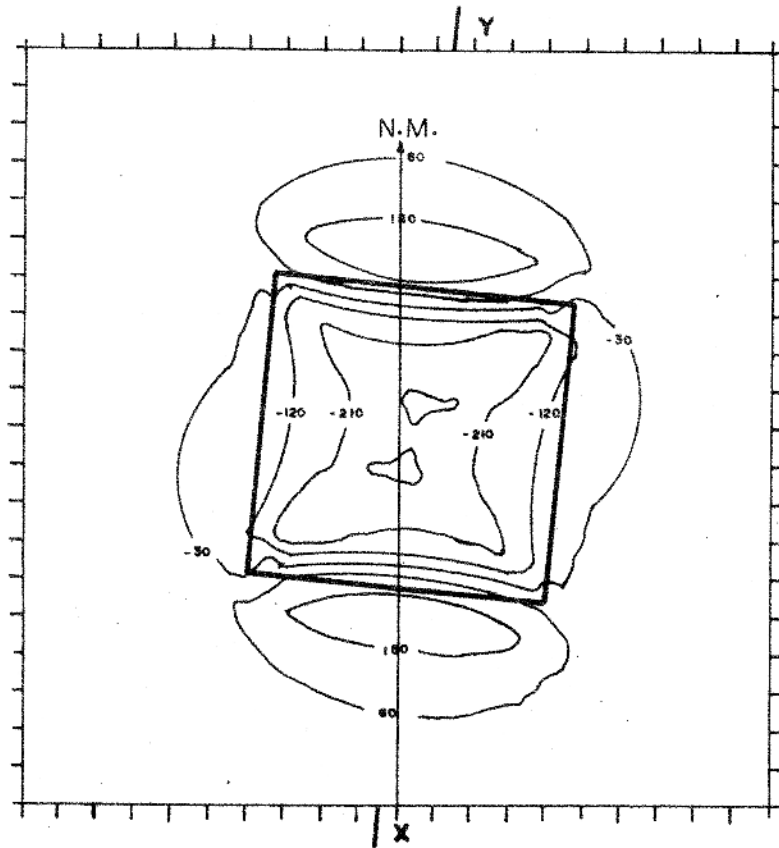


(b)

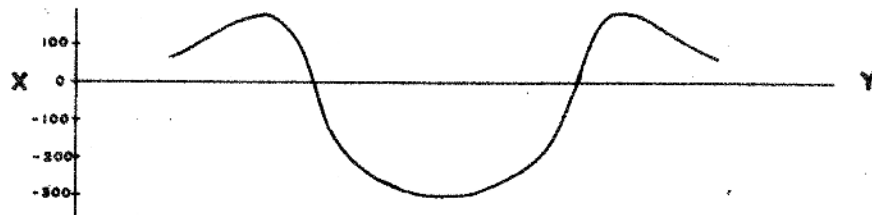


(c)

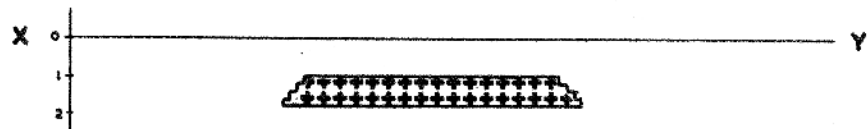
FIG. A2.51 - (a) Campo magnético, em gammas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I=90^\circ$ ,  $D=0^\circ$ ,  $I_0=18^\circ$ ,  $D_0=-6^\circ$ ,  $\chi=0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

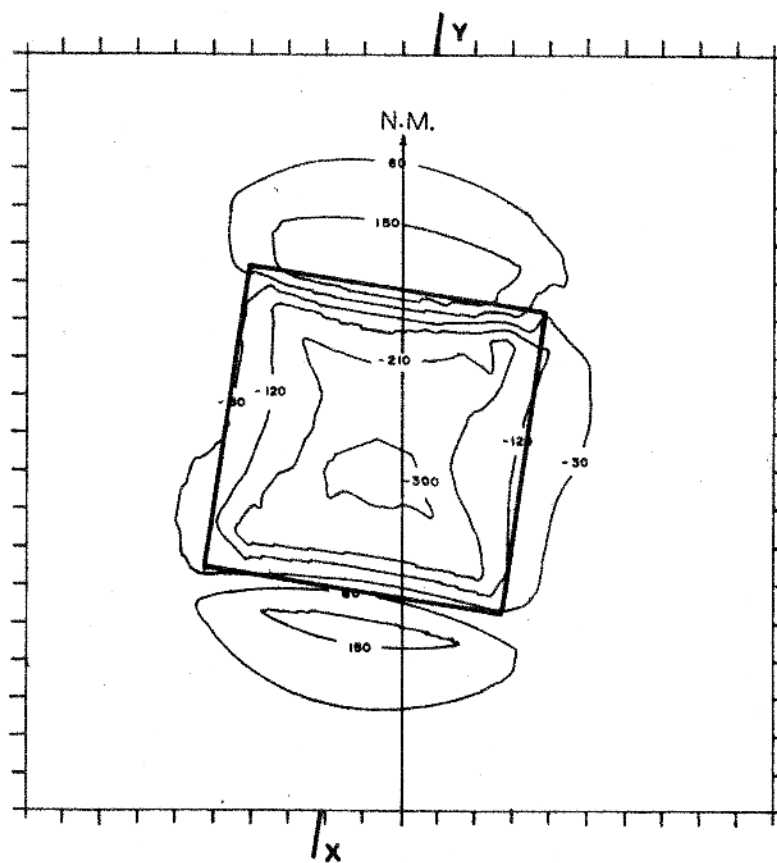


(b)

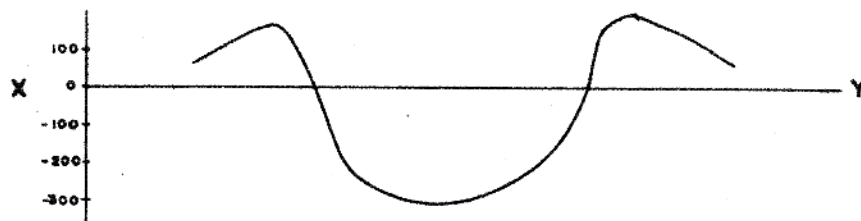


(c)

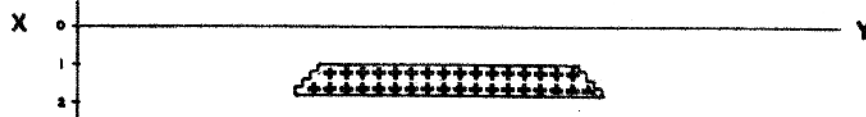
FIG. A2.52 - (a) Campo magnético, em gâmas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I = -18^\circ$ ,  $D = -6^\circ$ ,  $I_0 = 18^\circ$ ,  $D_0 = -6^\circ$ ,  $X = 0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

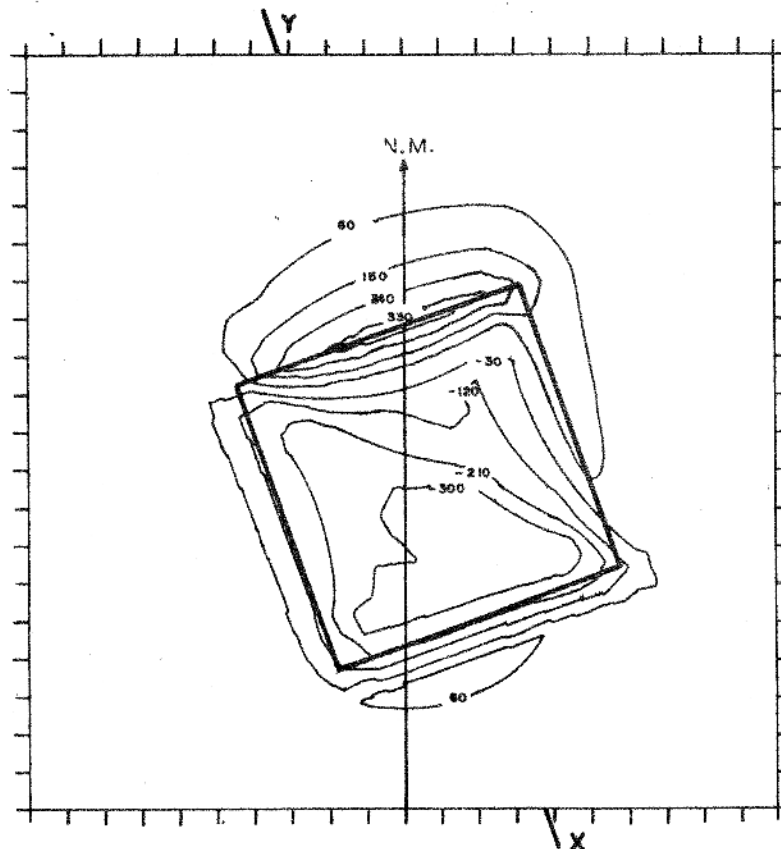


(b)

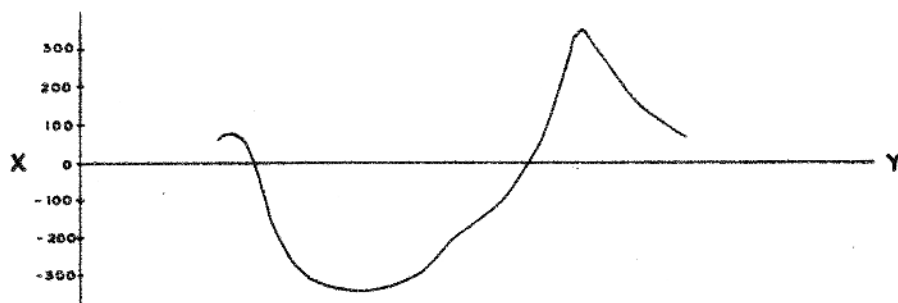


(c)

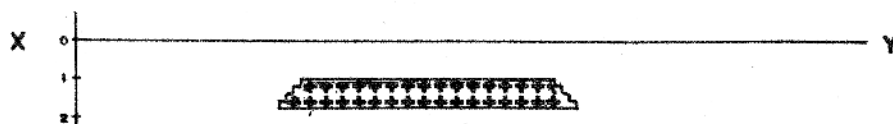
FIG. A2.53 - (a) Campo magnético, em gamas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I = -30^\circ$ ,  $D = 0^\circ$ ,  $I_0 = 18^\circ$ ,  $D_0 = -6^\circ$ ,  $\chi = 0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

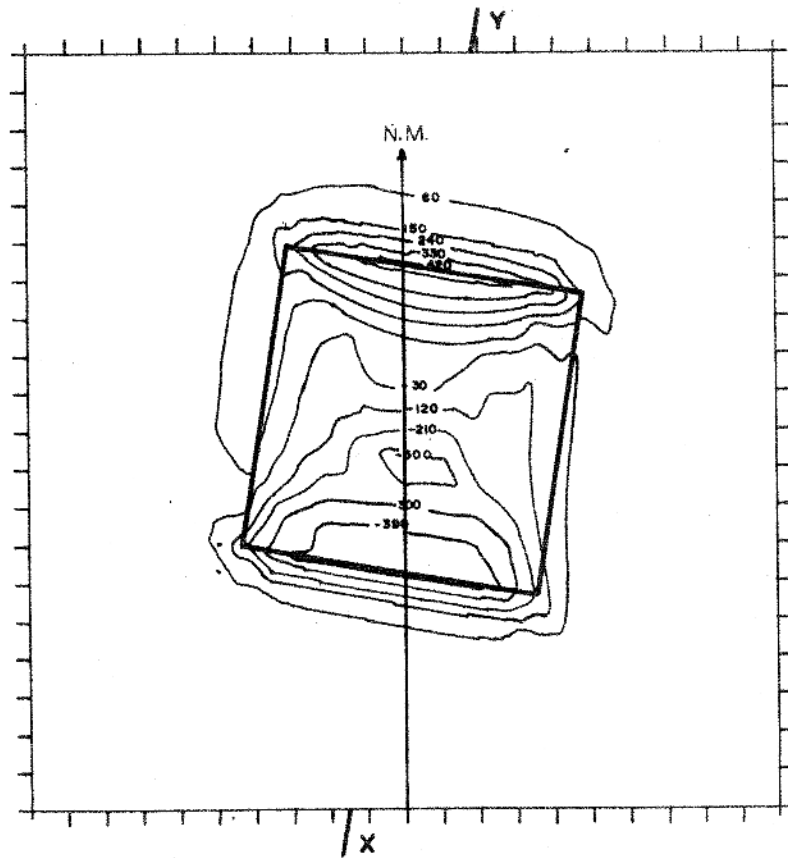


(b)

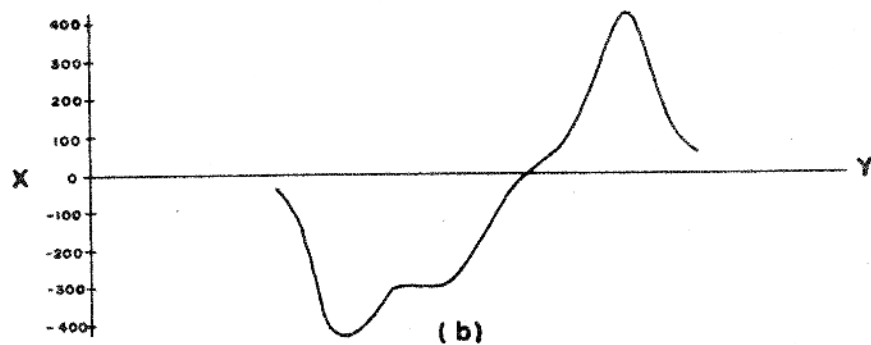


(c)

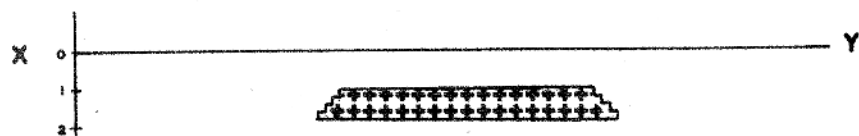
FIG. A2.54 - (a) Campo magnético, em gamas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I = -60^\circ$ ,  $D = 15^\circ$ ,  $I_0 = 18^\circ$ ,  $D_0 = -6^\circ$ ,  $X = 0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)

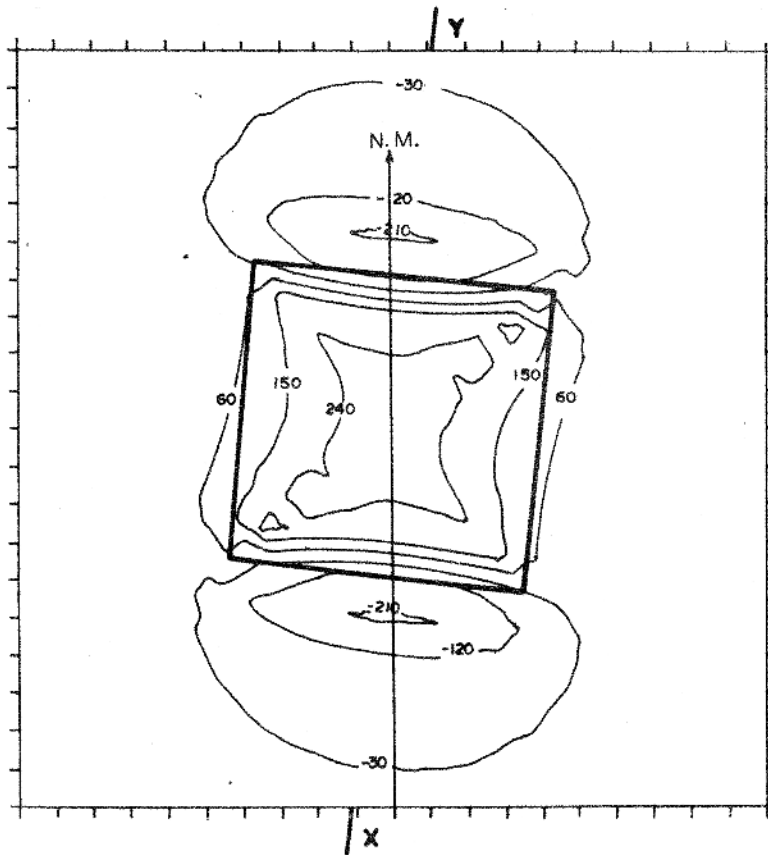


(b)

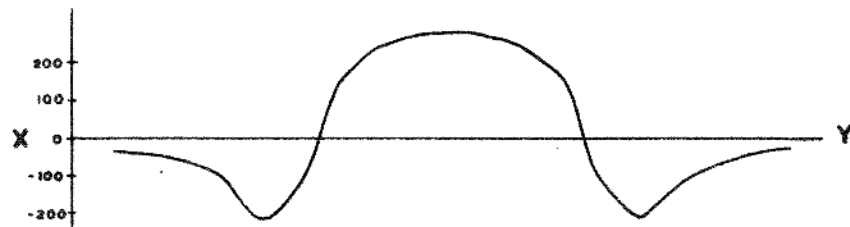


(c)

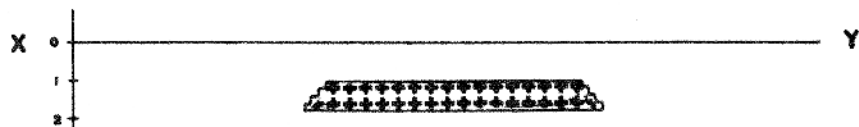
FIG. A2.55 - (a) Campo magnético, em gamas, produzido por anomalia do intraembasamento.  $I = -90^\circ$ ,  $D = 0^\circ$ ,  $I_0 = 18^\circ$ ,  $D_0 = -6^\circ$ ,  $X = 0,01$  u.c.g.s. (b) perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.



(a)



(b)



(c)

FIG. A2.56 - (a) Campo magnético, em gammas, produzido por anomalia do intraembasamento  $I=18^\circ$ ,  $D=174^\circ$ ,  $I_0=18^\circ$ ,  $D_0=-6^\circ$ ,  $X=0,01$  u.c.g.s. (b) Perfil magnético XY. (c) Perfil estrutural XY.

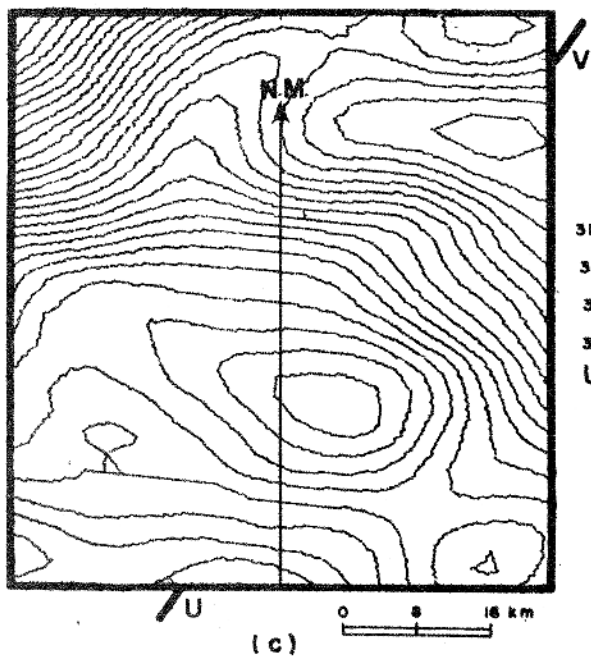
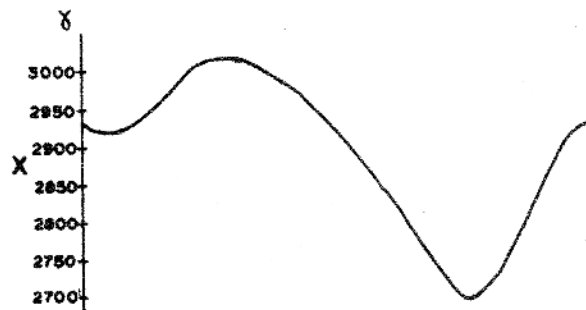
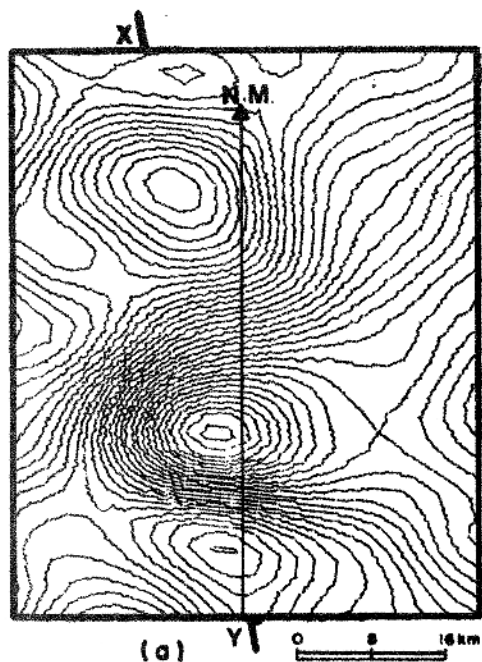


FIG. A2.57 - (a) Anomalia A. Intervalo de contorno 10 gamas (V. localização na Fig. A2.12). (b) Perfil magnético XY. (c) Anomalia D. Intervalo de contorno 10 gamas (V. localização na Fig. A2.12). (d) Perfil magnético UV.

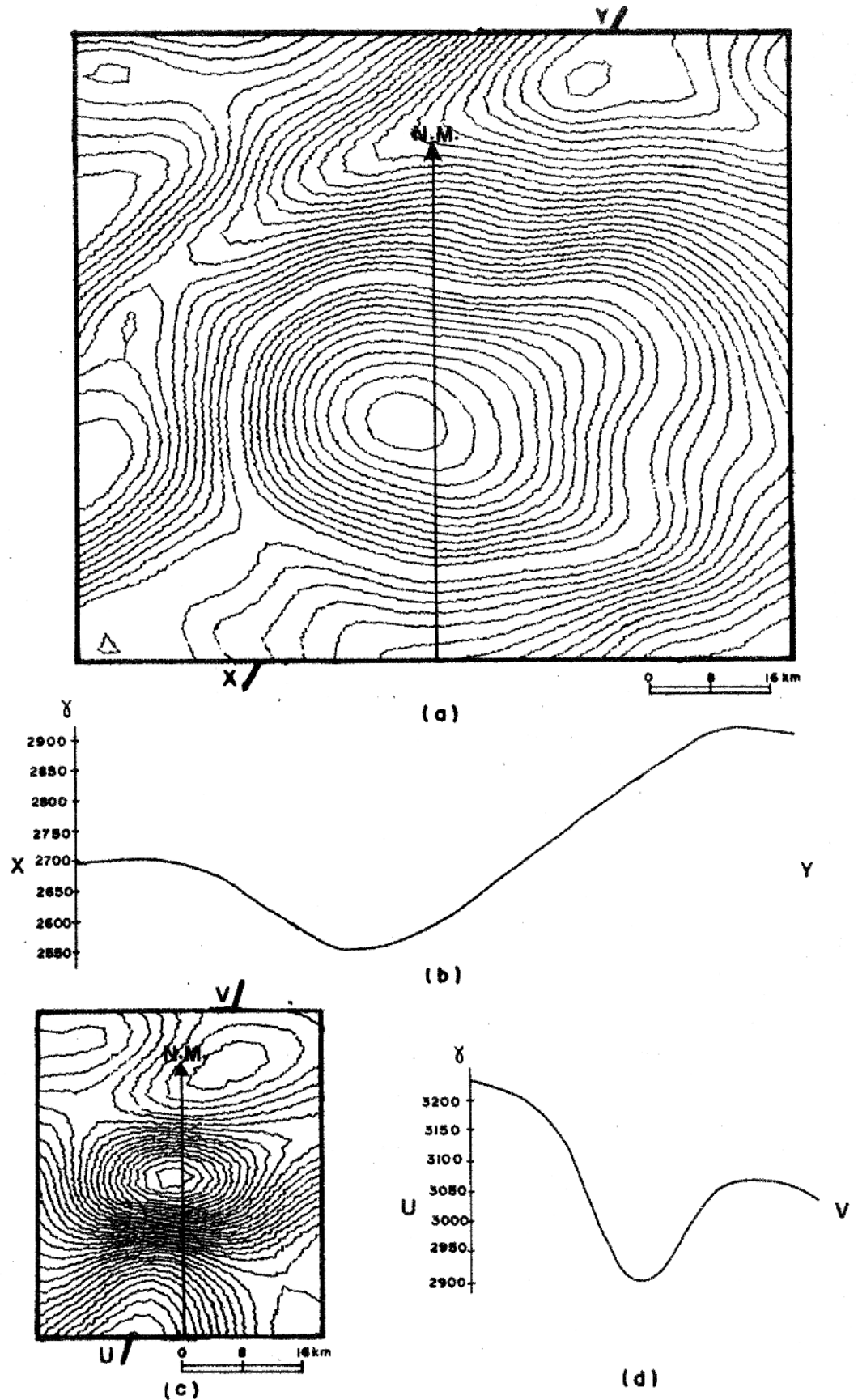


FIG. A2.58 - (a) Anomalia C. Intervalo de contorno 10 gamas (V. localização na Fig. A2.12). (b) Perfil magnético XY. (c) Anomalia B. Intervalo de contorno 10 gamas (V. localização na Fig. A2.12). (d) Perfil magnético UV.

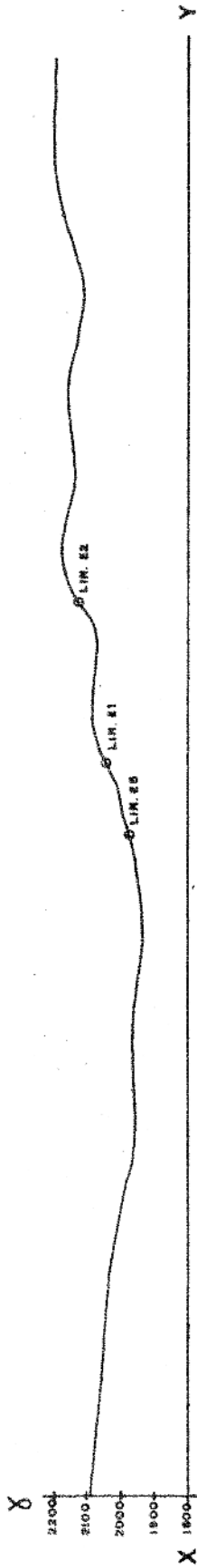


FIG. A2.59-Perfil magnético XY perpendicular aos lineamentos E1,E2 e E5(V.localização na Fig. A2.25)

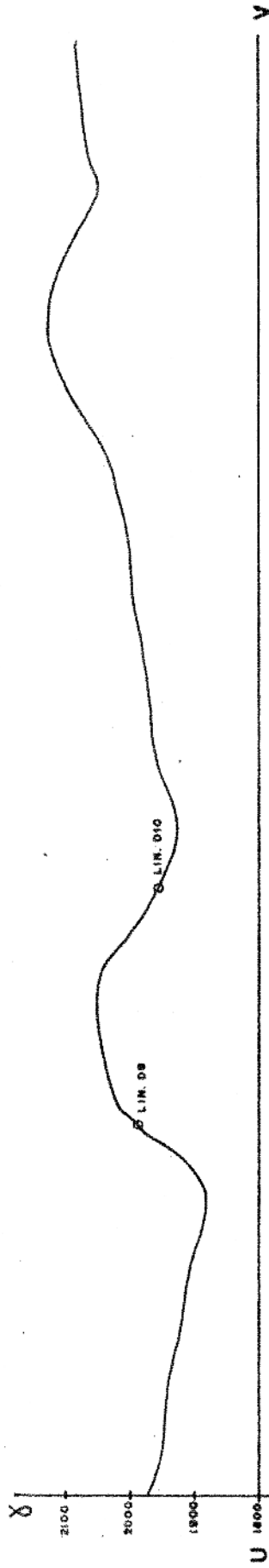


Fig. A2.60 - Perfil magnético UV, perpendicular aos lineamentos D9 e D10 (V. localização na Fig. A2.25).

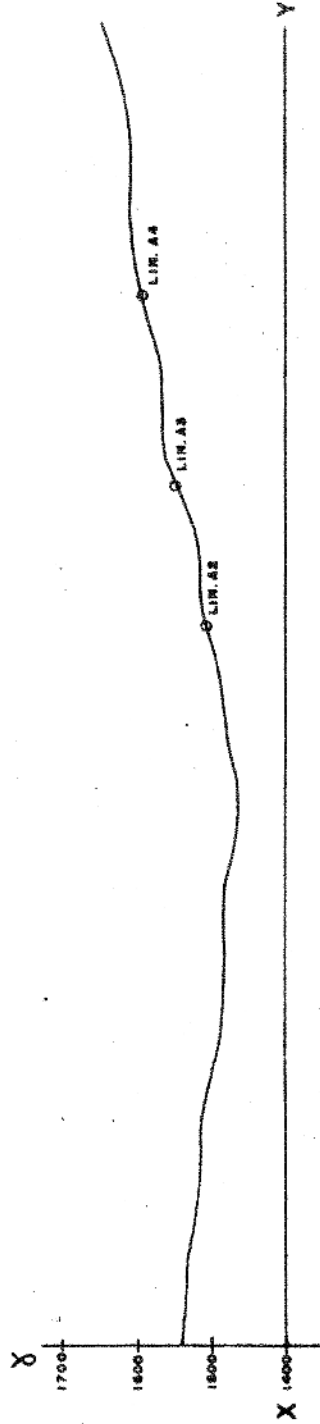
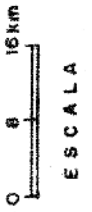


Fig. A2.61 - Perfil magnético XY, perpendicular aos lineamentos A2, A3 e A4 (V. localização na Fig. A2.16).



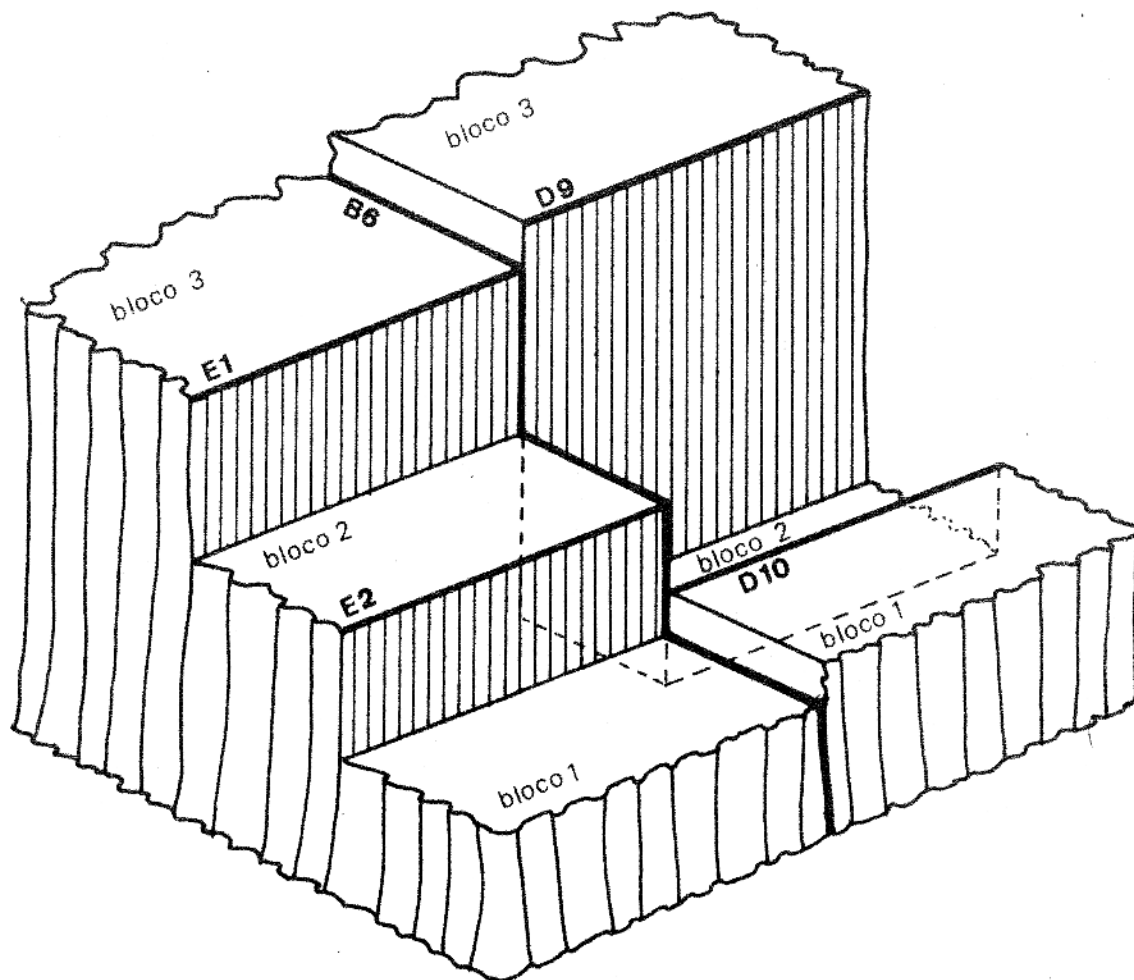
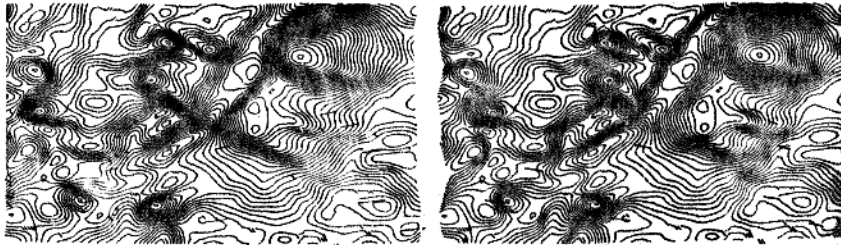


FIG. A2.62 - Representação, em perspectiva, da interpretação estrutural dos lineamentos E1, E2, D9 e D10.



(a)



(b)

0 100 km  
ESCALA

FIG. A2.63 - (a) Par estereoscópico do campo magnético regional com frequência de corte 0,07 ciclos/int.dados. In tervalo de contorno 10 gamas. (b) O mesmo campo mostrando os lineamentos aeromagnéticos.

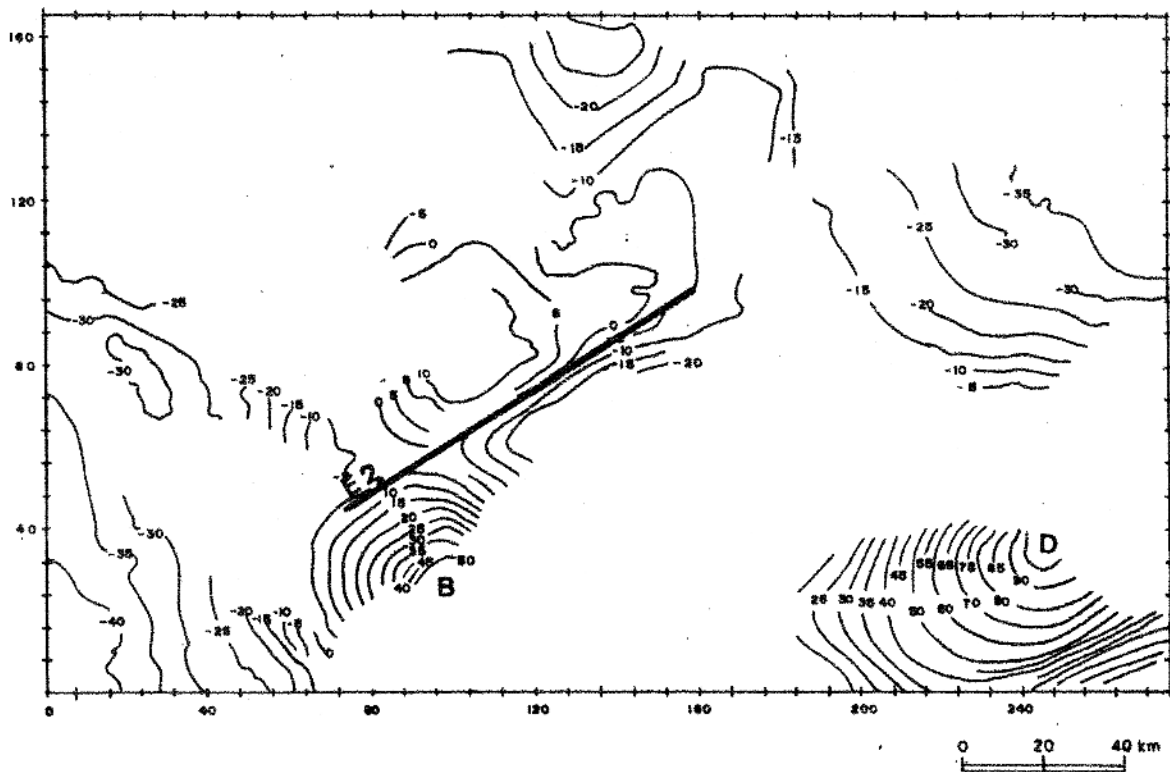


FIG. A3.1 - Mapa gravimétrico Bouguer. Intervalo de contorno 5 miligals.

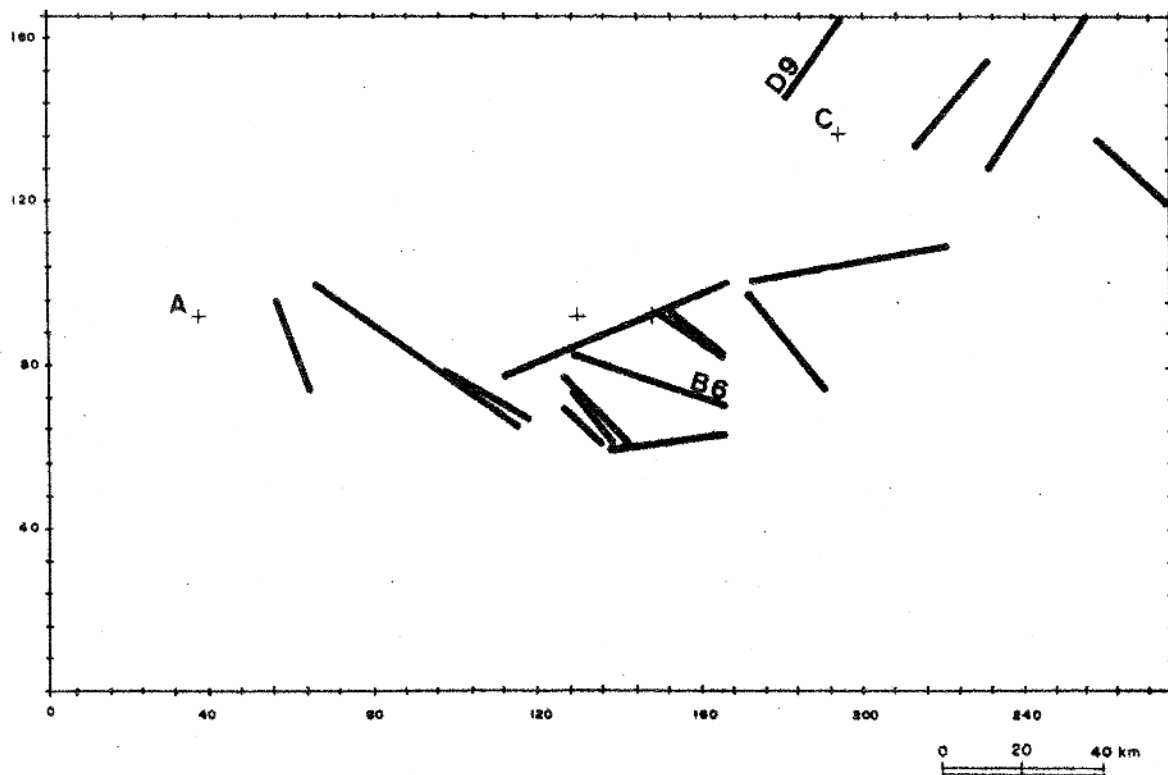


FIG. A3.2 - Falhas e altos estruturais ( ) mapeados pela sísmica.

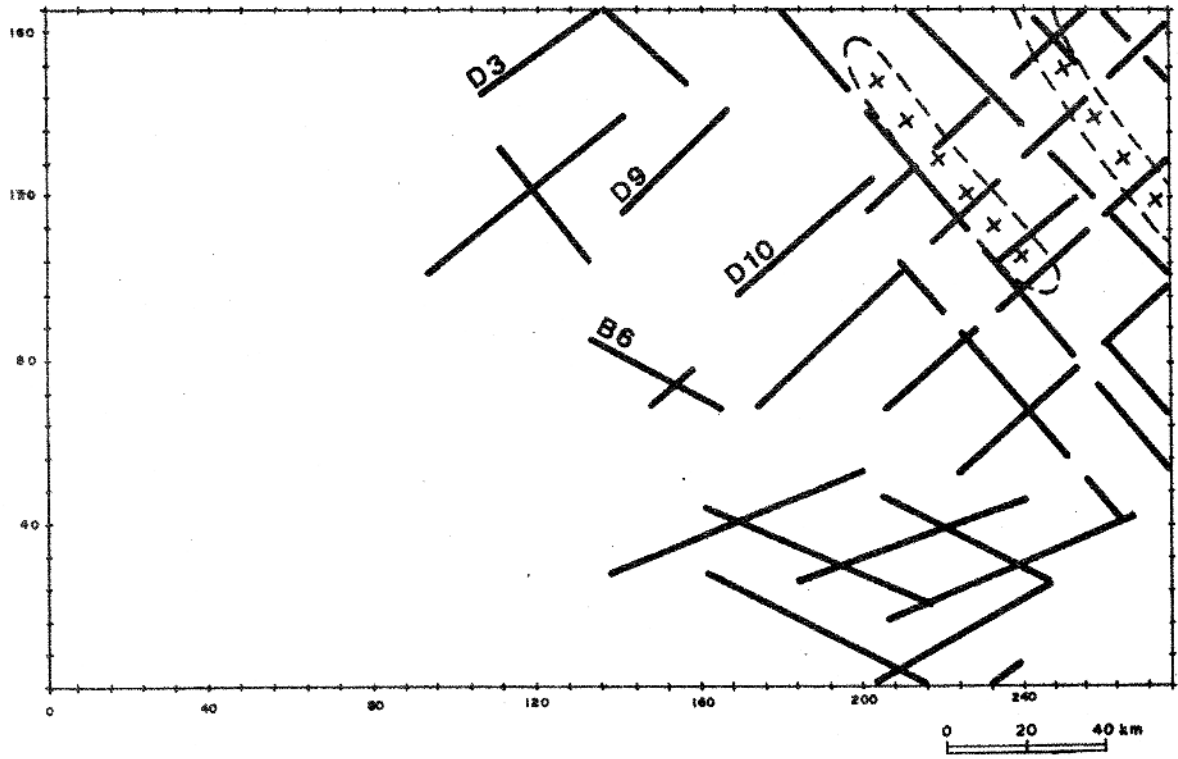


FIG. A3.3 - Lineamentos interpretados por foto aérea.