

**UMA NOVA ABORDAGEM NA INTERPRETAÇÃO DE  
ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS EM BACIAS  
SEDIMENTARES – EXEMPLO DA BACIA DO  
RECÔNCAVO, BAHIA, BRASIL**

por

**PAULO DE TARSO LUIZ MENEZES**

Geólogo (Universidade do Estado do Rio de Janeiro – 1986)

Tese submetida como requisito parcial ao grau de

**MESTRE EM CIÊNCIAS**

em

**GEOFÍSICA**

ao

Colegiado do Curso de Pós-Graduação em

Geofísica

da

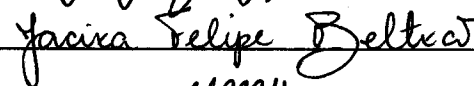
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

Banca Examinadora :

Dr. João Batista C. da Silva (Orientador)

  
\_\_\_\_\_

Dra. Jacira Felipe Beltrão

  
\_\_\_\_\_

Dr. Marco Polo Pereira da Boa Hora

  
\_\_\_\_\_

MC. Jorge Wilson Delgado Leão

  
\_\_\_\_\_

Aprovado : 12/10/1990

**MENEZES, Paulo de Tarso Luiz. Uma nova abordagem na interpretação de anomalias gravimétricas em bacias sedimentares – exemplo da Bacia do Recôncavo, Bahia, Brasil.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1990. 156 p. il.

**Tese (Mestrado em Geofísica) – Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, UFPa., 1990.**

**1. INTERPRETAÇÃO DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS. 2. APLICAÇÕES GRAVIMÉTRICAS – Bacia do Recôncavo, Bahia, Brasil. 3. GRAVIMETRIA APLICADA.**

Há alguns anos atrás, uma turma de jovens geólogos aplaudiam a política de mapeamento geológico básico a ser implementado no Brasil, pois acreditavam que um país que não conhecesse seu subsolo nunca poderia se tornar uma nação. Hoje, amadurecido pelo tempo, um desses geólogos, agora com um visão mais ampla do papel da geologia e geofísica, volta a reafirmar a necessidade do país ter uma séria política para o conhecimento de suas riquezas minerais através de, investimentos e desenvolvimento de técnicas por pesquisadores tupiniquins. Pois somente assim, o Brasil conseguirá se libertar dos grilhões da pobreza e atraso tecnológico, de modo a se tornar uma nação verdadeiramente soberana.

à Eliani

## ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| DEDICATÓRIA .....                                       | i    |
| ÍNDICE .....  | ii   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                 | iv   |
| RESUMO .....  | xiv  |
| ABSTRACT .....  | xvii |
| CAPÍTULO 1. Introdução .....                            | 1    |
| CAPÍTULO 2. Interpretação do Campo Regional .....       | 5    |
| 2.1. Metodologia .....                                  | 5    |
| 2.2. Aplicação a Dados Sintéticos .....                 | 11   |
| 2.2.1. Correção do Nível de Base .....                  | 11   |
| 2.2.2. Contraste de Densidade .....                     | 19   |
| 2.2.3. Nível de Continuação .....                       | 23   |
| CAPÍTULO 3. Interpretação do Campo Residual .....       | 25   |
| 3.1. Metodologia .....                                  | 25   |
| 3.2. Aplicação a Dados Sintéticos .....                 | 29   |
| 3.2.1. Ridge Trace .....                                | 29   |
| 3.2.2. Placa em Vários Níveis e Várias espessuras ..... | 40   |
| 3.2.3. Resolução Lateral .....                          | 52   |
| 3.2.4. Corpos Sobrepostos .....                         | 57   |
| 3.2.5. Corpos Irregulares .....                         | 61   |
| 3.2.6. Falhamentos .....                                | 71   |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2.7. Variação Lateral de Profundidade .....                            | 78  |
| 3.2.8. Gráficos Contraste de Densidade versus Profundidade do Topo ..... | 80  |
| CAPÍTULO 4. Separação Regional-Residual .....                            | 85  |
| 4.1. Metodologia .....   | 85  |
| 4.2. Aplicação a Dados Sintéticos .....                                  | 88  |
| 4.2.1. Interpretação das Componentes Separadas .....                     | 95  |
| CAPÍTULO 5. Geologia da Bacia do Recôncavo .....                         | 101 |
| 5.1. Introdução .....  | 101 |
| 5.2. Estratigrafia .....   | 102 |
| 5.3. Geologia Regional e Arcabouço Estrutural .....                      | 103 |
| CAPÍTULO 6. Interpretação Gravimétrica da Bacia do Recôncavo .....       | 109 |
| 6.1. Introdução .....  | 109 |
| 6.2. Correção de Efeito Crosta-Manto .....                               | 109 |
| 6.3. Interpretação .....   | 119 |
| 6.4. Integração .....  | 136 |
| CAPÍTULO 7. Conclusões .....   | 148 |
| AGRADECIMENTOS .....   | 151 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 152 |

## Índice de Figuras

- Fig. 2.1— Superfície irregular separando dois meios homogêneos de densidades  $\rho_1$  e  $\rho_2$  tomando (a) nível de referência  $d$  como a profundidade média da superfície, e (b) nível de referência acima da superfície. .... 10
- Fig 2.2— (a) Campo gravimétrico sintético, para testes do método de interpretação da componente regional, devido à estrutura 3-D da Figura 2.2b. Intervalo de contorno 20 ug. (b) Bloco diagrama 3-D representando relevo teórico do embasamento de bacia sedimentar. .... 15
- Fig. 2.3— (a) Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando nível  $d_1=2,0$  km,  $\Delta\rho = 400\text{kg/m}^3$  e função minimizada pela norma 2. A-G são pontos onde a profundidade do embasamento é conhecida. Intervalo de contorno 0,1 km. (b) Bloco diagrama 3-D obtido a partir do mapa da Figura 2.3a, representando o relevo do embasamento. . 16
- Fig 2.4— Comparação entre mapas de distâncias verticais em relação ao nível  $z=0$  km, utilizando (a) nível de base correto (662,21 ug) e (b) nível de base errado (800 ug). Intervalo de contorno 0,1 km. .... 17
- Fig. 2.5— Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 2,0$  km,  $\Delta\rho = 400\text{ kg/m}^3$  e função minimizada pela norma 1. Intervalo de contorno 0,1 km. .... 18
- Fig 2.6— Comparação entre mapas de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 2,0$  km, norma 2 e utilizando (a)  $\Delta\rho = 300\text{ kg/m}^3$  e (b)  $\Delta\rho = 500\text{ kg/m}^3$ . Intervalo de contorno 0,1 km. .... 21
- Fig. 2.7— Gráfico da mínima função objeto  $F$  versus o contraste de densidade, para modelo da Figura 2.2b. .... 22
- Fig. 2.8— Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 2,0$  km, norma 2 e  $\Delta\rho = 600\text{ kg/m}^3$ . Intervalo de contorno 0,1 km. .... 22
- Fig. 2.9— Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 1,0$  km, norma 2 e  $\Delta\rho = 400\text{ kg/m}^3$ . Intervalo de contorno 0,1 km. .... 24
- Fig. 2.10— GRáfico da mínima função objetivo  $F$  versus o nível de continuação  $d_1$ , para modelo da Figura 2.2b. .... 24
- Fig. 3.1— Campo gravimétrico sintético devido a modelo de prismas isolados e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. .... 31
- Fig. 3.2— Campo gravimétrico sintético devido ao mesmo modelo da Figura 3.1, acrescido de ruído aleatório. Intervalo de contorno 5 ug. .... 31
- Fig. 3.3— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,00001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 50  $\text{kg/m}^3$ . .... 32
- Fig. 3.4— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,00001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 50  $\text{kg/m}^3$ . .... 32

- Fig. 3.5– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,0001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 33
- Fig. 3.6– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,0001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 33
- Fig. 3.7– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 34
- Fig. 3.8– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 34
- Fig. 3.9– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,01$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 35
- Fig. 3.10– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,01$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 35
- Fig. 3.11– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,1$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 36
- Fig. 3.12– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,1$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 36
- Fig. 3.13– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,2$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 37
- Fig. 3.14– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,2$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 37
- Fig. 3.15– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura

- de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,3$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 38
- Fig. 3.16– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,3$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 38
- Fig. 3.17– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,4$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 39
- Fig. 3.18– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,4$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 39
- Fig. 3.19– Campo gravimétrico sintético devido a modelo prisma isolado e contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. .... 42
- Fig. 3.20– Campo gravimétrico devido ao mesmo modelo da Figura 3.19, acrescido de ruído e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. .... 42
- Fig. 3.21– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 43
- Fig. 3.22– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 43
- Fig. 3.23– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 44
- Fig. 3.24– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 44
- Fig. 3.25– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 45
- Fig. 3.26– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 45

- Fig. 3.27– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 46
- Fig. 3.28– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 46
- Fig. 3.29– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 47
- Fig. 3.30– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 47
- Fig. 3.31– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 48
- Fig. 3.32– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 48
- Fig. 3.33– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 49
- Fig. 3.34– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 49
- Fig. 3.35– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 50
- Fig. 3.36– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 50
- Fig. 3.37– Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade

- do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 51
- Fig. 3.38— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 51
- 3.39— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo de dois prismas e o contorno lateral das fontes (linha grossa). A distância que separa os prismas é de 1,0 km. Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo. .... 54
- Fig. 3.40— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.39, discretizando-se a placa em prismas com 0,5 km de espessura e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo das fontes, empregando  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . 54
- 3.41— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo de dois prismas e o contorno lateral das fontes (linha grossa). A distância que separa os prismas é de 2,0 km. Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo. .... 55
- Fig. 3.42— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.41, discretizando-se a placa em prismas com 0,5 km de espessura e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo das fontes, empregando  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . 55
- 3.43— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo de dois prismas e o contorno lateral das fontes (linha grossa). A distância que separa os prismas é de 2,5 km. Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo. .... 56
- Fig. 3.44— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.43, discretizando-se a placa em prismas com 0,5 km de espessura e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo das fontes, empregando  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . 56
- Fig. 3.45— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 1$  para testes de corpos sobrepostos e contorno lateral dos prismas (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 1$ . .... 58
- Fig. 3.46— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.45, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 58
- Fig. 3.47— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 2$  para testes de corpos sobrepostos e contorno lateral dos prismas (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 2$ . .... 59
- Fig. 3.48— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.47, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 59
- Fig. 3.49— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 3$  para testes de corpos sobrepostos e contorno lateral dos prismas (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 3$ . .... 60

- Fig. 3.50— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.49, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 60
- Fig. 3.51— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 1$  para teste de irregularidade em extensão horizontal e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 1$ . ..... 64
- Fig. 3.52— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.51, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 64
- Fig. 3.53— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 2$  para teste de irregularidade em extensão horizontal e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 2$ . ..... 65
- Fig. 3.54— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.53, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 65
- Fig. 3.55— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 1$  para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 1$ . ..... 66
- Fig. 3.56— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.55, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 66
- Fig. 3.57— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 2$  para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 2$ . ..... 67
- Fig. 3.58— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.57, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 67
- Fig. 3.59— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 3$  para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 3$ . ..... 68
- Fig. 3.60— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.59, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 68
- Fig. 3.61— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^\circ 4$  para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^\circ 4$ . ..... 69
- Fig. 3.62— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.61, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . ..... 69

- Fig. 3.63– (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  5 para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo  $n^{\circ}$  5. .... 70
- Fig. 3.64– Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.61, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 70
- Fig. 3.65– (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 0,3 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C–D do modelo. .... 73
- Fig. 3.66– Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.65, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 73
- Fig. 3.67– (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 0,5 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C–D do modelo. .... 74
- Fig. 3.68– Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.67, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 74
- Fig. 3.69– (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 1,0 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C–D do modelo. .... 75
- Fig. 3.70– Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.69, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 75
- Fig. 3.71– (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito horizontal de 1,0 km e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C–D do modelo. .... 76
- Fig. 3.72– Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.65, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo das fontes, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ . .... 76
- Fig. 3.73– (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 1,0 km e rejeito horizontal de 1,0 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C–D do modelo. .... 77

- Fig. 3.74— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.65, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $kg/m^3$ . ..... 77
- Fig. 3.75— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando variação lateral de densidade e contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C-D do modelo. .... 79
- Fig. 3.76— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.65, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo da fonte, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $kg/m^3$ . .... 79
- Fig. 3.77— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para fonte rasa, cuja profundidade do topo real é 1,9 km. Espessura em km. .... 83
- Fig. 3.78— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para fonte intermediária, cuja profundidade do topo real é 3,1 km. Espessura em km. .... 83
- Fig. 3.79— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para fonte profunda, cuja profundidade do topo real é 5,5 km. Espessura em km. .... 84
- Fig. 4.1— Campo total teórico resultante da superposição do regional teórico (Figura 4.3) e residual teórico (Figura 4.2). Intervalo de contorno 20 ug. .... 90
- Fig. 4.2— Campo residual teórico. Intervalo de contorno 5 ug. .... 91
- Fig. 4.3— Campo regional teórico. Intervalo de contorno 20 ug. .... 91
- Fig. 4.4— Comparação entre residuais obtidos pela subtração dos regionais, ajustados somente pelo método robusto, do campo teórico da Figura 4.1. (a) Polinômio de ordem 7 e (b) polinômio de ordem 12. Intervalo de contorno 5 ug. .... 92
- Fig. 4.5— Comparação entre residuais obtidos pela subtração de diferentes regionais (polinômio de ordem 11), mostrados na Figura 4.6, do campo teórico da Figura 4.1. (a) Método robusto e (b) mínimos quadrados. Intervalo de contorno 5 ug. .... 93
- Fig. 4.6— Comparação entre regionais de ordem 11 obtido por diferentes métodos de separação aplicados ao campo teórico da Figura 4.1. (a) Mínimos quadrados e (b) método robusto. Intervalo de contorno 20 ug. .... 94
- Fig. 4.7— Gráfico da mínima função objeto F versus (a) contraste de densidade, (b) nível de continuação. .... 98
- Fig. 4.8— Mapa de profundidades absolutas obtido pela transformação do campo regional da Figura 4.6b. Intervalo de contorno 0,1 km. .... 99

|   |     |
|---|-----|
| Fig.4.9– Mapa de contraste de densidade aparente, obtido pela transformação do campo residual da Figura 4.52, discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 0,8 km e 0,9 km de espessura, empregando $k=0,2$ e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno $50 \text{ kg/m}^3$ . ....                                 | 99  |
| Fig. 4.10– Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos (a) A e (b) B. Espessura em km. ....  | 100 |
| Fig. 5.1– Mapa de localização da área estudada. ....  | 105 |
| Fig. 5.2– Crono-litoestratigrafia das unidades sedimentares que preenchem as fossas do Recôncavo e Tucano Sul, mostrando os ambientes, sistemas deposicionais e condições tectônicas reinantes durante a acumulação dos diferentes pacotes (segundo Milani, 1985). ....   | 106 |
| Fig. 5.3– Geologia regional e arcabouço estrutural simplificado do rift do Recôncavo– Tucano–Jatobá (segundo Milani, 1985) ....   | 107 |
| Fig. 5.4– Arcabouço estrutural da Bacia do Recôncavo (PETROBRÁS/DEXBA/DINTER, 1985). ....   | 108 |
| Fig. 6.1– Mapa Bouguer do Estado da Bahia (Motta, 1984). Intervalo de contorno $10 \times 10\text{ug}$ ....   | 113 |
| Fig. 6.2– Comparação entre regionais–continentais de diversas ordens, obtidos pelo método robusto aplicado ao campo da Figura 6.1, (a) ordem 1, (b) ordem 2, (c) ordem 3, (d) ordem 4, (e) ordem 5, (f) ordem 6. Intervalo de contorno $5 \times 10\text{ug}$ . ....  | 115 |
| Fig. 6.3– Mapa Bouguer das Bacias do Recôncavo , Tucano Sul e embasamento adjacente (PETROBRÁS, 1970). Intervalo de contorno $2 \times 10\text{ug}$ . ....  | 117 |
| Fig. 6.4– Mapa Bouguer corrigido do efeito gravimétrico da interface crosta–manto, somente Bacia do Recôncavo. Intervalo de contorno $2 \times 10\text{ug}$ . ....  | 118 |
| Fig. 6.5– Mapa do Campo regional da área estudada, obtido pela aplicação do método robusto a anomalia Bouguer corrigida da Figura 6.4, utilizando um polinômio de ordem 13. Intervalo de contorno $2 \times 10\text{ug}$ . ....   | 125 |
| Fig. 6.6– Mapa do campo residual da área estudada, obtido pela subtração do regional ordem 13 da Figura 6.5 do campo da Figura 6.4. Intervalo de contorno $2 \times 10\text{ug}$ . ....   | 126 |
| Fig 6.7– Mapa de profundidades absolutas para a área estudada, obtido pela transformação do campo regional da Figura 6.5 e a localização dos poços que alcançaram o embasamento (1 a 7 dentro de círculos). Intervalo de contorno 0,2 km. ....  | 127 |
| Fig. 6.8– Gráficos da mínima função objeto versus (a) contraste densidade, (b) nível de continuação. ....   | 128 |
| Fig. 6.9– Mapa de contraste de densidade aparente para a área estudada, obtido pela transformação do campo residual da Figura 6.6, discretizando-se a placa que presumivelmente contém as fontes, em prismas com espessura de 1,0 km e profundidade do topo de 0,5 km e empregando-se $k=0,2$ . Intervalo de contorno $0,1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . .... | 129 |
| Fig. 6.10– Contornos laterais dos corpos causadores da anomalia residual, delineados no mapa de contrastes de densidade aparente (Figura 6.9). ....   | 130 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig.6.11– Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 1, (b) 8, (c) 10, (d) 14. Espessura em km. .... | 131 |
| Fig.6.12– Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 2, (b) 3, (c) 4, (d) 5. Espessura em km. ....   | 132 |
| Fig.6.13– Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 6, (b) 7, (c) 9, (d) 11. Espessura em km. ....  | 133 |
| Fig.6.14– Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 12, (b) 13. Espessura em km. ....               | 134 |
| Fig. 6.15– Mapa de profundidades relativas para os corpos mapeados, baseado na interpretação da família de curvas dos corpos numerados. ....  | 135 |
| Fig. 6.16– Seções geológicas (a) A–A' e (b) B–B', transversais à Bacia do Recôncavo (modificado de Milani, 1985). ....  | 141 |
| Fig. 6.17– Seções geológicas (a) C–C' e (b) D–D', transversais à Bacia do Recôncavo (modificado de Milani, 1985). ....  | 142 |
| Fig. 6.18– Seções geológicas (a) E–E' e (b) F–F', respectivamente transversal e longitudinal à Bacia do Recôncavo (modificado de Milani, 1985). ....  | 143 |
| Fig. 6.19– Mapa de isópacas. Fanglomerados da borda leste da Bacia do Recôncavo (segundo Netto et al., 1984). ....  | 144 |
| Fig. 6.20– Modelo deposicional esquemático da Formação Salvador (segundo Netto et al., 1984). ....  | 145 |
| Fig. 6.21– Arcabouço estrutural simplificado da Bacia do Recôncavo (segundo Netto et al., 1984) ....  | 146 |
| Fig. 6.22– Arcabouço estrutural simplificado, construído com base na interpretação do mapa de contraste de densidade aparente. ....   | 147 |

**UMA NOVA ABORDAGEM NA INTERPRETAÇÃO DE  
ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS EM BACIAS SEDIMENTARES—  
EXEMPLO DA BACIA DO RECÔNCAVO, BAHIA, BRASIL**  
(TESE DE MESTRADO : Set./90)

PAULO DE TARSO LUIZ MENEZES  
Orientador : Dr. João Batista C. da Silva

*Departamento de Geofísica — Centro de Geociências/UFPa  
Caixa Postal 309 — Belém, PA, Brasil*

**RESUMO**

No estudo de bacias sedimentares a interpretação de anomalias gravimétricas assume grande importância. No entanto, devido ao fato dessas anomalias serem resultantes da soma total dos efeitos produzidos por todos os contrastes de densidade em subsuperfície, esta interpretação é dificultada. Desta maneira, para separar os efeitos de feições mais profundas (relevo do embasamento) dos efeitos de feições mais rasas (fontes intra-sedimentares), é aplicado um método de separação regional-residual do campo. A subsequente interpretação de cada componente tem como objetivo, a caracterização da geometria dos dois conjuntos de feições.

A metodologia empregada na separação regional-residual dos dados gravimétricos é a de ajuste polinomial utilizando um método robusto. Este método é iterativo e utiliza a solução obtida através do ajuste polinomial pelo método dos mínimos quadrados como aproximação inicial. Na metodologia empregada, a influência de observações contendo forte contribuição do campo residual é minimizada no ajuste do campo regional.

A componente regional obtida a partir da separação regional-residual é transformada em um mapa de profundidades absolutas da interface representando o relevo do embasamento. Esta transformação é efetuada iterativamente, cada iteração sendo constituída de quatro etapas. A primeira consiste no cálculo da componente regional corrigida do efeito de um nível de base, que é representado por umipolinômio de ordem 1 inicializado com coeficientes nulos. A segunda consiste na continuação para baixo da componente regional corrigida, que é pressuposta ser causada por uma superfície suave separando dois meios homogêneos, representando a interface sedimentos-embasamento, com um determinado contraste de densidade. A terceira etapa, consiste na transformação do mapa de continuação para baixo, em um mapa de distâncias verticais

entre o nível de continuação e a interface. Na quarta etapa, através da introdução de informação independente sobre a profundidade da interface em um número de pontos conhecidos, é calculado o valor do resíduo entre a profundidade estimada pelo método e a profundidade real em cada ponto. As iterações são controladas por um método de busca direta, onde os coeficientes do polinômio de ordem 1 são modificados de modo a obter aqueles que minimizem uma norma dos resíduos. Assim é determinado o nível de base que melhor incorpore a informação introduzida sobre a fonte regional. Em consequência, é obtido o mapa do relevo da interface com profundidades absolutas.

A componente residual proveniente da separação regional-residual é transformada em um mapa de contrastes de densidade aparente. Esta transformação consiste em, através de inversão linear, calcular a intensidade de propriedade física de várias fontes prismáticas. Nesta metodologia, é presumido que as fontes reais estejam contidas em uma placa horizontal, com variação de propriedade física apenas nas direções horizontais.

O desempenho do método de separação regional-residual utilizado, foi avaliado através de testes empregando dados sintéticos, fornecendo resultados superiores ao método dos mínimos quadrados.

O método de interpretação da componente regional apresentado, foi avaliado em testes com dados sintéticos, produzindo mapeamento de interfaces bem próximas das estruturas reais, não sendo necessário conhecer a priori o contraste de densidade entre os dois meios e o nível de continuação. Estes parâmetros são escolhidos de modo a minimizar uma norma do resíduo entre a profundidade estimada pelo método e a profundidade real em cada ponto.

Para aplicação do método de interpretação da componente residual, é necessário que se postule ou tenha informação a priori sobre a profundidade do topo e a espessura da placa onde as fontes estão supostamente confinadas. Entretanto, os testes em dados sintéticos mostram que, mesmo para valores diferentes dos verdadeiros para profundidade do topo e espessura da placa, são obtidas estimativas razoáveis para os limites laterais das fontes. A construção de gráficos de valores de contrastes de densidade aparente versus profundidade do topo da placa, para diversos valores postulados para espessura da placa, permitem interpretações semi-quantitativas das profundidades das fontes reais. Além disso, a ambiguidade envolvendo profundidade do topo da placa, espessura e contraste de densidade pode ser visualizada por este tipo de gráfico.

A sequência dos três métodos foi aplicada a dados gravimétricos da Bacia do Recôncavo levando ao reconhecimento das principais feições, de caráter regional, do relevo do embasamento desta bacia. É ainda sugerida a presença de uma nova falha transcorrente, paralela à Falha de Mata-Catu, com base nas evidências fornecidas pela interpretação da anomalia residual e de dados geológicos.

**A NEW APPROACH IN THE INTERPRETATION OF  
GRAVITY ANOMALIES IN SEDIMENTARY BASINS – EXAMPLE  
OF THE RECONCAVO BASIN, BAHIA, BRAZIL**  
(MASTER THESIS : Sept./90)

PAULO DE TARSO LUIZ MENEZES  
Adviser : Dr. João Batista C. da Silva

*Departamento de Geofísica – Centro de Geociências/UFPa  
Caixa Postal 309 – Belém, PA, Brasil*

**ABSTRACT**

Interpretation of gravity anomalies is important in the study of sedimentary basin. However, it presents some difficulties because gravimetric anomalies are produced by the sum of all effects due to every density contrast in the subsurface. To overcome this difficulty, we apply a regional–residual separation method, in order to isolate the effects of the regional sources (basement relief) from the effects of the residuals sources (sediments). The interpretation of each component leads to a possible geometry for each type of sources.

The regional–residual separation method employed is the polynomial fitting, using a robust procedure to determine the coefficients of the polynomial fitted to the observations. This method is iterative and employs the least–squares fit as an initial approximation. The robust method, minimizes the influence of observations having a great residual contribution in fitting the regional component.

The regional component given by the regional–residual separation is transformed into a map of depths to the basement. This transformation is iterative, each iteration consisting of four stages. At the first stage, we calculate the regional component corrected to the effect of a base level, which is represented by a polynomial of order 1, initialized with null coefficients. The second stage consists in the downward continuation of the corrected regional component, which is presumably caused by a smooth interface separating two homogeneous media, representing the sediment–basement interface. At the third stage, the downward continued map is transformed into a map of interface depths referred to the downward continuation level. At the fourth stage, using independent information about the interface depth at a few points, we calculate at each point, the residual between the real and the computed depths to the basement. The iteration is controlled by

a direct search method, which modifies the polynomial coefficients in order to minimize a norm of the residual vector computed at the fourth stage. As a result, we obtain the base level which best incorporates the a priori information about the depths of the regional sources. A map of absolute basement depths is therefore obtained.

The residual component obtained by the regional-residual separation is transformed into an apparent density contrast map. This transformation consists of a linear inversion, producing estimates of the physical property of prismatic sources, presumably confined within a horizontal slab. The physical property is assumed to vary along the horizontal directions only.

The performance of the regional-residual separation method was assessed using synthetic data, producing better results than the least-squares method.

The performance of the regional component interpretation, was evaluated using synthetic data. The method produced interfaces close to the true structures. In the absence of a priori information about the regional source depths, it is necessary to know a priori the density contrast between the two media and the continuation level. On the other hand, when a priori information about the depths is available from boreholes, for example, both parameters can be estimated by selecting those which minimize a norm of the vector of residuals between the real and the computed depths at each point.

In order to apply the residual interpretation method it is necessary that the depth to the top and the thickness of the slab which presumably contains the sources be known. However, tests using synthetic data showed that the horizontal outline of the sources may be obtained even when wrong assumptions are made about these two parameters. On the other hand, the ambiguity involving the depth to the top, the thickness and the apparent density contrast may be visualized at graphics involving these three parameters. Depending on the quality and quantity of a priori information about these parameters, quantitative or semi-quantitative interpretations may be performed.

The sequence of methods described above was applied to gravity data from the Recôncavo Basin leading to the identification of the major regional structural basement features. A new strike-slip fault is evidenced by the residual gravity anomaly and the available geological information.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Os métodos geológicos, no estudo de bacias sedimentares, são limitados a observações na superfície, e mesmo as informações providas de furos de sondagem são restritas ao local do furo (informações pontuais). Com o intuito de produzir informações sobre a disposição das camadas sedimentares e relevo do embasamento, os métodos geofísicos têm sido extensivamente utilizados como suporte, tanto na caracterização dos eventos físicos-geológicos como na proposição de modelos geotectônicos. O método geofísico mais comumente utilizado nestas situações é o sísmico. Entretanto, sua utilização em larga escala é bastante dispendiosa, só sendo realizada se a bacia em questão tiver, comprovadamente, alto potencial exploratório. Por isso, o método é conhecido como de detalhe, sendo utilizado nas fases mais avançadas da pesquisa. Ao contrário, os métodos de campos potenciais são mais conhecidos como métodos de reconhecimento, por serem mais econômicos, rápidos e operacionalmente eficientes na obtenção das medidas, quando comparados com a sísmica. Sua utilização era comumente restrita às fases iniciais da pesquisa e como suporte na interpretação de dados sísmicos e geológicos na locação de furos de sondagem. No entanto, a partir do início da década de 80, cresce o número de estudos abordando os aspectos regionais da evolução de bacias sedimentares, os quais utilizam como importante suporte os métodos de campos potenciais, em especial o método gravimétrico. Desta forma, surgem novas metodologias na interpretação de dados gravimétricos para os diversos estágios da pesquisa.

Há duas abordagens na interpretação de dados gravimétricos em bacias sedimentares. Utilização direta da anomalia Bouguer e separação desta em componentes regional e residual. Os métodos de interpretação que utilizam a anomalia Bouguer podem ser agrupados da seguinte maneira: métodos de modelamento quantitativo exclusivamente de anomalias gravimétricas de fontes regionais e residuais sem separar os dois efeitos (Milani, 1985; Ussami, 1986), ou em conjunto com outros métodos geofísicos (Debeglia e Weber, 1985).

Os métodos de separação são divididos em três categorias (Nettleton, 1976): gráfico, métodos espectrais e ajuste de polinômio.

O método gráfico é muito lento (não é automatizado) sendo baseado na suavidade do campo

regional. Sua aplicação em dados representados por mapas de contorno, apresenta dificuldades. Uma característica distintiva é a subjetividade do método, que pode ser vantajosa ou prejudicial, dependendo da experiência do intérprete e sua capacidade de incorporar informação a priori (Skeels, 1967; Gupta e Ramani, 1980). Podem-se efetuar interpretações quantitativas após a separação, o que é feito geralmente, através da componente residual ( Mukhopadhyay et al., 1986; Fairhead e Okereke, 1987).

Os métodos espectrais fazem a separação através do espectro da anomalia (Syberg, 1972), aproveitando o fato das baixas frequências serem características do campo regional. A filtragem é feita por um filtro com característica de passa-baixa. Este método é mais rápido e menos subjetivo que o anterior. De um modo geral, a separação apresenta alguns problemas devido à superposição dos espectros regional e residual, o que causa dois tipos de erro: distorção do sinal e transmissão de ruído. Jacobsen (1987) mostrou que a soma total desses dois erros pode ser minimizada aplicando-se um filtro de Wiener. Outro problema é a incorporação do conteúdo espectral da frequência zero no regional, que contamina o residual com pseudo-anomalias (Ulrych, 1968). Como no método gráfico, as interpretações concentram-se normalmente na componente residual (Elkins, 1951; Nettleton, 1954).

O modelamento do campo regional por polinômios (Agocs, 1951; Simpson Jr., 1954) tem largo emprego como método de separação regional-residual. O polinômio é ajustado ao campo total, por isso o modelamento de um regional muito complexo por um polinômio de grau muito alto apresenta um efeito similar à transmissão de ruído no método espectral. Do mesmo modo, se o modelamento for feito por um polinômio de grau muito baixo, o efeito que aparece é similar à distorção do sinal. O método mais utilizado é o dos mínimos quadrados, onde, para o caso da função ajustante conter um termo constante a soma dos resíduos é sempre zero, o que implica na presença de resíduos positivos e negativos. Uma possível escolha do grau ajustante, dada por Abdelrahman et.al. (1985), é baseada na correlação dos resíduos de graus sucessivos. Do mesmo modo que nos métodos anteriores, as interpretações, neste caso, tem sido feitas com a componente residual (El-Batrouk e Zentani, 1980).

Na interpretação das fontes regionais, a determinação das profundidades de uma interface que separa dois meios homogêneos, foi inicialmente proposta por Bott (1960), aproximando o volume

acima da interface por conjunto de prismas verticais justapostos, com suas profundidades da base representando as profundidades da interface. Oldenburg (1974) apresenta abordagem baseada na fórmula de Parker (1973), a qual relaciona a transformada de Fourier do campo gravimétrico com uma série infinita de transformadas de Fourier de potências crescentes da função  $h(x,y)$  que descreve as profundidades da interface em relação a um nível de referência. Gerard e Debeglia (1975) utilizam a razão entre o contraste de densidade real e uma distribuição superficial de densidade ( $\rho_s$ ) obtida a partir do campo continuado para um nível de referência ( $r_1$ ), para calcular a profundidade da interface em relação a esse nível. Nessa metodologia  $\rho_s$  e  $r_1$  são obtidos a partir de estudo estatístico do espectro de potência do campo.

Na interpretação de fontes residuais (sedimentos) o método mais comumente empregado, é o modelamento direto iterativo de Talwani (Talwani et al., 1959) para fontes 2-D (Milani, 1985), ou extensão desse método para fontes 2,5-D, através da fórmula para correção de borda de Nettleton (1976) (Ussami, 1986).

Embora a metodologia do mapeamento de densidade (Paterson e Reeves, 1985) tenha sido inicialmente proposta para aplicação na prospecção mineral, as premissas para a sua aplicação permanecem válidas para utilização em bacias sedimentares. A metodologia do mapeamento de densidade, leva em conta a informação que as fontes estão confinadas a uma placa horizontal. Esta metodologia pode ser aplicada tanto no domínio dos espaços, quanto no domínio da frequência (Gupta e Grant, 1985).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para modelamento de bacias sedimentares usando dados gravimétricos. O modelamento é feito através das interpretações dos campos regional e residual, previamente separados.

Para a separação regional-residual o método a ser empregado no presente trabalho, é o proposto por Beltrão (1989), que consiste no ajuste de polinômio usando um método robusto. A vantagem decorrente dessa abordagem é que o método minimiza possíveis pseudo-anomalias de sinal oposto ao sinal da anomalia verdadeira, presentes no caso de ajuste através do método dos mínimos quadrados.

A interpretação da componente regional é baseada na abordagem de Beltrão (1989), modi-

ficada para incorporar informação a priori sobre a profundidade do embasamento em alguns pontos.

O campo residual é modelado utilizando mapeamento de densidade, presumindo que este seja devido a variações exclusivamente laterais de densidade. Este mapeamento é feito através de algoritmo apresentado por Leão e Silva (1989) modificado para a gravimetria.

A metodologia proposta é aplicada à Bacia do Recôncavo, de modo a definir um arcabouço estrutural para a mesma, através da interpretação de mapas do relevo do embasamento e de contraste de densidade aparente para fontes residuais (intra-sedimentares). O capítulo 2 versa sobre a interpretação da componente regional, onde são realizados testes utilizando dados sintéticos, visando obter a resposta do método proposto para diferentes situações geológicas simuladas. Da mesma forma, o capítulo 3 contém testes com dados sintéticos para a metodologia do mapeamento de densidade. Os testes de modelos sintéticos para a separação regional-residual encontram-se no capítulo 4. Este ainda contém as interpretações das componentes separadas através da metodologia proposta. No capítulo 5, é feita uma revisão bibliográfica sobre a geologia da Bacia do Recôncavo abordando alguns aspectos da estratigrafia, geologia regional e arcabouço estrutural da bacia. No capítulo 6, aplicou-se a sequência dos três métodos propostos aos dados gravimétricos da Bacia do Recôncavo, corrigidos do efeito da interface crosta-manto, obtendo-se mapas do relevo do embasamento e contraste de densidade aparente de fontes residuais. A interpretação desses mapas leva a uma definição do arcabouço estrutural da Bacia do Recôncavo

## CAPÍTULO 2

## INTERPRETAÇÃO DO CAMPO REGIONAL

## 2.1—Metodologia

Seja uma superfície suave  $h(x, y)$  (Figura 2.1a) separando dois meios homogêneos com densidades  $\rho_1$  e  $\rho_2$ , referida a um nível arbitrário  $z = d$ . O potencial gravimétrico  $U(x, y, 0)$  devido à distribuição de massa compreendida entre o plano  $z = d$  e a superfície  $h(x, y)$  é dado por:

$$U(x, y, 0) = \gamma \Delta \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} dx' dy' \left[ \int_d^{d+h(x,y)} \frac{dz'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]^{1/2}} \right]_{z=0}, \quad (1)$$

onde  $\gamma$  é a constante gravitacional e  $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$  é o contraste de densidade entre os dois meios.

Para uma interface suave e  $|h| \ll d$  o denominador em (1) é quase constante; portanto, o potencial fica:

$$U(x, y, 0) = \gamma \Delta \rho \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{h(x', y') dx' dy'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-d)^2]^{1/2}} \right]_{z=0} \quad (2)$$

A componente vertical  $g_z$  do campo é:

$$g_z = \left[ \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial z} \right]_{z=0} = \gamma \Delta \rho \left[ (z-d) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{h(x', y') dx' dy'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-d)^2]^{3/2}} \right]_{z=0} \quad (3)$$

A resolução da equação de Laplace com condição de contorno de Neuman fornece:

$$U(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g_z(x', y', d) dx' dy'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-d)^2]^{1/2}} \quad (4)$$

O campo em  $z=0$  é:

$$g_z(x, y, 0) = \left[ \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial z} \right]_{z=0} = \left[ \frac{(z-d)}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g_z(x', y') dx' dy'}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-d)^2]^{3/2}} \right]_{z=0} \quad (5)$$

As equações (3) e (5) podem ser igualadas se:

$$h(x, y) = \frac{g_z(x, y, d)}{2\pi\gamma\Delta\rho} \quad (6)$$

Assim, a profundidade da interface  $h(x, y)$  (em relação ao nível de referência  $d$ ), pode ser determinada através da equação (6), desde que se conheça o campo gravimétrico em  $z=d$  e o contraste de densidade entre os dois meios.

A equação (4) é a resolução da equação de Laplace, a qual só tem validade para regiões fora das fontes. Deste modo, é necessário que o nível  $d$  esteja acima das fontes. Assim, para levar em conta esta restrição, isola-se a região contendo as fontes anômalas com dois planos horizontais situados em  $z = d_1$  e  $z = d_2$  (Figura 2.1b). Desta maneira, o campo anômalo em  $d_1$  devido à distribuição de massa situada na parte pontilhada da Figura 2.1b, pode ser obtido pela subtração de dois campos. O primeiro, é o produzido pela placa de espessura  $t = d_2 - d_1$  e contraste de densidade  $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$ , e o segundo campo ( $g_{zh}$ ) produzido pela parte hachurada (Figura 2.1b)

com o mesmo contraste de densidade. A expressão de  $g_{zh}$  pode ser relacionada com  $h(x, y)$  de acordo com o desenvolvimento acima, através da equação (6):

$$g_{zh}(x, y, d_1) = 2\pi\gamma\Delta\rho h(x, y) . \quad (7)$$

O campo anômalo em  $d_1$  é :

$$g_z(x, y, d_1) = 2\pi\gamma\Delta\rho t - g_{zh}(x, y, d_1) , \quad (8)$$

ou, levando em conta a equação (7):

$$g_z(x, y, d_1) = 2\pi\gamma\Delta\rho t - 2\pi\gamma\Delta\rho h(x, y) . \quad (9)$$

Assim:

$$h(x, y) = \frac{2\pi\gamma\Delta\rho t - g_z(x, y, d_1)}{2\pi\gamma\Delta\rho} . \quad (10)$$

Deste modo, o relevo da interface pode ser obtido conhecendo-se o contraste de densidade  $\Delta\rho$ , a espessura  $t$  da placa envolvendo a interface e o campo gravimétrico em  $d_1$ .

O contraste de densidade deve ser estimado a partir de informação a priori independente da gravimetria, como por exemplo, através da medida de densidade de amostras de rochas que ocorrem na superfície, ou na análise de perfis de densidade em furos de sonda.

A espessura  $t$  da placa pode ser estimada iterativamente a partir de um valor a priori  $t_1$ . Usando este valor  $t_1$ , calcula-se  $h(x, y)$  na equação (10), substitui-se  $t_1$  por  $t_2$  ( $0 < t_2 < t_1$ ), repetindo-se o processo até que apareçam valores negativos de  $h(x, y)$  a partir de  $t_n$ , o que significa que a placa tem espessura menor que a real; portanto, toma-se  $t_{n-1}$  como estimativa para a espessura.

O método acima descrito (Beltrão, 1989) produz estimativas bastante próximas da interface real, mesmo em situações onde as premissas necessárias para a aplicação do método são parcialmente violadas. Entretanto, este procedimento apresenta duas dificuldades. A primeira está ligada à operação de continuação para baixo, onde os altos números de onda são extremamente amplificados, havendo portanto a necessidade do emprego de um filtro atenuador nos altos números de onda, acarretando deste modo perda de resolução das feições. A segunda, e sem dúvida a mais crítica, é inerente aos métodos de campos potenciais e consiste na impossibilidade da determinação das profundidades absolutas da interface em cada ponto. No entanto, basta o conhecimento da profundidade absoluta em um ponto, através de informação independente, para que todas as outras profundidades absolutas sejam determinadas (Beltrão, 1989).

Como no estudo de bacias sedimentares frequentemente tem-se acesso à informação da profundidade do embasamento em alguns pontos, devido a sondagem, desenvolveu-se uma extensão da metodologia de Beltrão (1989), com o propósito de determinar profundidades absolutas.

O método proposto consiste em, primeiramente, calcular o campo gravimétrico anômalo corrigido do efeito de um nível de base, que é representado por um polinômio de grau 1 (plano sub-horizantal a horizontal). Matematicamente temos:

$$g_z^c(x, y, 0) = g_z(x, y, 0) + P_1(x, y) \quad , \quad (11)$$

onde :  $g_z^c$  - campo gravimétrico corrigido do efeito de nível de base

$g_z$  - campo gravimétrico em  $(x, y, 0)$

$P_1$  - polinômio de grau 1 representando nível de base .

A partir deste campo corrigido calcula-se a interface  $h(x, y)$  que é dada por:

$$h(x, y) = \frac{2\pi\gamma\Delta\rho t - g_z^c(x, y, d_1)}{2\pi\gamma\Delta\rho} \quad , \quad (12)$$

onde  $g_z^c(x, y, d_1)$  é o campo corrigido continuado para baixo, próximo ao nível das fontes.

Conhecendo a profundidade real da interface em  $M$  pontos, calcula-se o valor dos resíduos em cada ponto conhecido. Define-se então, a função  $F$ , através de uma das duas expressões abaixo:

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^M [Obs(x_i, y_i) - h(x_i, y_i)]^2} \quad (13)$$

$$F = \sum_{i=1}^M |Obs(x_i, y_i) - h(x_i, y_i)| \quad , \quad (14)$$

onde  $Obs(x_i, y_i)$  é a profundidade real da interface no ponto  $(x_i, y_i)$  e  $h(x_i, y_i)$  é a profundidade calculada em  $(x_i, y_i)$ .

Utilizando um método de busca direta (Nelder e Mead, 1964), ajustam-se os coeficientes do polinômio de ordem 1, de modo a obter aqueles que minimizem a função  $F$ . Desta forma obtém-se o nível de base que melhor incorpore a informação a priori. Consequentemente, obtém-se o mapa do relevo da interface com profundidades absolutas.

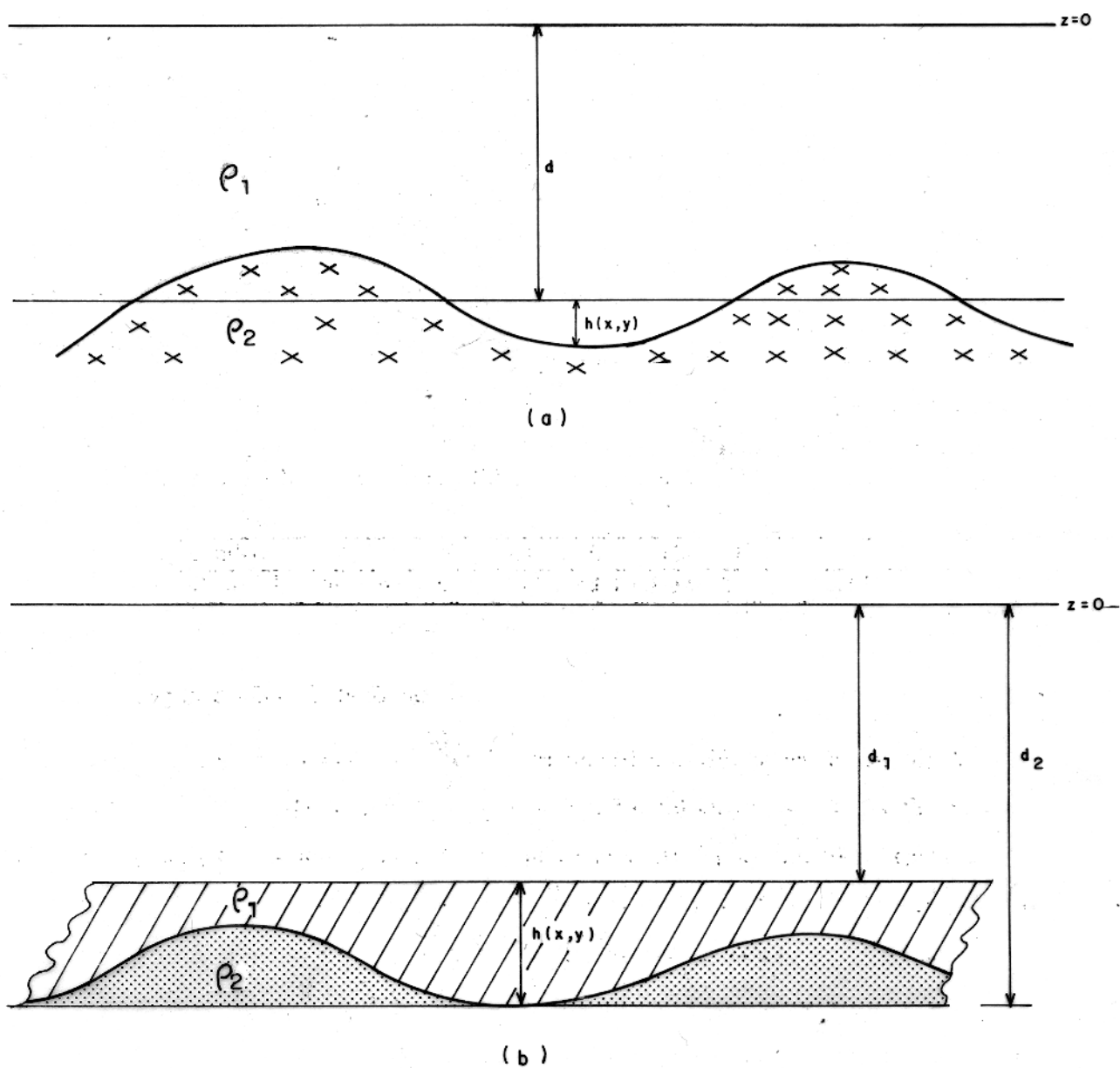


Figura 2.1—Superfície irregular separando dois meios homogêneos de densidades  $\rho_1$  e  $\rho_2$  tomando (a) nível de referência  $d$  como a profundidade média da superfície, e (b) nível de referência acima da superfície.

## 2.2—Aplicação a Dados Sintéticos

Com objetivo de avaliar o desempenho do método proposto este foi aplicado a anomalia gravimétrica (Figura 2.2a) produzida por modelo simulando o relevo do embasamento de bacia sedimentar por fontes tridimensionais (3-D) (Figura 2.2b). Todos os testes com o método proposto foram realizados utilizando informação da profundidade da interface sedimento—embasamento nos 7 pontos da Tabela 2.1, assinalados na Figura 2.3a. Nas próximas seções são descritos testes, envolvendo o efeito de se desconhecer, a correção do nível de base, o contraste de densidade e o nível de continuação.

Tabela 2.1 - Lista de pontos utilizados na interpretação do campo regional

| Pontos            | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Profundidade (km) | 2,00 | 2,00 | 2,60 | 4,00 | 3,65 | 3,40 | 3,00 |

### 2.2.1—Correção do Nível de Base

Inicialmente, calculou-se a anomalia gravimétrica devida à massa compreendida entre o plano  $z=0$  e o relevo (profundidades do topo entre 2,0 e 4,0 km) mostrado na Figura 2.2b, com contraste de densidade  $-400 \text{ kg/m}^3$ . A anomalia resultante é portanto toda negativa. Como se deseja produzir a anomalia devida à estrutura mostrada na Figura 2.2b com contraste positivo, é necessário aplicar uma correção ao nível de base de modo a torná-la positiva. Esta correção (662,21 ug) foi obtida a partir do campo de uma placa Bouguer com espessura igual à maior profundidade da estrutura (4,0 km).

Para investigar a influência do desconhecimento do nível de base gravimétrico na determinação das profundidades no método original de Beltrão (1989) são testadas duas situações. Na primeira, utilizou-se a correção correta para o nível de base (662,21 ug), enquanto na segunda utilizou-se valor de 800 ug (erro de 137,79 ug). Em ambas, o campo gravimétrico anômalo da Figura 2.2a acrescido da correção, foi transformado nos mapas de distâncias verticais da Figura 2.4a (nível de base exato) e 2.4b (nível de base errado), em relação ao nível  $z=0$ , presumindo contraste de densidade de  $400 \text{ kg/m}^3$  e nível de continuação  $d_1 = 2,0 \text{ km}$ .

O mapa de distâncias verticais da Figura 2.4a, mostra que, para escolha da correção do nível de base e contraste de densidade corretos ( $662,21 \text{ ug}$  e  $400 \text{ kg/m}^3$  respectivamente) e um nível de continuação adequado ( $2,0 \text{ km}$ ), obtem-se relevo do embasamento com profundidades do topo de  $2,0$  a  $4,05 \text{ km}$ , o que, apesar da inevitável perda de resolução, fornece estimativas bastante próximas do relevo verdadeiro, como pode ser visualizado no bloco diagrama da Figura 2.2b. O mapa de distâncias verticais da Figura 2.4b, presumindo nível  $d_1$  de  $2,0 \text{ km}$ , contraste de densidade de  $400 \text{ kg/m}^3$  e nível de base errado ( $800 \text{ ug}$ ), mostra um relevo do embasamento com profundidades do topo variando de  $2,0$  a  $4,8 \text{ km}$ , produzindo desta forma estimativas mais profundas para o relevo da interface, quando comparadas com as obtidas para o nível de base correto (Figura 2.4a). Além disso, percebe-se uma mudança no gradiente das curvas de contorno na Figura 2.4b. Portanto, conclui-se que o nível de base exerce influência, tanto na determinação das profundidades relativas em relação ao nível  $z=0$ , como no gradiente da interface.

A Figura 2.3a mostra o mapa de profundidades absolutas, obtido pelo método proposto. Utilizou-se nível de continuação  $d_1 = 2,0 \text{ km}$ , contraste de densidade  $400 \text{ kg/m}^3$ , aproximação inicial de  $800 \text{ ug}$  para a correção do nível de base e função objetivo  $F$  correspondendo à norma 2 (equação 13) do resíduo entre as profundidades real e calculada, em cada ponto conhecido.

Comparando mapa de profundidades obtido para o método proposto (Figura 2.3a), com o mapa de profundidades obtido com o método original de Beltrão (1989) utilizando correção para o nível de base correto (Figura 2.4a), vemos, que o mapa da Figura 2.3a apresenta estimativas de profundidade para a interface sedimento-embasamento, bem próximas das estimativas da Figura 2.4a. Por exemplo, empregando a nova metodologia, o vale situado na porção sudeste da área em torno do ponto D (Figura 2.3a) apresenta em sua parte mais profunda, estimativa de  $3,85 \text{ km}$  de profundidade para a interface mapeada (um pouco distante da estrutura real), enquanto na metodologia de Beltrão (1989) com nível de base correto a estimativa é de  $4,05 \text{ km}$  (bem próximo da estrutura real). Ao contrário, a região em torno dos pontos F e G, e o alto localizado a oeste do ponto E, apresentam estimativas de profundidades mais próximas da estrutura verdadeira quando comparadas com as estimativas da Figura 2.4a. Assim, o método proposto penalizou um pouco a estimativa de profundidade no vale, para melhor ajustar, o alto do embasamento a oeste do ponto E e porção leste da área (pontos F e G). Este fato ocorreu, justamente pela introdução de informação

independente, dada pelos pontos E, F, G. Outro fato importante a ser notado, é que no mapa obtido pelo método proposto (Figura 2.3a), não há diferença significativa no gradiente das curvas de contorno, quando comparado com o da Figura 2.4a (nível de base correto).

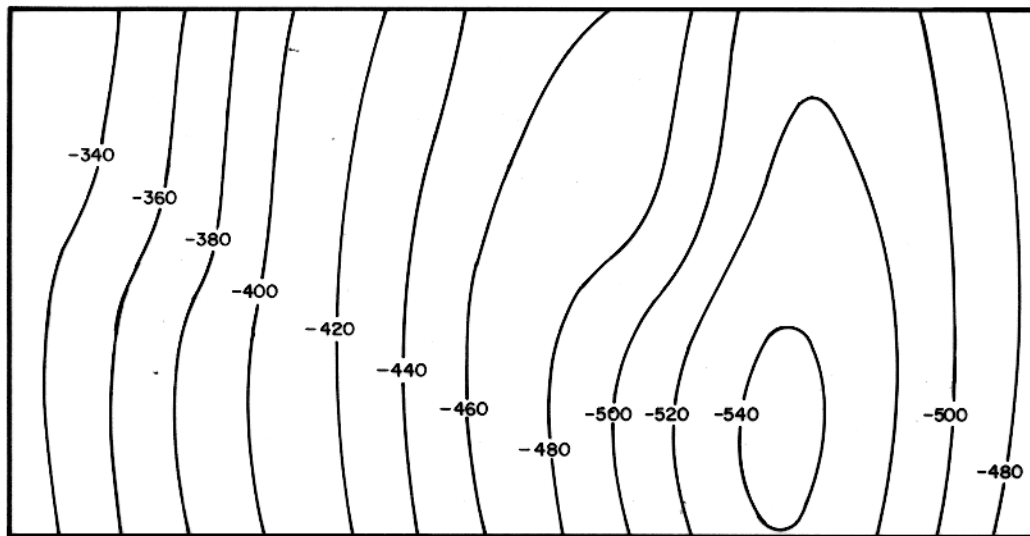
Para o mapa da Figura 2.3a, o polinômio ajustado é do 1º grau ( $ax + by + c$ ) e seus coeficientes são:  $a = 1,92 \times 10^{-4}$ ,  $b = 1,37 \times 10^{-4}$ ,  $c = 626,39$ . Deste modo, percebe-se que o polinômio é representado por um plano subhorizontal. É importante notar que, o termo independente do polinômio (coeficiente  $c$ ), tem valor próximo do nível de base exato (662,21 ug). Por isso, as estimativas das profundidades absolutas da interface sedimento-embasamento da Figura 2.3a estão bastante próximas das profundidades obtidas para teste com nível de base correto (Figura 2.4a).

A Figura 2.3b, mostra o bloco diagrama em perspectiva 3 - D do relevo da interface sedimento-embasamento, obtido a partir das profundidades absolutas representadas na Figura 2.3a. O relevo teórico do embasamento, está representado no bloco diagrama 3 - D da Figura 2.2b. Comparando o relevo obtido através da aplicação do método (Figura 2.3b), com o teórico (Figura 2.2b), observamos que, apesar da inevitável perda de resolução, o relevo obtido pelo método é bastante semelhante ao teórico, recuperando as feições mais expressivas do relevo do embasamento, como por exemplo os altos AL1, AL2 e os baixos BA1, BA2 nas Figuras 2.2b e 2.3b. A concordância entre o relevo obtido e o teórico só não é maior devido a duas causas. A primeira, é que o campo gravimétrico (Figura 2.2a) não resolve certas feições do embasamento como o patamar P1 da Figura 2.2b. A segunda, é que no modelo estudado, a premissa de que a interface é suave, com desníveis muito menores do que a profundidade do nível de referência, foi bastante violada. No entanto, mesmo sob tal circunstância, o método proposto ainda fornece uma boa aproximação da topografia da interface.

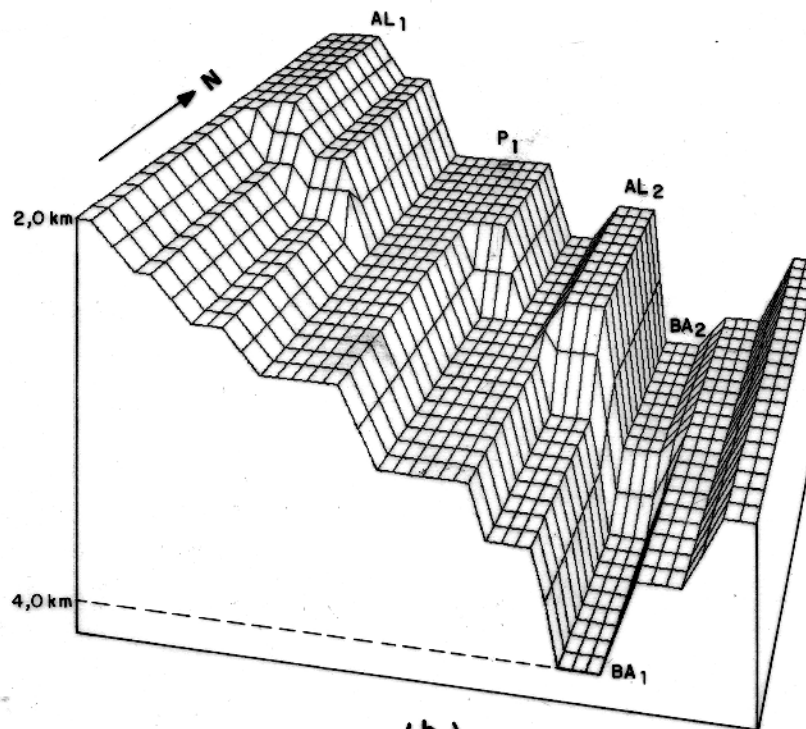
A função objeto  $F$ , pode ser minimizada, utilizando-se a norma 2 (equação 13) ou norma 1 (equação 14) do resíduo entre a profundidade real e a calculada em cada ponto onde a profundidade é conhecida. O teste anterior (Figura 2.3a) foi realizado empregando-se a norma 2. Para efeito de comparação, efetuamos um teste com a norma 1 (Figura 2.5), onde, as premissas são as mesmas que as do teste anterior, ou seja,  $d_1 = 2,0$  km,  $\Delta\rho = 400$  kg/m<sup>3</sup> e com os mesmos 7 pontos conhecidos do embasamento (A - G na Figura 2.3a). Comparando a Figura 2.5 (norma 1) e 2.3a (norma 2), observamos que as estimativas das profundidades no mapa da Figura 2.5, são mais rasas que as da

Figura 2.3a. Deste modo, as estimativas de profundidades dadas pela utilização da norma 1, são neste caso, piores do que as fornecidas pela norma 2. Isto ocorre, porque toda informação a priori introduzida é de boa qualidade, ou seja, os pontos conhecidos do embasamento são representativos da profundidade do embasamento ao seu redor. Entretanto, em situações onde haja algum ponto sobre uma feição com dimensões menores que o limite de resolução do campo gravimétrico, o mapa obtido pela norma 1 deve produzir melhores estimativas de profundidades em comparação com a norma 2. Portanto, no modelamento prático, deve-se utilizar as duas normas, e comparar os resultados produzidos, para então escolher a que melhor represente a informação a priori.

Como para os 7 pontos escolhidos (A – G) a norma 2 forneceu melhor ajuste, todos os testes deste capítulo doravante serão realizados com esta norma.

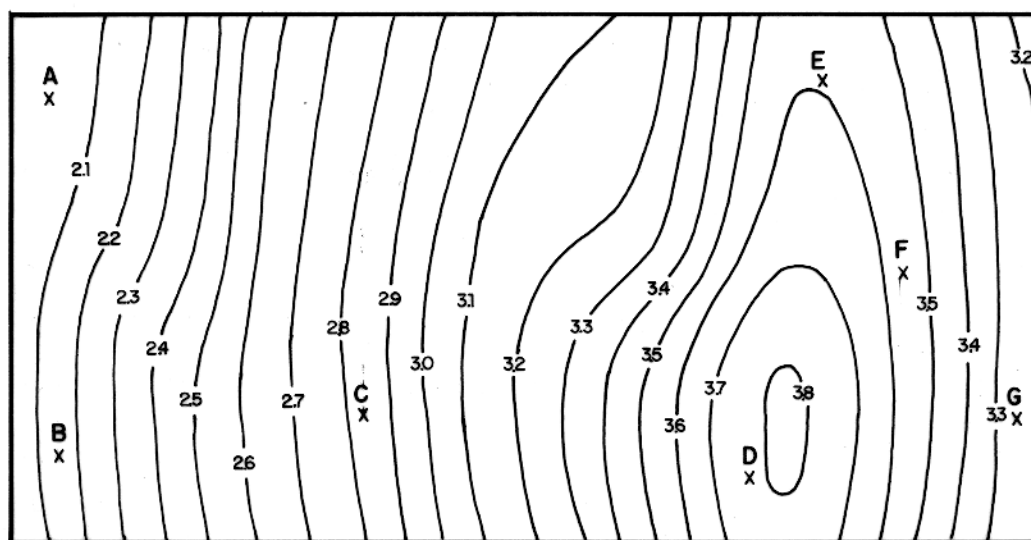


(a)

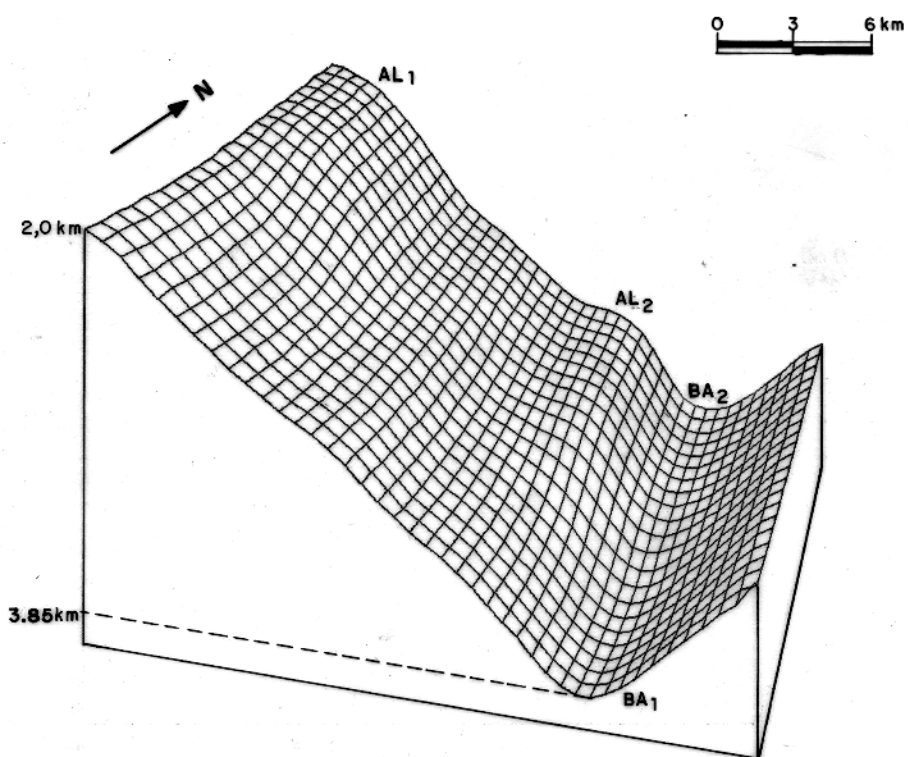


(b)

Fig 2.2- (a) Campo gravimétrico sintético, para testes do método de interpretação da componente regional, devido à estrutura 3-D da Figura 2.2b. Intervalo de contorno 20 ug. (b) Bloco diagrama 3-D representando relevo teórico do embasamento de bacia sedimentar.



(a)



(b)

Fig. 2.3— (a) Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando nível  $d_1=2,0$  km,  $\Delta\rho = 400\text{kg}/\text{m}^3$  e função minimizada pela norma 2. A–G são pontos onde a profundidade do embasamento é conhecida. Intervalo de contorno 0,1 km. (b) Bloco diagrama 3–D obtido a partir do mapa da Figura 2.3a, representando o relevo do embasamento.

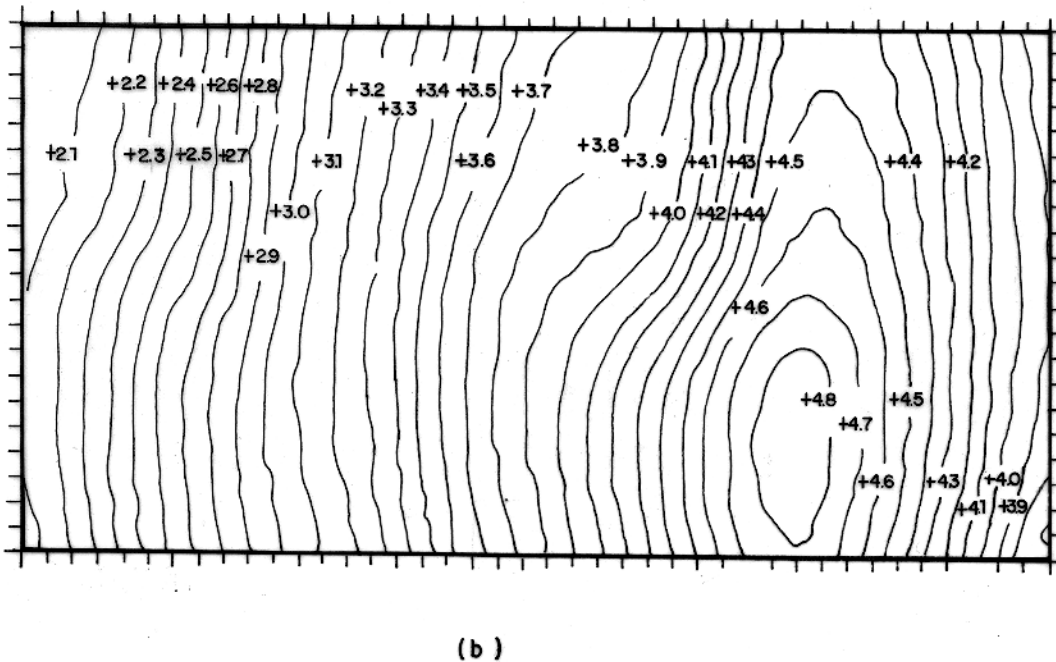
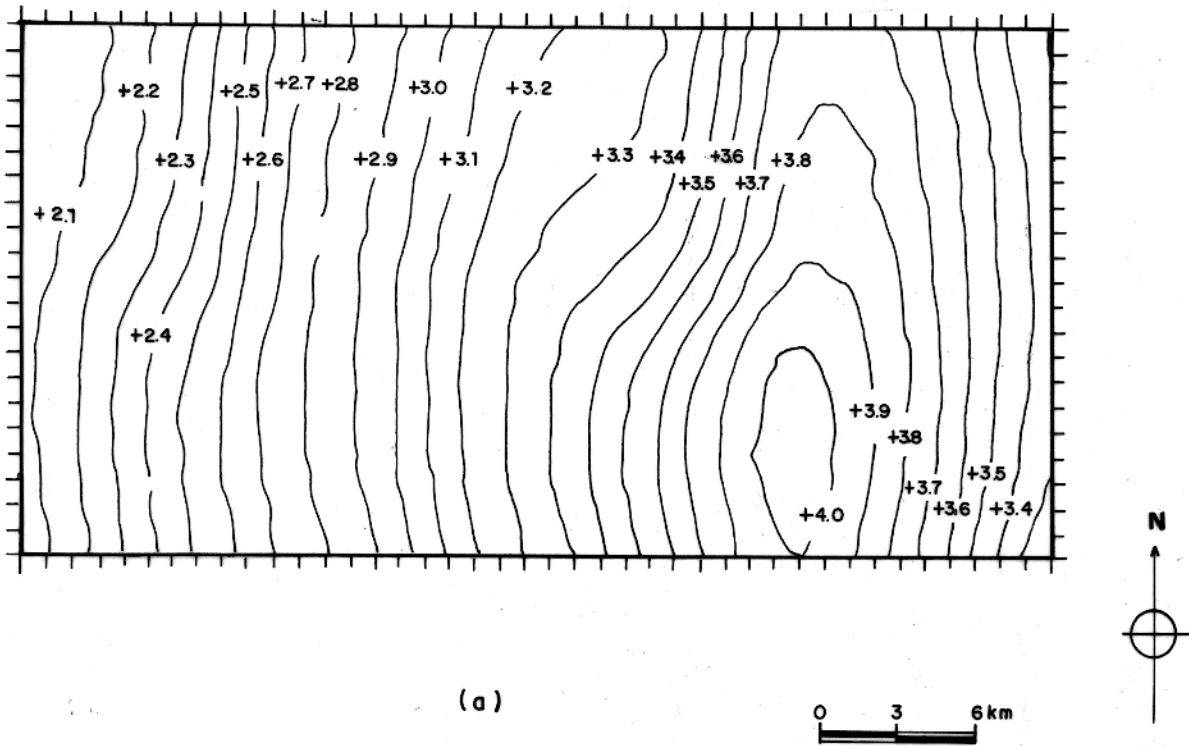


Fig 2.4— Comparação entre mapas de distâncias verticais em relação ao nível  $z=0$  km, utilizando (a) nível de base correto (662,21 ug) e (b) nível de base errado (800 ug). Intervalo de contorno 0,1 km.

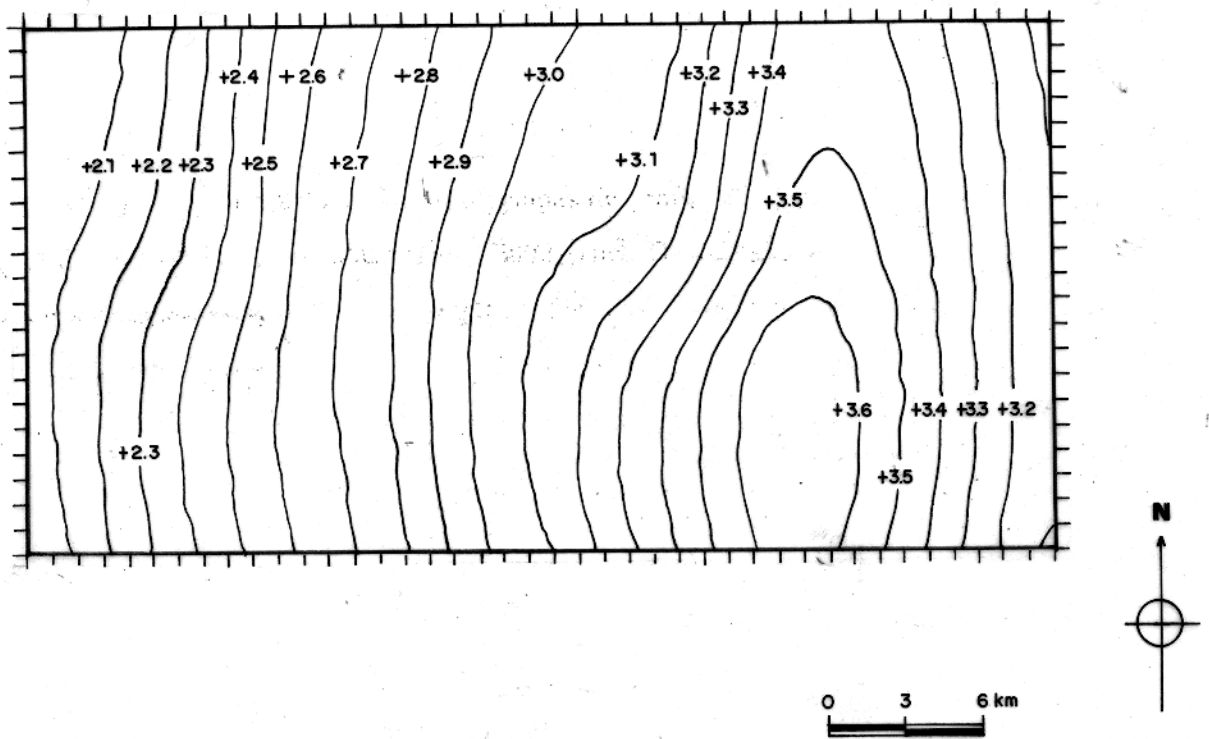


Fig. 2.5— Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 2,0$  km,  $\Delta\rho = 400$   $kg/m^3$  e função minimizada pela norma 1. Intervalo de contorno 0,1 km.

### 2.2.2—Contraste de Densidade

Para aplicação do método, é necessário conhecer, entre outros parâmetros, o contraste de densidade  $\Delta\rho$ . Este deve ser estimado a partir de informação a priori independente da gravimetria. Para verificar a influência do contraste de densidade sobre o método, são realizados testes presumindo-se vários contrastes de densidade

Nos testes realizados, manteve-se fixo o nível de continuação  $d_1 = 2,0$  km. Os pontos conhecidos do embasamento são os mesmos da Figura 2.3a. O contraste de densidade verdadeiro é de  $400 \text{ kg/m}^3$ . São testados valores de densidade variando de 250 a  $600 \text{ kg/m}^3$  em intervalos de  $50 \text{ kg/m}^3$ .

As Figuras 2.6a e 2.6b mostram os mapas de profundidades absolutas para contrastes de densidade de, respectivamente,  $300 \text{ kg/m}^3$  e  $500 \text{ kg/m}^3$ . Os dois mapas são entre si, bastante semelhantes, e apresentam estimativas bem próximas àquelas fornecidas quando se presume o contraste de densidade verdadeiro (Figura 2.3a). Além disso, não há diferença significativa no gradiente das curvas de contorno, com a mudança no contraste de densidade. Estas semelhanças, podem ser sintetizadas no valor da função objeto F minimizada em cada caso. Assim, construiu-se um gráfico (Figura 2.7), onde cada ponto, representa o valor mínimo da função objeto F para cada valor presumido para o contraste de densidade.

A análise do gráfico da Figura 2.7 mostra que, existe um patamar, onde o mínimo da função objeto é praticamente o mesmo para valores do contraste de densidade próximos do verdadeiro (faixa de  $-100$  a  $+150 \text{ kg/m}^3$  em torno do contraste real). Para contrastes fora da faixa citada acima, a função objeto apresenta valores mínimos relativamente altos, mostrando que o ajuste não é bom. Este caso é ilustrado na Figura 2.8, que representa o mapa de profundidades absolutas utilizando  $\Delta\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ . Percebe-se claramente, que as estimativas das profundidades são bem mais rasas quando comparadas com a Figura 2.3a. Além disso, o gradiente das curvas de contorno é completamente diferente em relação ao da Figura 2.3a, tornando-se muito mais suave que o real.

A construção dos gráficos da mínima função objeto versus contraste de densidade só é possível, porque houve a introdução de vínculo das profundidades do embasamento em alguns pontos, condicionando o ajuste da interface a esses pontos. Portanto, na prática, pode-se tornar

dispensável o conhecimento a priori do contraste de densidade. Para tal, basta construir um gráfico deste tipo e escolher um contraste de densidade que esteja dentro da faixa de mínimo, visto que, os mapas de profundidades absolutas para contrastes de densidade dentro da referida faixa, são bastante semelhantes entre si (comparar as Figuras 2.3a, 2.6a e 2.6b).

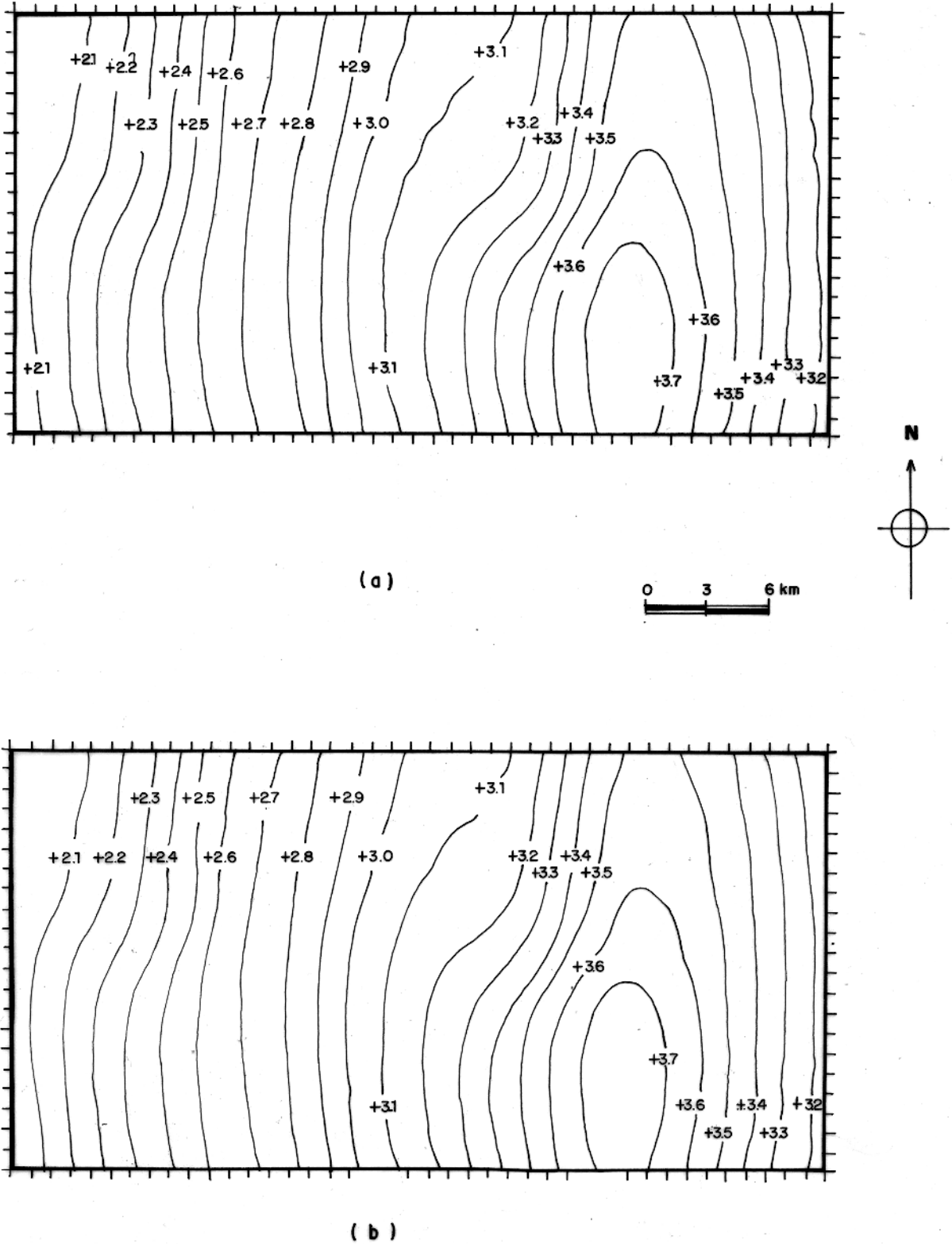


Fig 2.6— Comparação entre mapas de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 2,0$  km, norma 2 e utilizando (a)  $\Delta\rho = 300 \text{ kg/m}^3$  e (b)  $\Delta\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ . Intervalo de contorno 0,1 km.

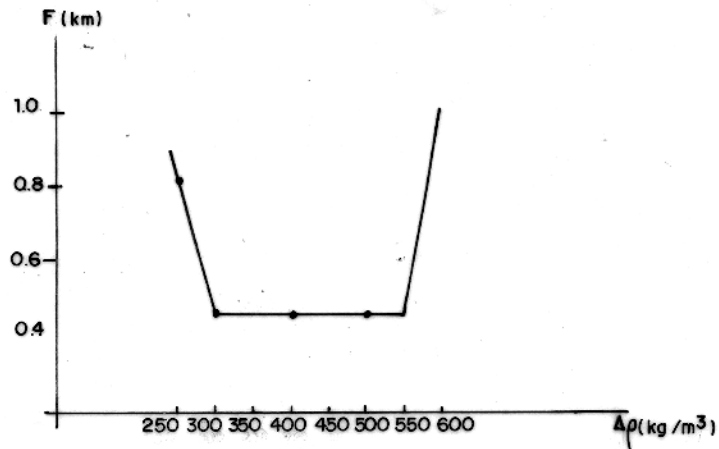


Fig. 2.7— Gráfico da mínima função objeto  $F$  versus o contraste de densidade, para modelo da Figura 2.2b.

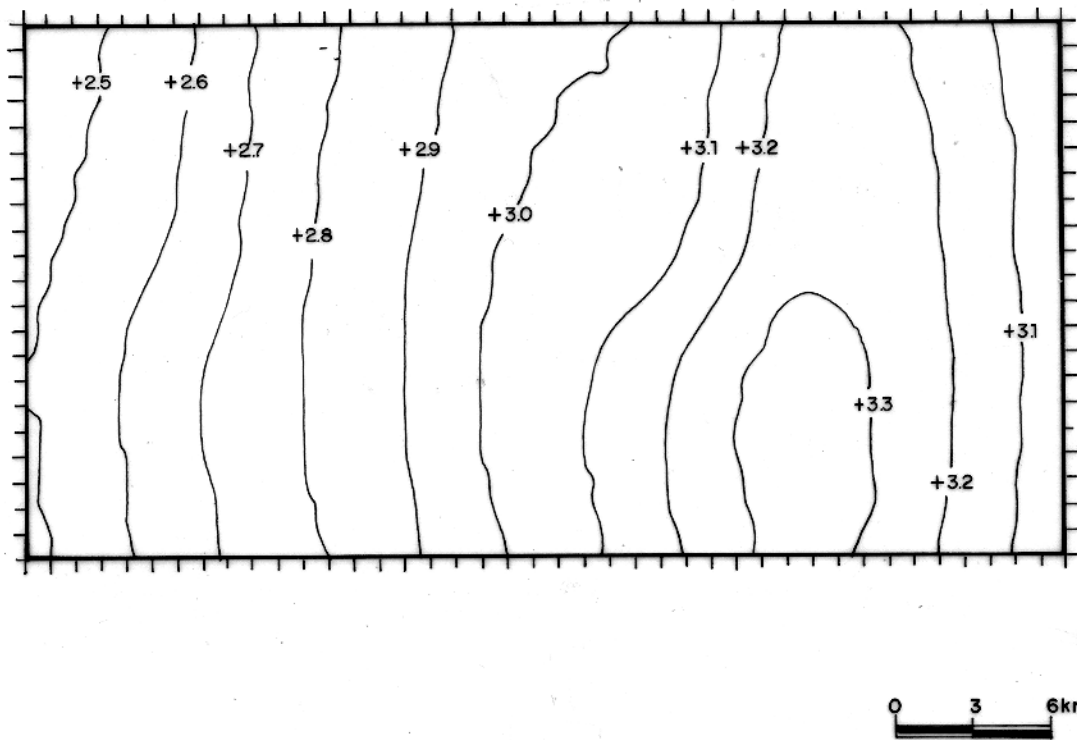


Fig. 2.8— Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 2,0$  km, norma 2 e  $\Delta\rho = 600 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Intervalo de contorno 0,1 km.

### 2.2.3—Nível de Continuação

Na seção anterior, estudamos o efeito do contraste de densidade sobre o método proposto. Nesta, faremos o mesmo, com o outro parâmetro que deve ser conhecido para aplicação do método: o nível de continuação  $d_1$ . Para tal, utilizaremos a mesma abordagem da seção anterior, ou seja, construiremos o gráfico da mínima função objeto versus nível de continuação.

Para ilustrar o efeito do nível de continuação errado na estimativa das profundidades, é mostrado o mapa de profundidades absolutas utilizando  $d_1 = 1,0$  km (Figura 2.9). Este mapa fornece estimativas bem mais rasas que as produzidas utilizando  $d_1 = 2,0$  km (Figura 2.3a), e ainda há a distorção no gradiente das curvas de contorno. Este está bem mais suave, comparado com o da Figura 2.3a.

Nos testes realizados, manteve-se fixo  $\Delta\rho = 400$  kg/m<sup>3</sup>. Testaram-se os seguintes valores para o nível de continuação: 0,5, 1,0, 2,0 e 2,5 km. Para cada um minimizou-se a função objeto e desenhou-se o gráfico da mínima função objeto versus nível de continuação (Figura 2.10).

A análise do gráfico da Figura 2.10 mostra que a função passa pelo mínimo em torno do nível de continuação correspondendo ao topo das fontes reais (no caso  $d_1 = 2,0$  km). Para profundidades abaixo e acima deste, a mínima função objeto aumenta rapidamente. Desse modo, na prática, não é necessário conhecer de antemão o nível de continuação  $d_1$ . Basta fazer um gráfico deste tipo e escolher o valor  $d_1$  que forneça a menor mínima função objeto.

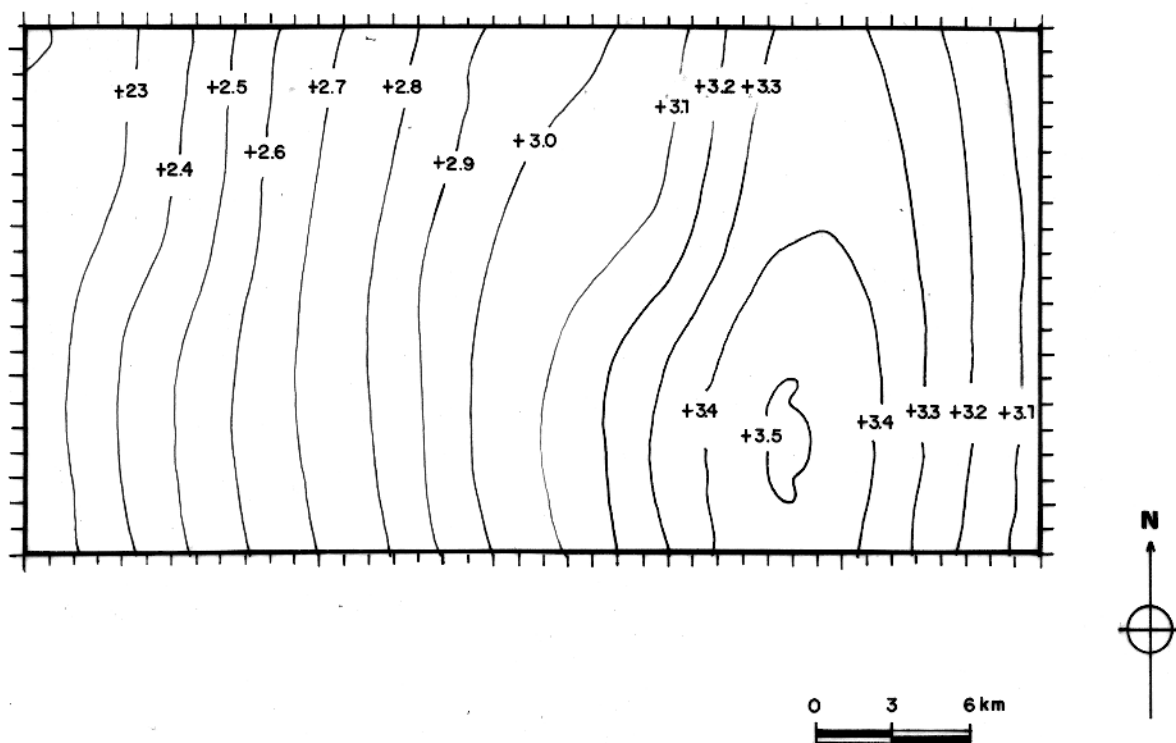


Fig. 2.9— Mapa de profundidades absolutas do modelo da Figura 2.2b, empregando  $d_1 = 1,0$  km, norma 2 e  $\Delta\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ . Intervalo de contorno 0,1 km.

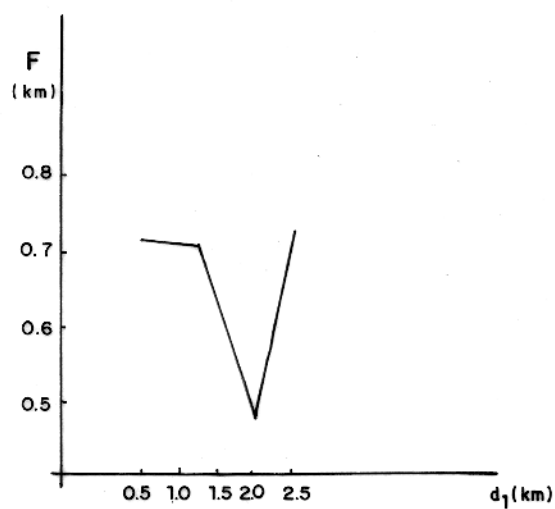


Fig. 2.10— Gráfico da mínima função objetivo  $F$  versus o nível de continuação  $d_1$ , para modelo da Figura 2.2b.

## CAPÍTULO 3

## INTERPRETAÇÃO DO CAMPO RESIDUAL

## 3.1—Metodologia

O campo gravimétrico vertical  $g_z$  observado no ponto  $(x,y,z)$ , fora das fontes é dado por:

$$g_z = \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(x', y', z') G(x, y, z, x', y', z') dx' dy' dz' \quad , \quad (15)$$

onde  $\gamma$  é a constante gravitacional,  $\rho(x', y', z')$  é a distribuição de densidade e  $G(x, y, z, x', y', z')$  é a função de Green relativa ao ponto  $(x, y, z)$ , dada por:

$$G(x, y, z, x', y', z') = \frac{\partial}{\partial z} [(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2]^{-1/2} \quad . \quad (16)$$

No problema linear inverso em gravimetria, procura-se determinar uma distribuição de densidade que explique as observações da componente vertical do campo gravimétrico na superfície. Este problema é mal posto, pois não apresenta solução única. Entretanto, introduzindo informação a priori sobre as fontes é possível tornar a solução única. Desta forma, postularemos que as fontes gravimétricas ocorrem limitadas a uma placa, com espessura constante  $t$ , limitada lateralmente em  $x$  e  $y$  e com topo a uma profundidade  $d$ . A densidade é presumida variar dentro da placa apenas em  $x$  e  $y$ . Sob tais premissas, a equação (15) torna-se:

$$g_z(x, y, z) = \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma(x', y') H(x, y, z, x', y', d, t) dx' dy' \quad . \quad (17)$$

Por outro lado, o potencial gravimétrico  $U$  em um ponto  $(x, y, z)$  é dado por:

$$U(x, y, z) = \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\rho(x', y', z') dx' dy' dz'}{[(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2]^{1/2}} \quad . \quad (18)$$

Pelo teorema da camada equivalente, o potencial gravimétrico devido a uma distribuição tridimensional  $\rho(x', y', z')$  pode ser exatamente reproduzido por uma distribuição bidimensional de densidade  $\sigma(x', y', d)$  localizada a uma profundidade  $d$  acima das fontes reais, o que é expresso matematicamente por:

$$U(x, y, z) = \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sigma(x', y', d) dx' dy'}{[(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - d)^2]^{1/2}} \quad (19)$$

Dessa forma, a componente vertical do campo gravimétrico  $g_z$  em  $z=0$ , é dada por:

$$g_z = \left[ \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial z} \right]_{z=0} = \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma(x', y', d) B(x, y, z, x', y', d) dx' dy' \quad , \quad (20)$$

onde  $B(x, y, z, x', y', d)$  é a função de Green da camada equivalente.

Assim, determinar  $\sigma(x', y')$  na equação (17) é, matematicamente, equivalente a resolver o problema da camada equivalente, dado pela equação (20), que consiste na resolução de uma equação integral.

Na prática porém, a distribuição de densidade  $\sigma(x', y')$  deve ser discreta e de dimensões finitas. Assim, procedendo de modo similar ao adotado por Silva e Hohmann (1984), transforma-se a equação integral (17) na equação matricial:

$$\overline{g^o} = \overline{A} \overline{p} \quad , \quad (21)$$

onde  $\overline{g^o}$  é o vetor  $N$ -dimensional das observações,  $\overline{A}$  é matriz  $N \times M$ , onde cada elemento  $a_{ij}$  é a função de Green discreta correspondente à  $i$ -ésima observação e à  $j$ -ésima fonte, e  $\overline{p}$  é o vetor  $M$ -dimensional dos parâmetros.

Para obter a solução do problema linear inverso a partir da equação matricial (21), utilizaremos a metodologia apresentada por Leão e Silva (1989). Nesta, o vetor  $\overline{p^T}$  que contém as estimativas dos contrastes de densidades, é determinado por:

$$\overline{p^+} = \overline{A^+} \overline{g^o} , \quad (22)$$

onde  $\overline{A^+}$  é uma pseudo-inversa de  $\overline{A}$ , definida por:

$$\overline{A^+} = \overline{A^T} (\overline{A} \overline{A^T})^{-1} . \quad (23)$$

Sabemos que  $\overline{p^+}$  pode apresentar oscilações devido à instabilidade do problema, pois a matriz  $\overline{A} \overline{A^T}$  usualmente é mal-condicionada. Portanto, utilizaremos como método de estabilização o "ridge regression" (Hoerl e Kennard, 1970 a, b), que consiste em adicionar um escalar K positivo e pequeno ( $< 1.0$ ) a cada elemento da diagonal da matriz  $\overline{A} \overline{A^T}$  normalizada, antes de invertê-la. A determinação do valor ótimo deste escalar será feita através de um procedimento semelhante ao "ridge trace" (Hoerl e Kennard, 1970 b).

Assim o vetor  $\overline{p^*}$  da solução é dado por:

$$\overline{p^*} = \overline{C} \overline{g^o} , \quad (24)$$

onde

$$\overline{C} = \overline{A^T} \overline{D} (\overline{B} + K \overline{I})^{-1} \overline{D} , \quad (25)$$

sendo  $\overline{D}$  a matriz diagonal de normalização com elementos:

$$d_{ii} = \frac{1}{\left(\sum_{j=1}^M a_{ij}^2\right)^{1/2}} \quad i = 1, \dots, N , \quad (26)$$

e  $\overline{B} = \overline{D} \overline{A} \overline{A^T} \overline{D}$ , é a matriz  $\overline{A} \overline{A^T}$  normalizada.

A vantagem decorrente dessa abordagem, é o fato de que a matriz a ser invertida é de dimensão N x N (pseudo-inversa dos mínimos quadrados subdeterminado) e não M x M (pseudo-inversa dos mínimos quadrados sobredeterminado), o que torna sua dimensão independente do número M de fontes equivalentes discretas, permitindo que estas possam ser estendidas,

além do limite das janelas de dados. O algoritmo de Leão e Silva (1989), utiliza uma pequena janelas de dados, de modo a processar por partes, áreas com grande número de observações. Para minimizar o efeito de borda, decorrente das discontinuidades nas bordas das janelas adjacentes, calcula-se a propriedade física apenas no ponto central da janela de dados, o que equivale, na equação (22), a pré-multiplicar o vetor  $\bar{g}^o$  apenas pela linha de  $\overline{A^+}$  correspondente à fonte localizada no ponto central da janela de dados. Assim, no caso de dados regularmente espaçados, calcula-se o operador inverso uma única vez, o qual é aplicado aos dados de maneira semelhante a uma operação de convolução discreta.

## 3.2—Aplicação a Dados Sintéticos

### 3.2.1—Ridge Trace

Foram realizados testes com oito valores do parâmetro de amortecimento  $K$ , para duas situações distintas: anomalia sem ruído à excessão de erro de arredondamento (Figura 3.1), e anomalia contaminada por ruído (Figura 3.2) Gaussiano com média nula e desvio padrão de 0,5 ug.

Estes testes utilizaram dois prismas (contornos desenhados nas Figuras 3.1 a 3.18) com o mesmo contraste de densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$ , profundidade do topo em 2,0 km, e espessura de 0,5 km. A placa que se presume conter as fontes tem 0,5 km de espessura e topo coincidente com o topo dos prismas (2,0 km). Os mapas de contraste de densidade aparente para cada valor de  $K$  encontram-se graficados (Figuras 3.3 a 3.18).

As Figuras 3.3 e 3.4 mostram a impossibilidade de se determinar a localização dos prismas, para  $K$  igual a  $10^{-5}$ , devido à grande instabilidade presente (amplificação de ruído). À medida que, o valor de  $K$  aumenta, a influência do ruído é atenuada, podendo-se notar a presença dos dois corpos. Para o caso sem ruído, o valor ótimo de  $K$  é de 0,1 (Figura 3.11). O critério adotado foi o de escolher um valor de  $K$  a partir do qual não há mudanças qualitativas no mapa de densidade aparente. Assim, comparando-se a Figura 3.11 ( $K=0,1$ ) com as Figuras 3.13 ( $K=0,2$ ), 3.15 ( $K=0,3$ ) e 3.17 ( $K=0,4$ ); nota-se, que a partir da Figura 3.11, não há mudança qualitativa no resultado obtido, mas apenas a suavização do gradiente. Para o caso com ruído, o valor de  $K$  é de 0,3 (Figura 3.16), cujo critério foi o mesmo adotado no caso sem ruído.

O valor máximo do contraste de densidade aparente encontrado foi de  $340 \text{ kg/m}^3$  para o caso sem ruído e  $350 \text{ kg/m}^3$  para o caso com ruído. Observou-se assim um pequeno acréscimo no contraste de densidade aparente em relação ao real ( $300 \text{ kg/m}^3$ ). Desta forma, ao utilizarmos o método, devemos ter sempre em mente que o valor máximo do contraste de densidade aparente é sempre um pouco maior que o verdadeiro, e qualquer interpretação posterior deve levar em conta este fato.

Os limites laterais dos corpos são determinados pela curva correspondente à metade da amplitude máxima (Beltrão, 1989). Analisando as Figuras 3.11 e 3.16 pode-se verificar a eficácia

do critério, onde os limites laterais dos prismas coincidem com a curva de contorno da amplitude média (exceto nos vértices, devido ao limite da resolução). Pode-se assim, através desse critério, determinar com relativa exatidão, a localização do corpo, seus limites e, conseqüentemente, sua forma.

Comparando os resultados obtidos para os casos sem ruído (Figura 3.11) e com ruído (Figura 3.16), verifica-se que a presença de ruído não influencia significativamente na determinação do posicionamento da fonte e sua forma. O efeito produzido pela adição de ruído é o aumento da instabilidade, que reflete no aumento do parâmetro de amortecimento (0,1 para 0,3), necessário para produzir soluções estáveis.

Comparando as Figuras 3.1 com 3.11 e 3.2 com 3.16, verificamos que o método tem a propriedade de apresentar melhor resolução lateral do que o campo gravimétrico observado, visto que, da anomalia observada podemos obter somente uma localização aproximada e ter uma vaga idéia da forma do corpo causador. Aplicando-se este método obtemos uma localização confiável e uma melhor definição da forma da fonte causadora da anomalia.

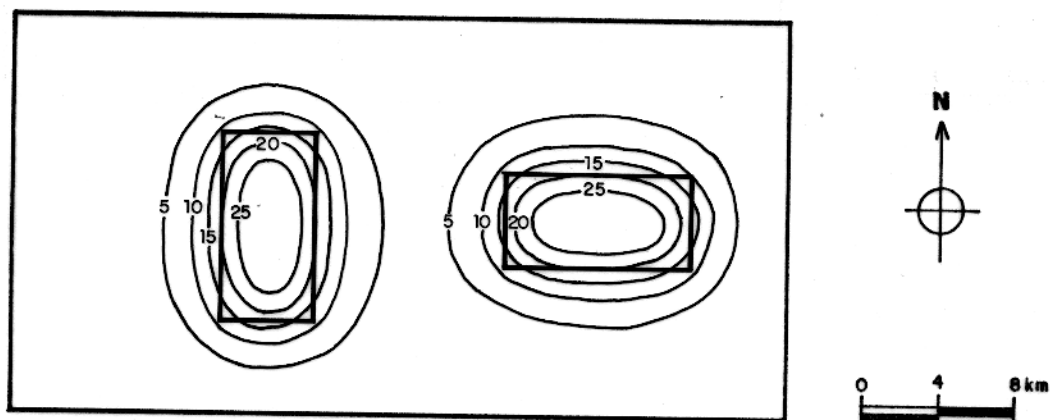


Fig. 3.1— Campo gravimétrico sintético devido a modelo de prismas isolados e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug.

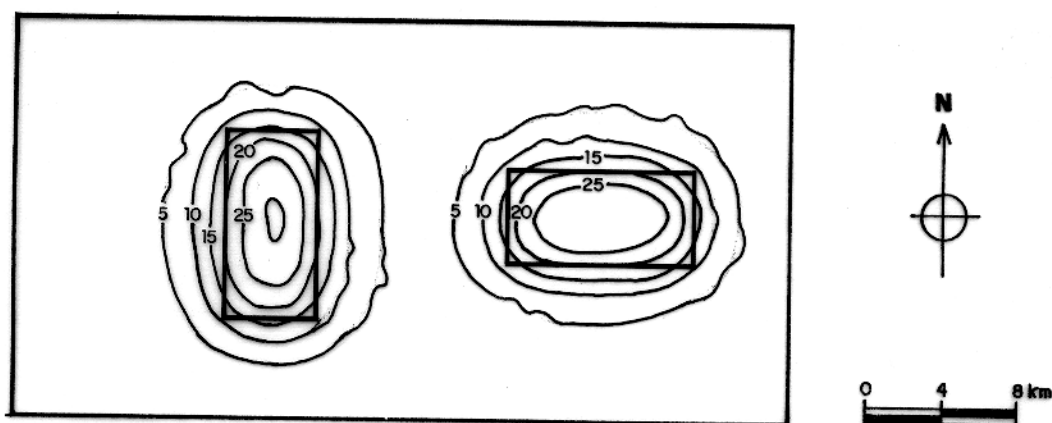


Fig. 3.2— Campo gravimétrico sintético devido ao mesmo modelo da Figura 3.1, acrescido de ruído aleatório. Intervalo de contorno 5 ug.

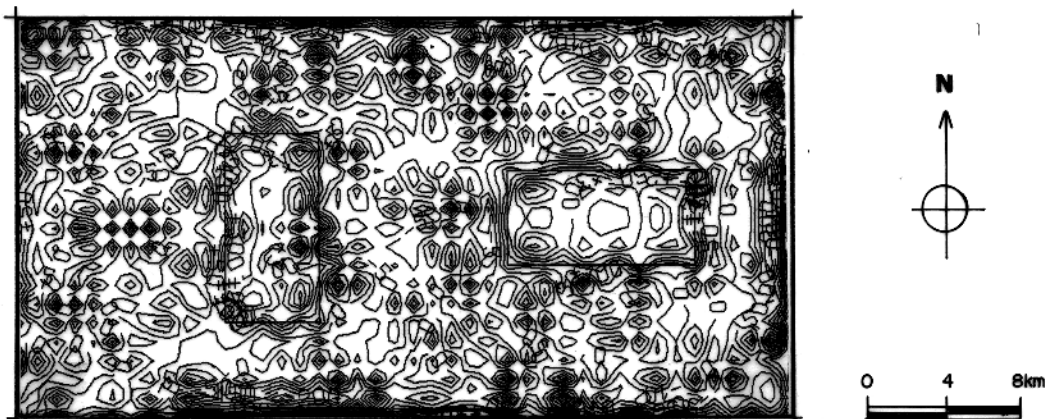


Fig. 3.3— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,00001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

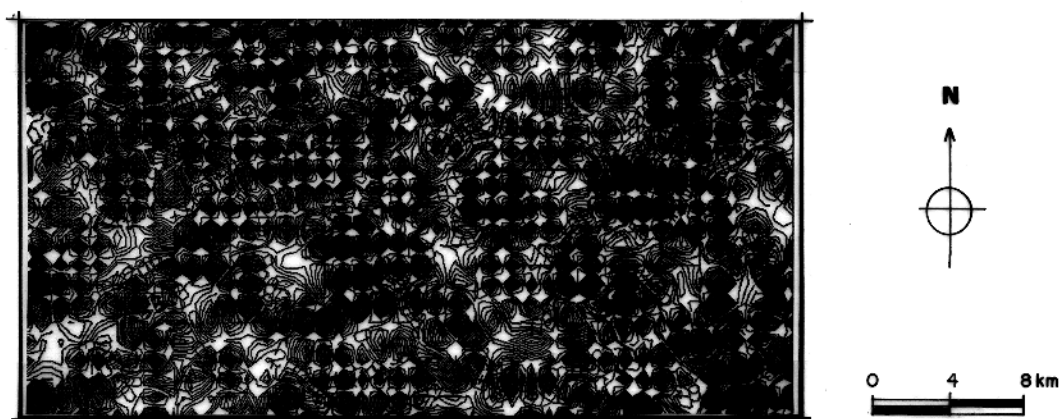


Fig. 3.4— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,00001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

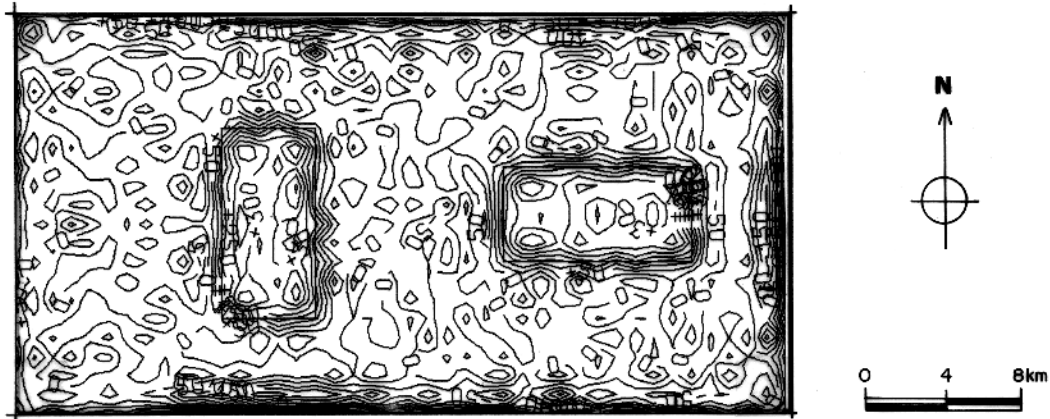


Fig. 3.5— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,0001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .



Fig. 3.6— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,0001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

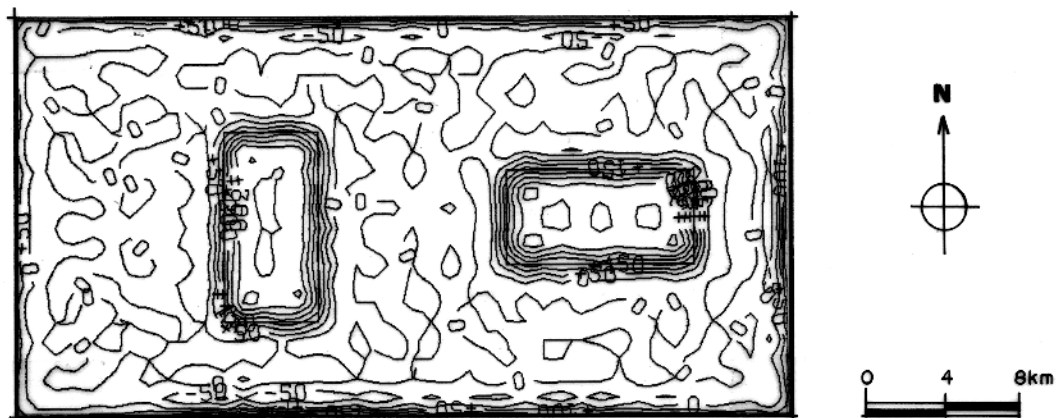


Fig. 3.7— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .



Fig. 3.8— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,001$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

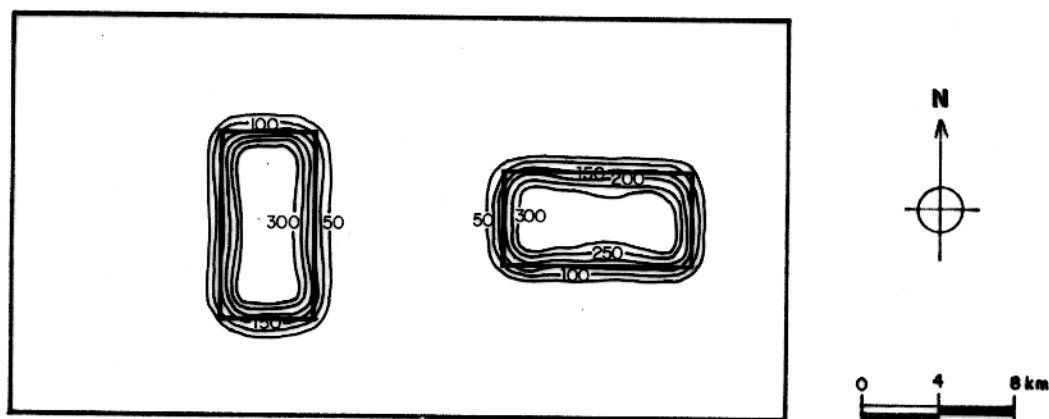


Fig. 3.9– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,01$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

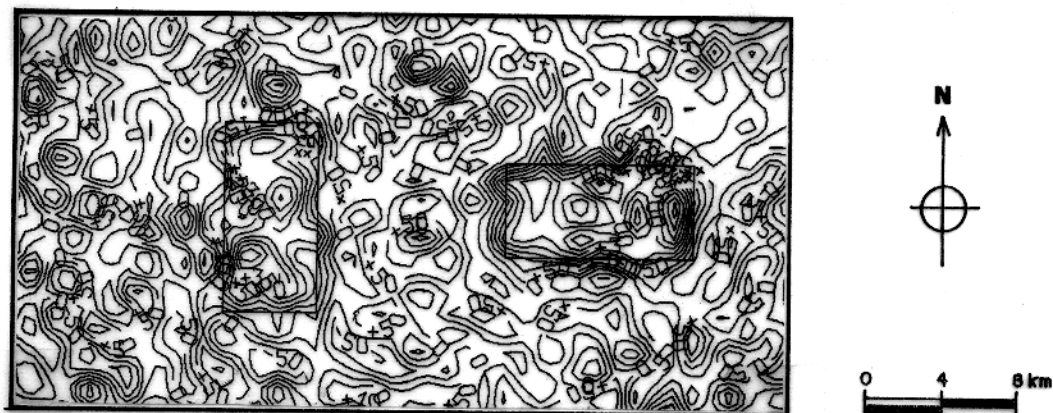


Fig. 3.10– Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,01$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

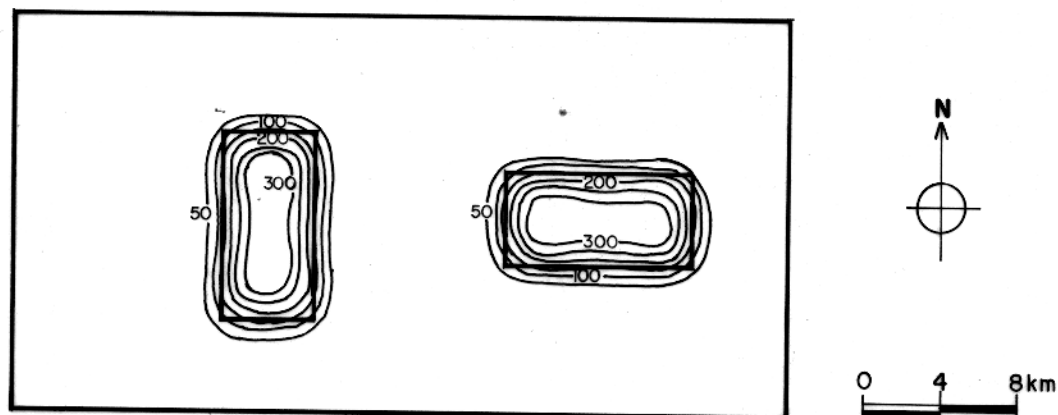


Fig. 3.11— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,1$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

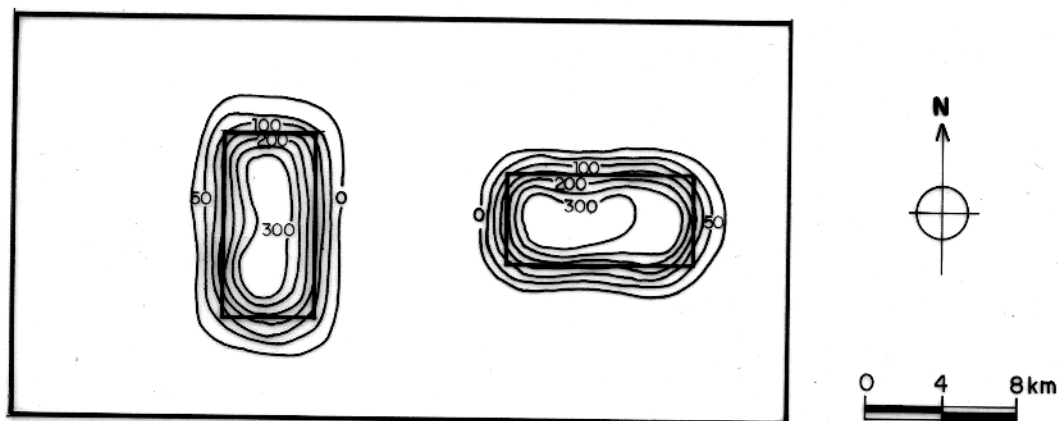


Fig. 3.12— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,1$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

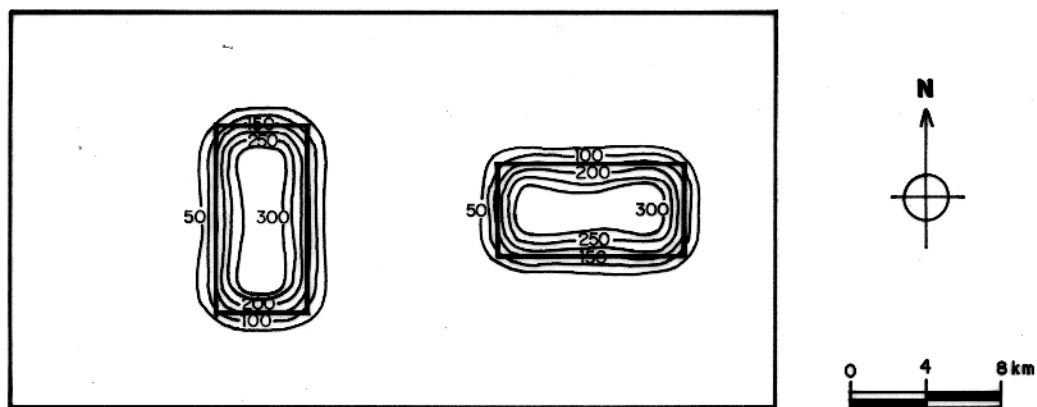


Fig. 3.13— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,2$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

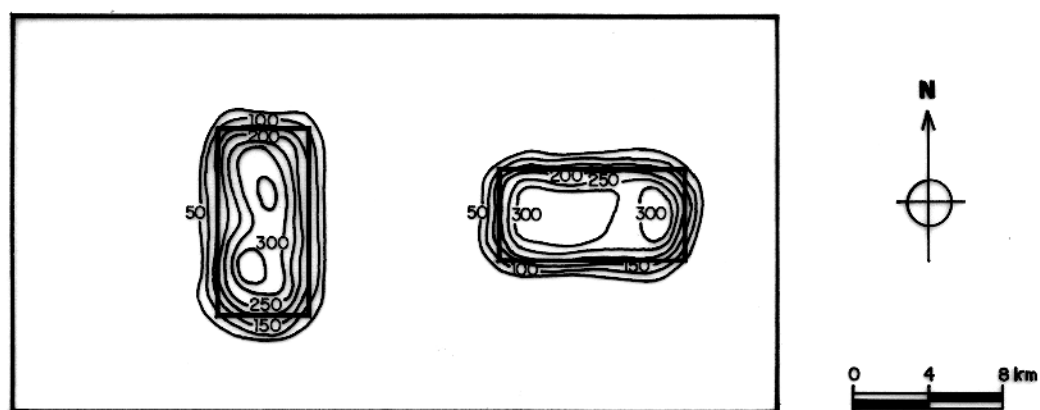


Fig. 3.14— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,2$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

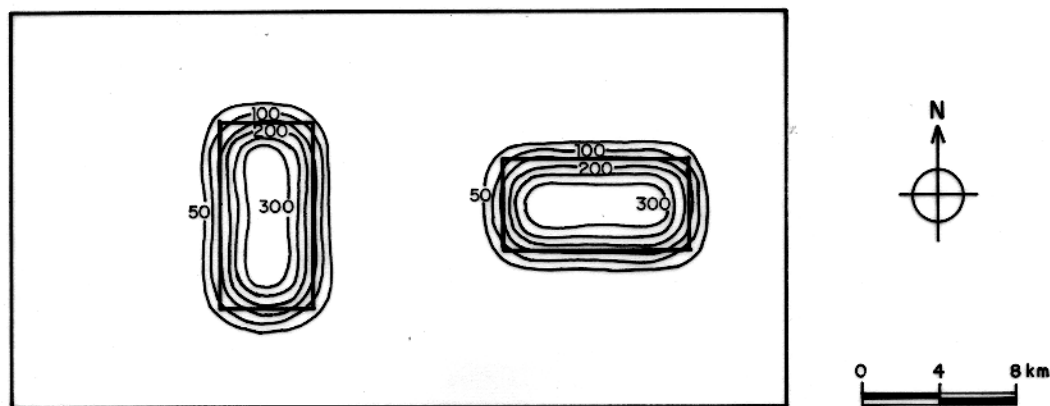


Fig. 3.15— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,3$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

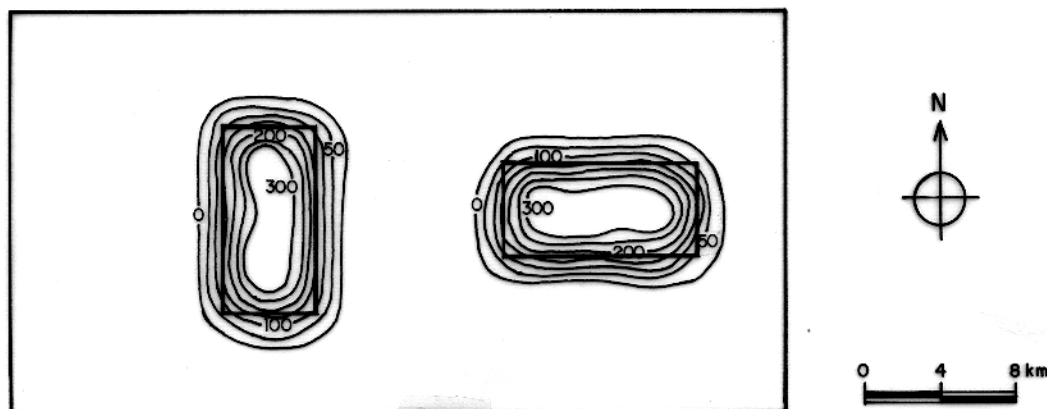


Fig. 3.16— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k=0,3$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

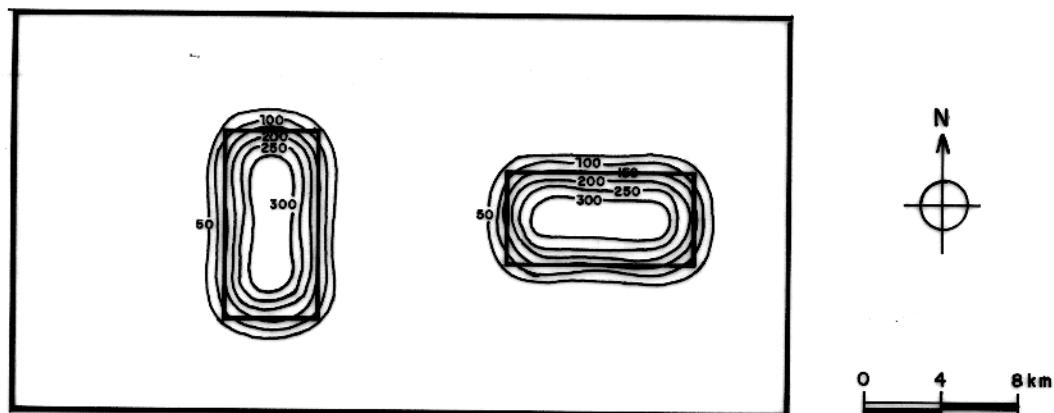


Fig. 3.17— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico sem ruído (Figura 3.1), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,4$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

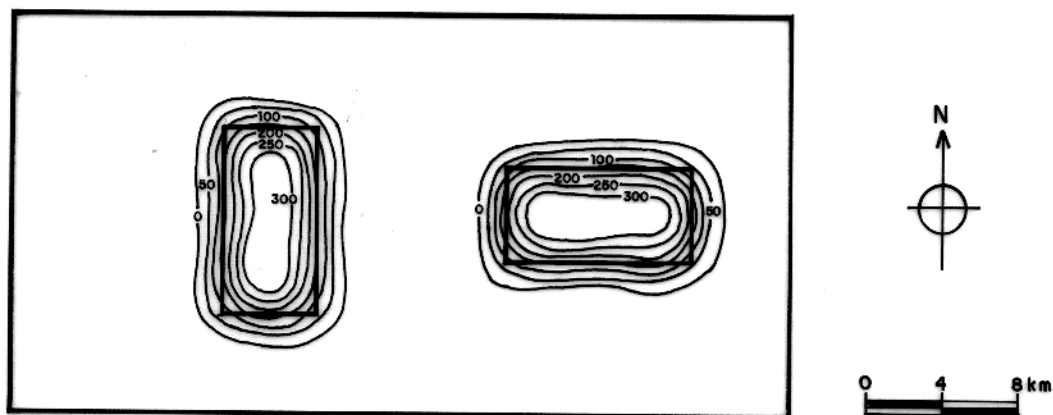


Fig. 3.18— Mapa de contraste de densidade aparente do campo gravimétrico com ruído (Figura 3.2), discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 2,0 km e espessura de 0,5 km, empregando parâmetro de amortecimento  $k= 0,4$  e o contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.2—Placa em Vários Níveis e Várias Espessuras

Nesta seção procura-se averiguar a influência da posição do topo e da espessura da placa que presumivelmente contém as fontes na delimitação dos corpos.

As anomalias com e sem ruído (Figuras 3.19 e 3.20, respectivamente) foram geradas a partir de um prisma (assinalado nas Figuras 3.19 e 3.20) com 0,5 km de espessura, profundidade do topo de 2,0 km e contraste de densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$ . Utilizaram-se placas com espessuras de 0,1, 0,5 e 1,0 km. Para cada valor de espessura, três valores de profundidade do topo (1,0, 2,0 e 3,0 km) foram empregados. Os resultados são mostrados nas Figuras 3.21 a 3.38.

Mantendo fixa a espessura da placa, por exemplo 0,5 km, vemos que para a profundidade do topo de 1,0 km (Figuras 3.21 e 3.22) o contraste de densidade aparente obtido é menor que o verdadeiro. Quando a profundidade do topo é de 2,0 km (Figuras 3.23 e 3.24) o contraste de densidade aparente obtido é bem próximo ao contraste de densidade verdadeiro. Com a placa a 3,0 km (abaixo do nível do topo da fonte — Figuras 3.25 e 3.26) verifica-se que o contraste de densidade aparente assume valor muito maior que o verdadeiro, além disso, percebe-se o aumento da instabilidade através da presença de valores negativos relativamente altos, o que é condizente com o princípio da camada equivalente, onde a placa com topo abaixo do nível das fontes representa uma solução inviável.

Variando a espessura da placa e mantendo fixa a profundidade do topo da mesma, observa-se que a variação do contraste de densidade aparente é inversamente proporcional com a espessura da placa, ou seja, quanto maior a espessura menor o contraste de densidade, e vice-versa (por exemplo, Figuras 3.22, 3.28 e 3.34).

A análise das Figuras 3.21 a 3.38, permite concluir que a espessura da placa e sua profundidade não influenciam na localização e delimitação dos limites laterais da fonte, isto é, qualquer que seja a espessura da placa e esteja ela em qualquer profundidade, o mapeamento da posição e da forma do corpo permanece inalterado. A espessura e profundidade do topo da placa, no entanto, afetam a determinação do contraste de densidade aparente. Verifica-se que há um acoplamento desses três parâmetros, ou seja, diferentes combinações de profundidades e espessuras produzem valores semelhantes para o contraste de densidade aparente.

A relação entre os três parâmetros citados neste ítem será melhor investigada na seção 3.2.8. Esta relação permite a análise de várias soluções alternativas. Por exemplo, se em uma bacia sedimentar temos a informação de que as fontes tem no mínimo 1,0 km de profundidade do topo, verificamos nesta situação, que a espessura de 0,1 km para a placa fornece distribuição de densidade muito alta. A menor estimativa, obtida empregando-se uma placa com profundidade de 1,0 km, foi de  $1360 \text{ kg/m}^3$ . Como em uma bacia sedimentar é muito difícil a ocorrência de contrastes de densidade dessa magnitude, podemos dessa forma eliminar a hipótese de que a fonte causadora da anomalia tenha espessura menor que 0,1 km.

Notou-se ainda que, quando do uso da placa com espessura de 0,1 km, houve um sensível aumento da instabilidade, com o aparecimento de valores negativos relativamente altos ( $-270 \text{ kg/m}^3$  no modelo da Figura 3.30). Conclui-se desta forma, que a utilização de placas muito mais finas que a espessura real do corpo, do mesmo modo que placas muito mais profundas do que o topo do mesmo, produzem maior instabilidade do que o uso de placas mais espessas ou mais rasas.

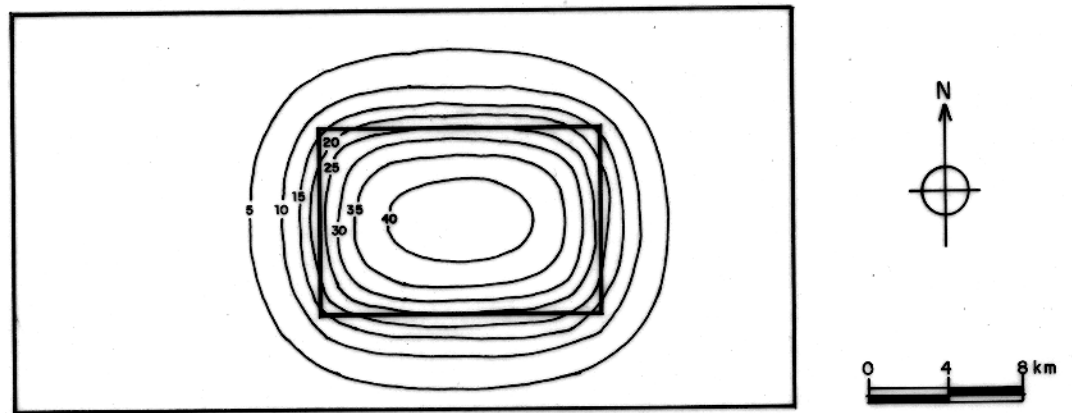


Fig. 3.19— Campo gravimétrico sintético devido a modelo prisma isolado e contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug.

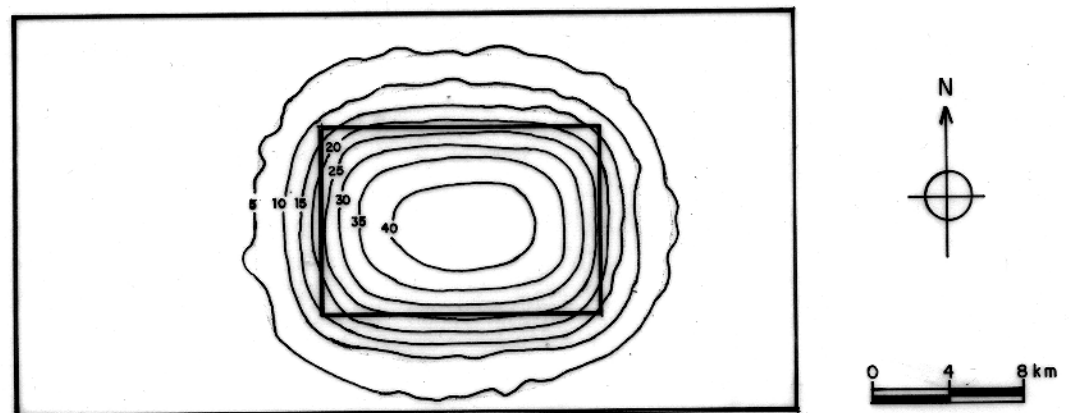


Fig. 3.20— Campo gravimétrico devido ao mesmo modelo da Figura 3.19, acrescido de ruído e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug.

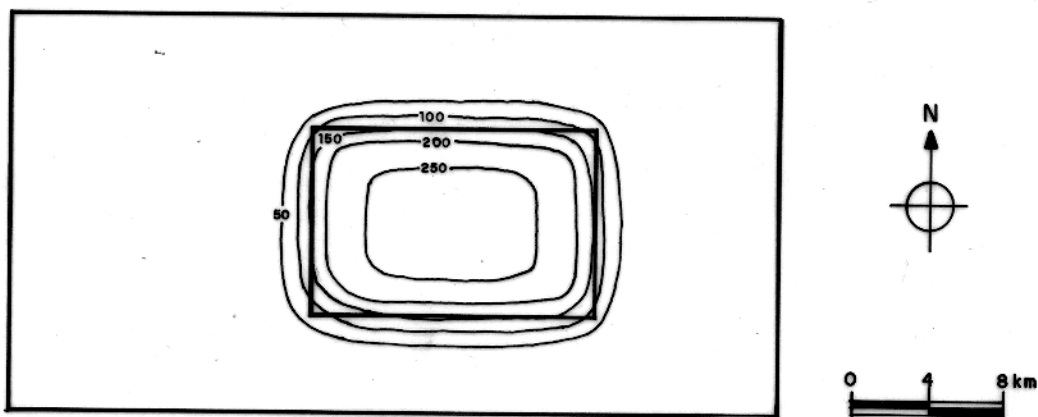


Fig. 3.21— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

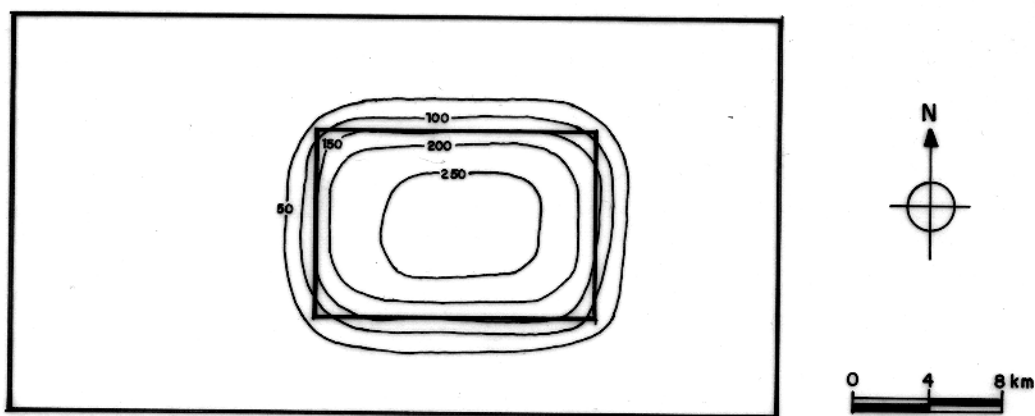


Fig. 3.22— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

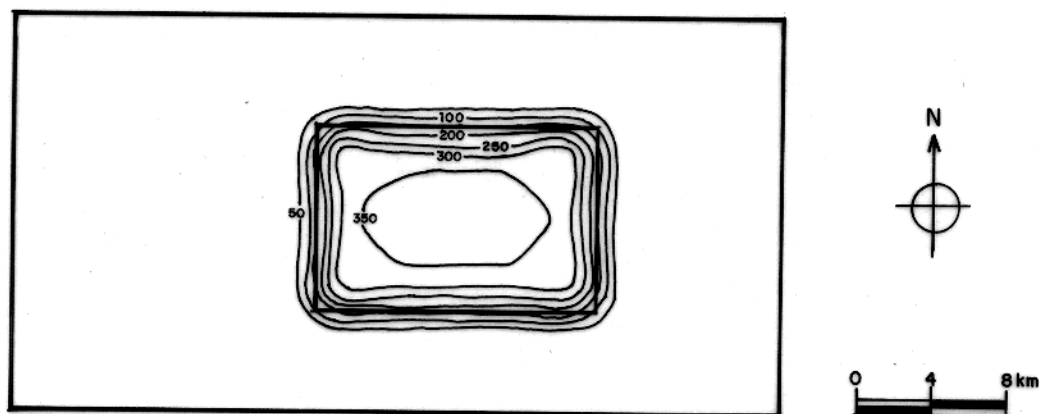


Fig. 3.23— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

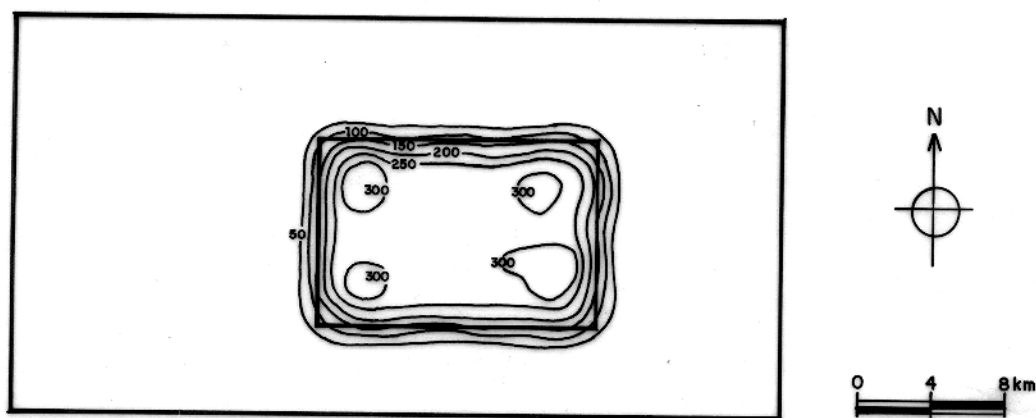


Fig. 3.24— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

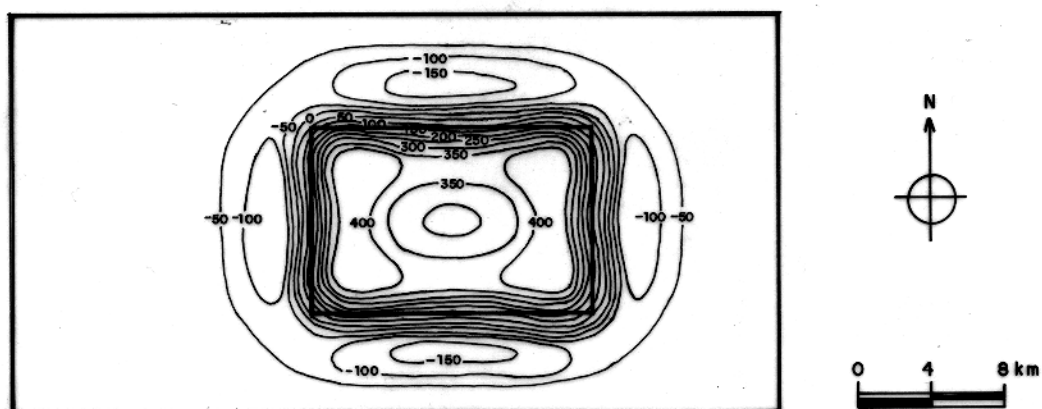


Fig. 3.25— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

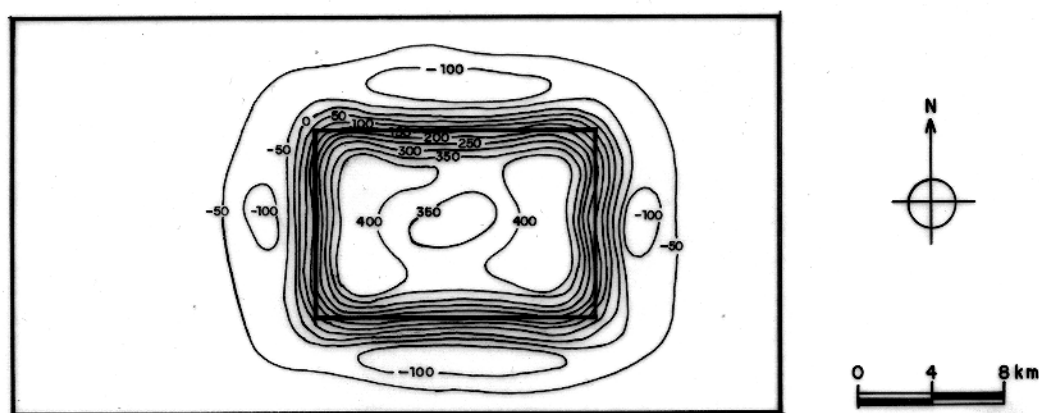


Fig. 3.26— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,5 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

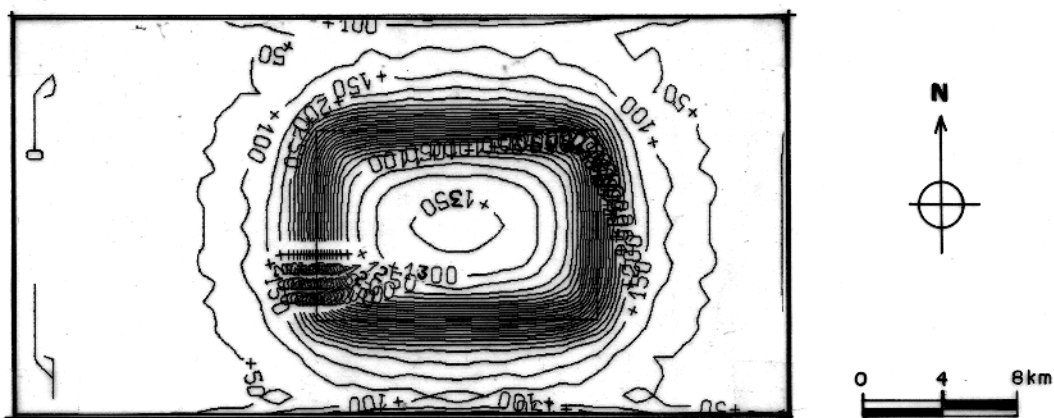


Fig. 3.27— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

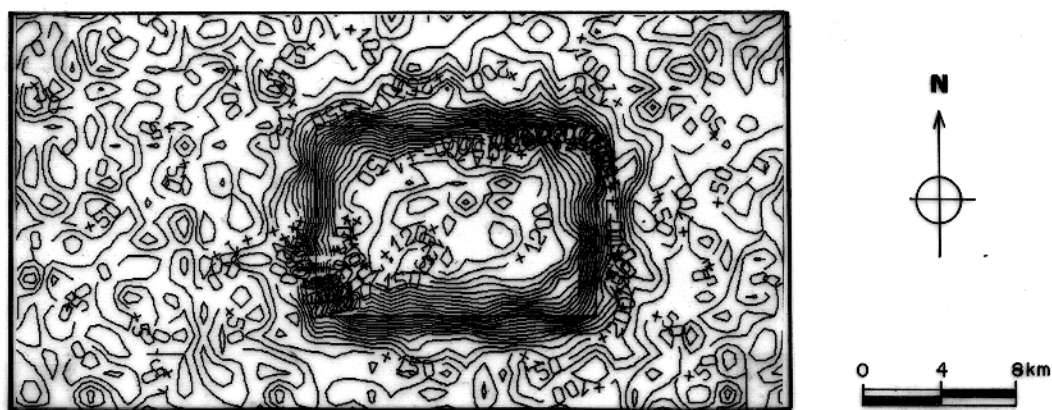


Fig. 3.28— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

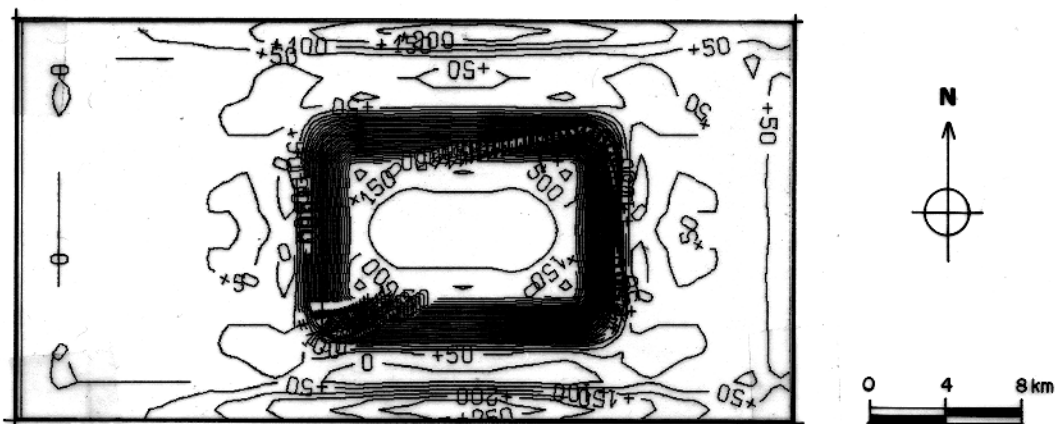


Fig. 3.29— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

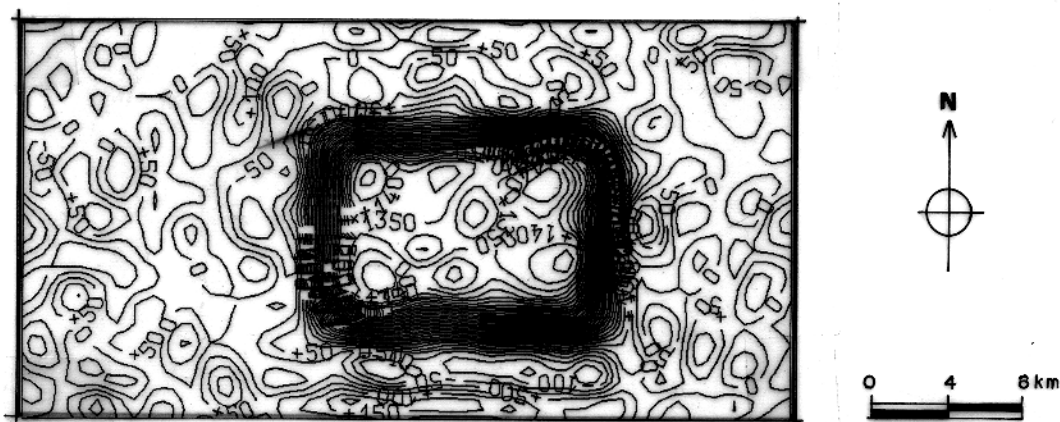


Fig. 3.30— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

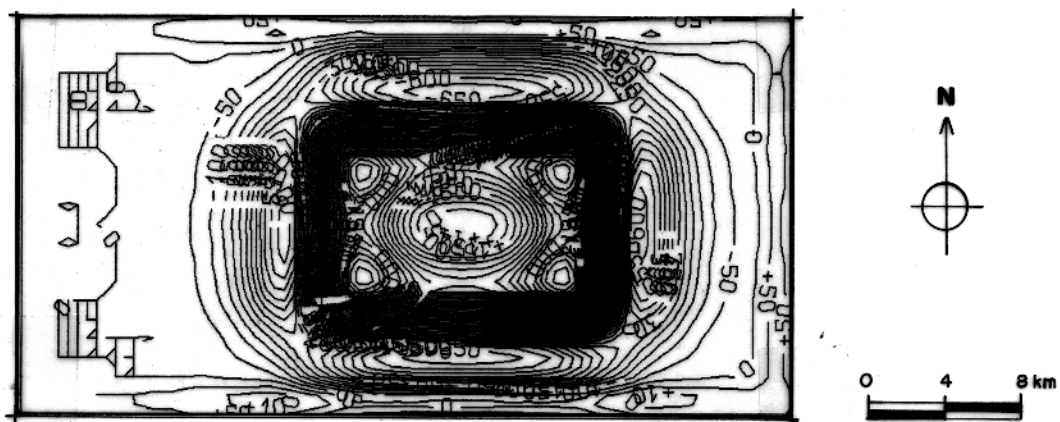


Fig. 3.31— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

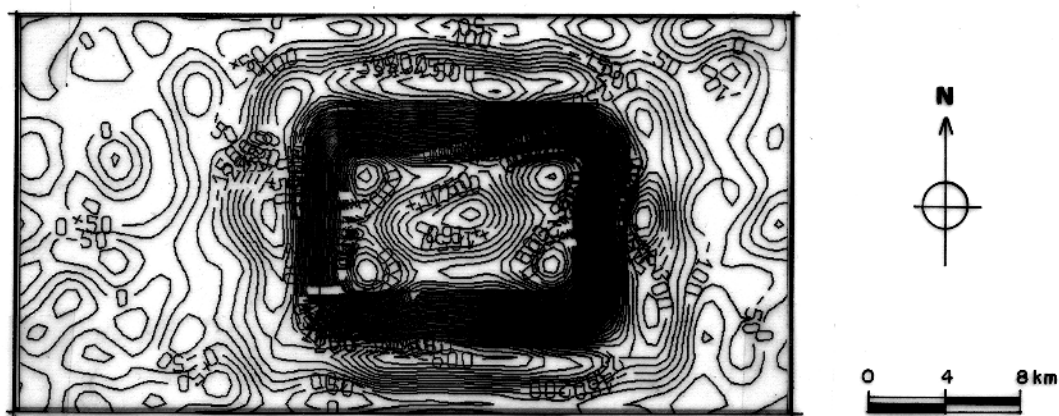


Fig. 3.32— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 0,1 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

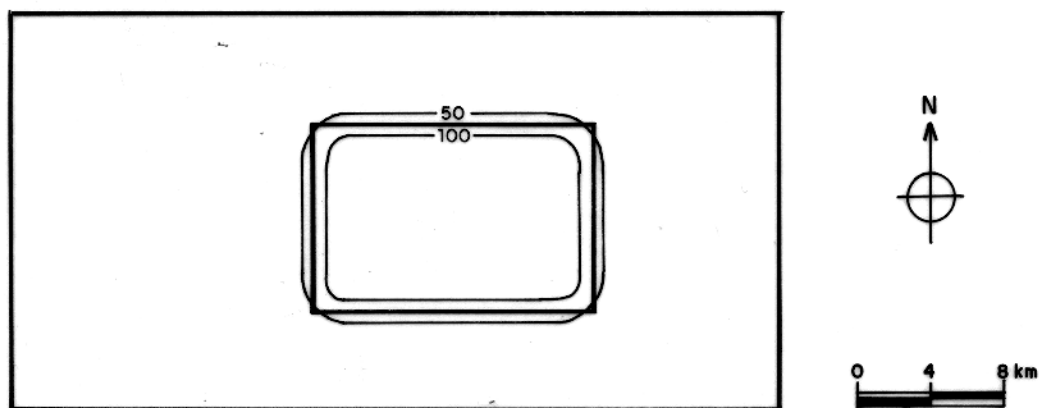


Fig. 3.33— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

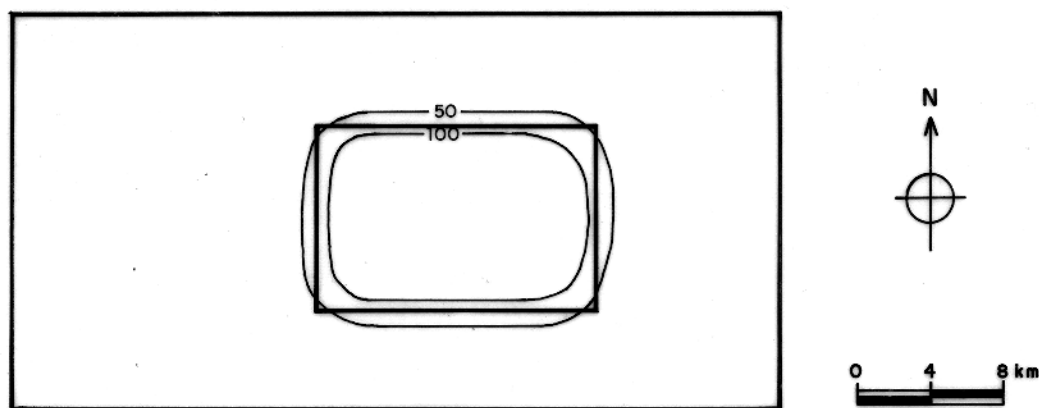


Fig. 3.34— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 1,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

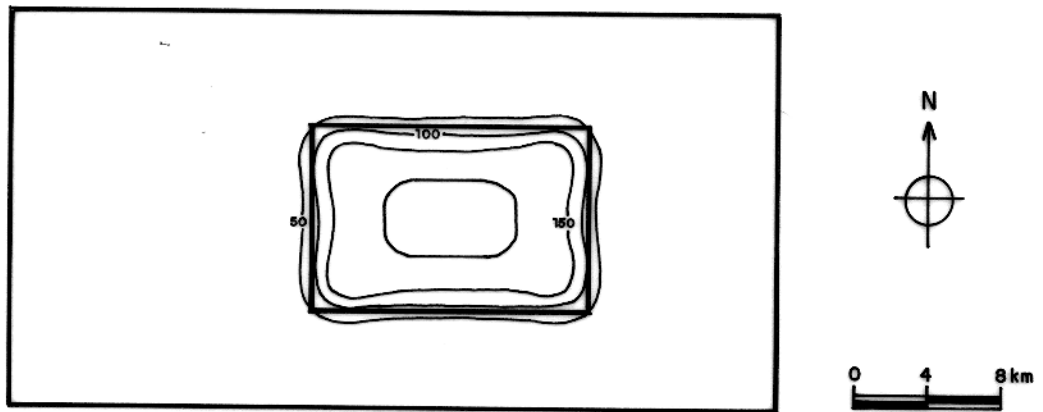


Fig. 3.35— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

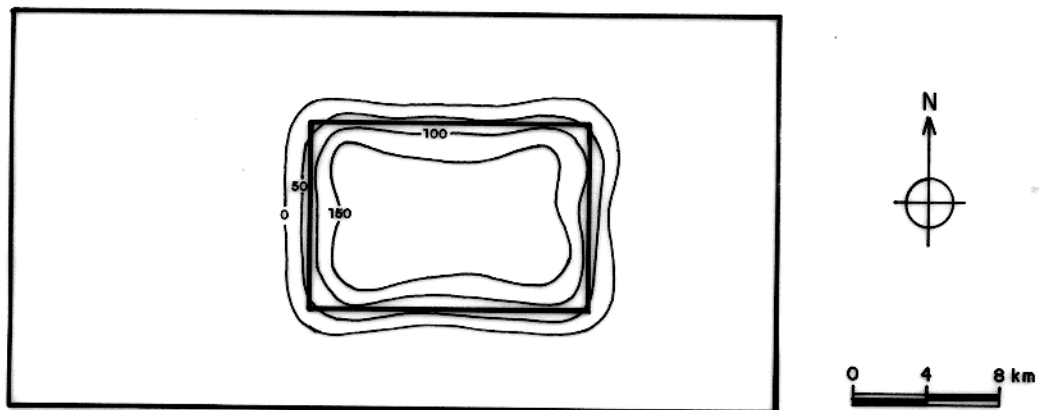


Fig. 3.36— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 2,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

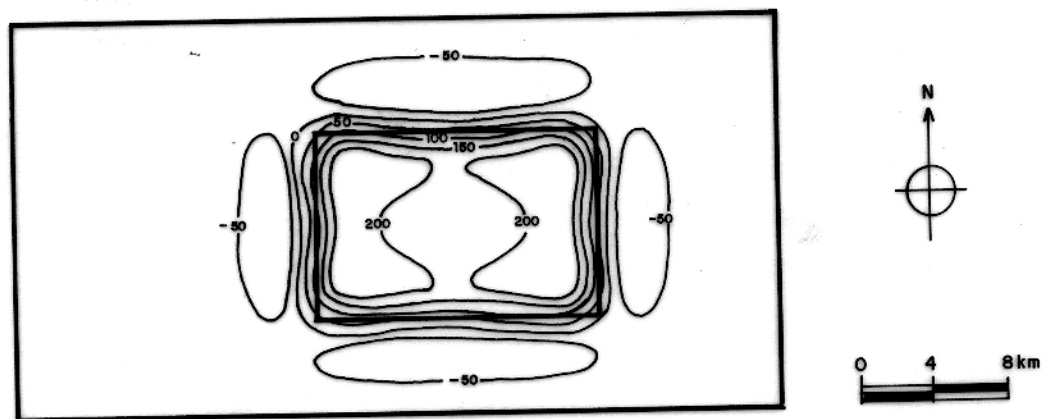


Fig. 3.37— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.19, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,1$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

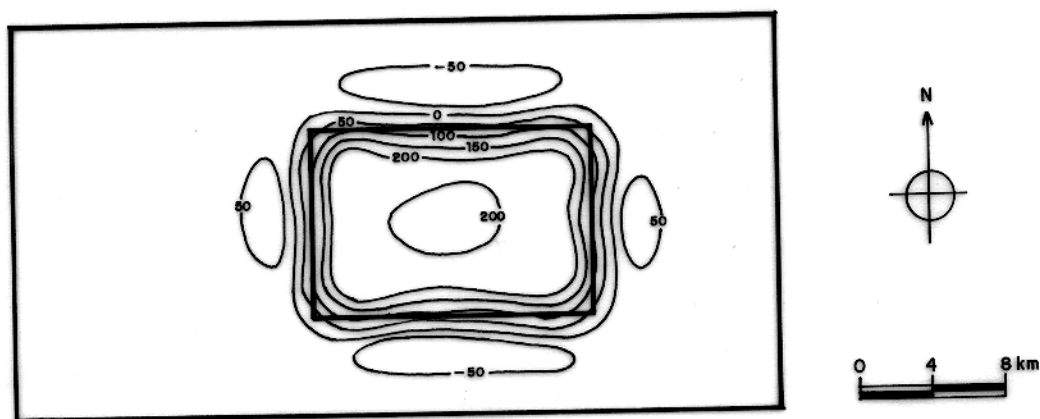


Fig. 3.38— Mapa de contraste de densidade aparente para o campo da Figura 3.20, discretizando-se a placa, que presumivelmente contém as fontes, em prismas com 3,0 km de profundidade do topo e 1,0 km de espessura, empregando  $k=0,3$  e o contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.3—Resolução Lateral

Foram realizados vários testes visando obter a distância mínima para que haja distinção entre duas fontes, ou seja, a distância lateral entre dois corpos a partir da qual, através do método, identificamos os dois isoladamente ao invés de somente um. Nesta e nas seções subsequentes apresentaremos os resultados obtidos somente para o caso com ruído (que é o mais genérico).

Os testes foram realizados da seguinte forma. Colocou-se lado a lado, separados por uma distância  $X$  variável, dois prismas iguais (Figura 3.39), situados à mesma profundidade (2,0 km), tendo 0,5 km de espessura e  $300 \text{ kg/m}^3$  de contraste de densidade. Para a inversão, utilizou-se placa com 0,5 km de espessura e topo a 2,0 km. Utilizaram-se vários valores para  $X$ , simulando assim o afastamento entre as fontes.

Graficaram-se os resultados obtidos para os seguintes valores de  $X$ : 1,0 km (Figuras 3.39 e 3.40), 2,0 km (Figuras 3.41 e 3.42) e 2,5 km (Figuras 3.43 e 3.44).

Para  $X$  igual a 1,0 km, verificamos que a anomalia gravimétrica devida ao modelo (Figura 3.39) não apresenta indícios da presença de duas fontes, pois possui somente um único pico de anomalia. Aplicando o método, vemos na Figura 3.40, que apesar de não haver a separação completa dos dois prismas, a presença dos dois corpos é clara, pois as curvas de nível de maior valor estão totalmente desconectadas acima de cada corpo. Os contornos laterais dos dois prismas são delineados através do mesmo critério da linha de contorno correspondendo a metade da amplitude máxima, não permitindo, no entanto, a individualização completa dos dois corpos.

Com a distância  $X$  igual a 2,0 km, notamos que a anomalia gravimétrica (Figura 3.41) já apresenta dois picos distintos. Ao fazermos o mapeamento de densidade (Figura 3.42), constata-se que as duas fontes estão quase completamente separadas e ao delinear os contatos laterais das fontes pelo mesmo critério já enfatizado anteriormente, obtemos, além da individualização das fontes, o posicionamento correto e também a distância a separá-las.

No caso de  $X$  igual a 2,5 km, os resultados mostram que os dois corpos já estão totalmente individualizados (Figura 3.44).

A partir dos resultados obtidos acima, conclui-se que para a geometria de fontes empregada, a distância de 2,0 km é a distância crítica, ou seja, a distância a partir da qual podemos

com certeza individualizar as fontes causadoras da anomalia. Para valores menores que o crítico, podemos inferir a presença de dois corpos, porém resta um certo grau de ambiguidade, que pode ser reduzido somente por informação a priori.

Comparando as Figuras 3.39a com 3.40, 3.41a com 3.42 e 3.43a com 3.44, verificamos que o método tem a propriedade de aumentar de aumentar a resolução do campo gravimétrico observado, visto que, da anomalia observada, não é possível o isolamento das duas fontes, aplicando o método consegue-se o isolamento das fontes e a distância lateral a separá-las.

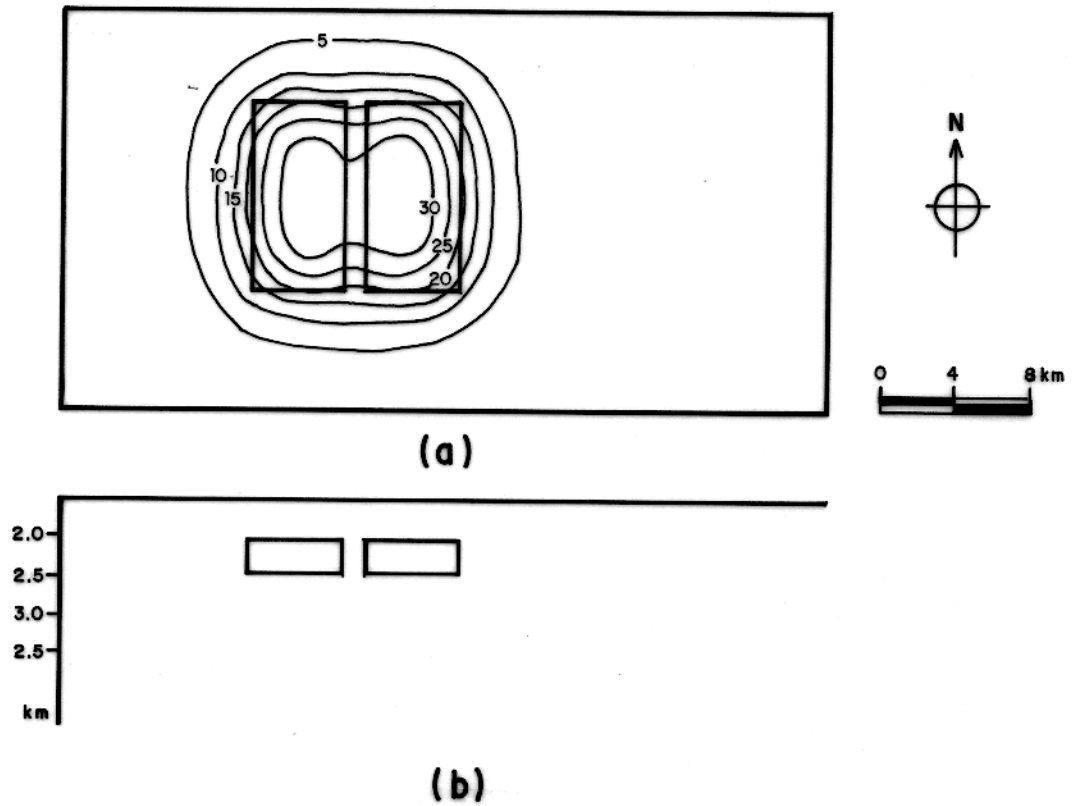


Fig. 3.39— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo de dois prismas e o contorno lateral das fontes (linha grossa). A distância que separa os prismas é de 1,0 km. Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E–W do modelo da Figura 3.39a.

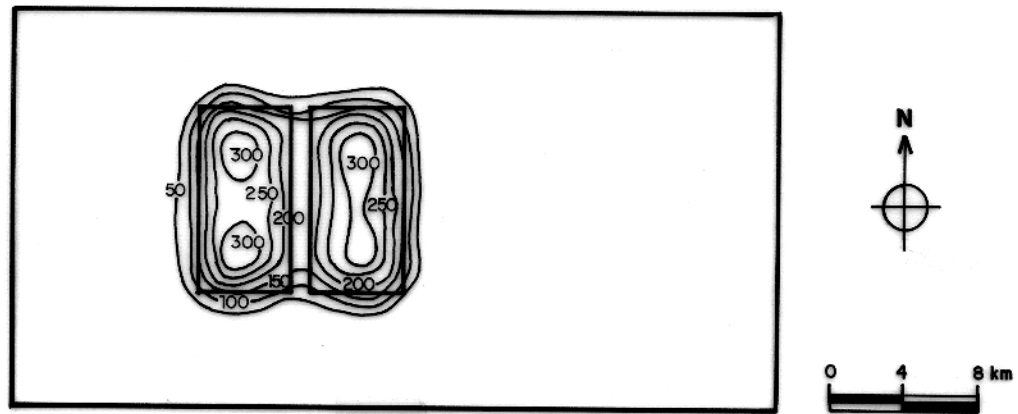


Fig. 3.40— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.39, discretizando-se a placa em prismas com 0,5 km de espessura e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo das fontes, empregando  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

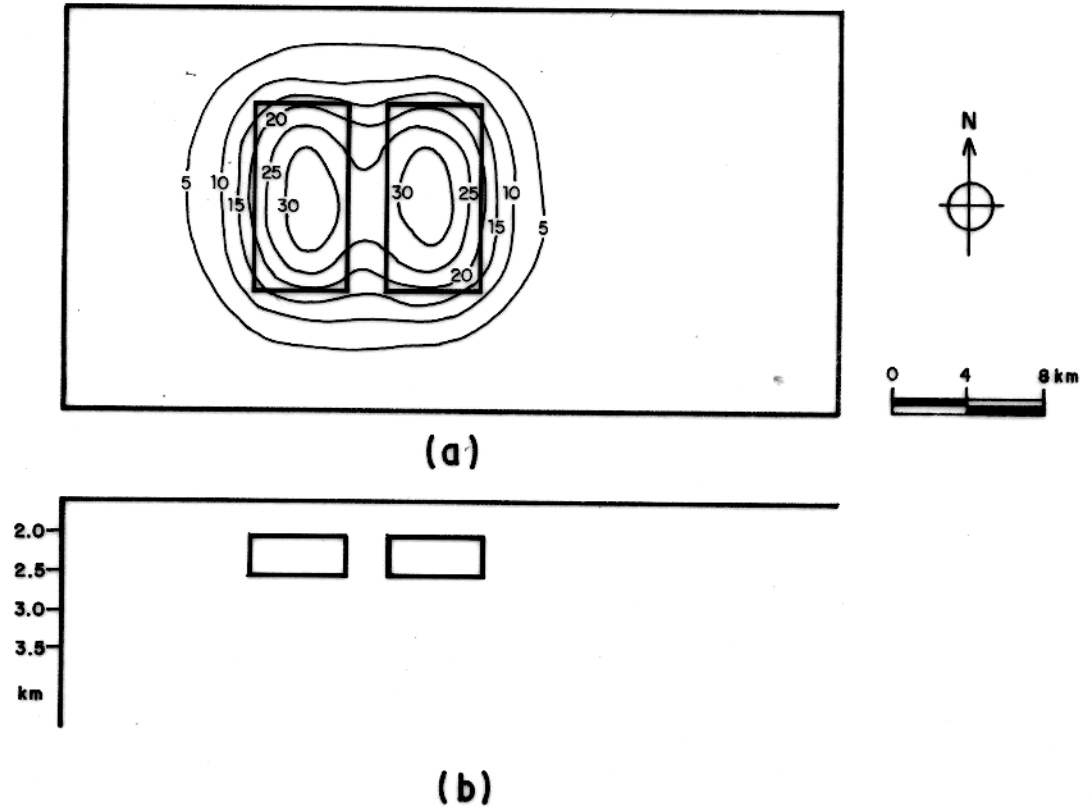


Fig. 3.41— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo de dois prismas e o contorno lateral das fontes (linha grossa). A distância que separa os prismas é de 2,0 km. Intervalo de contorno 5  $\mu\text{g}$ . (b) Perfil central E-W do modelo da Figura 3.39a.

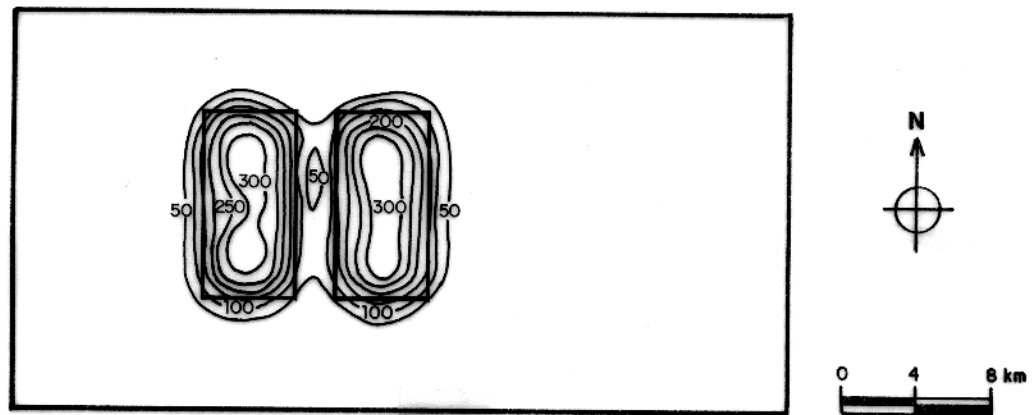


Fig. 3.42— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.41, discretizando-se a placa em prismas com 0,5 km de espessura e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo das fontes, empregando  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

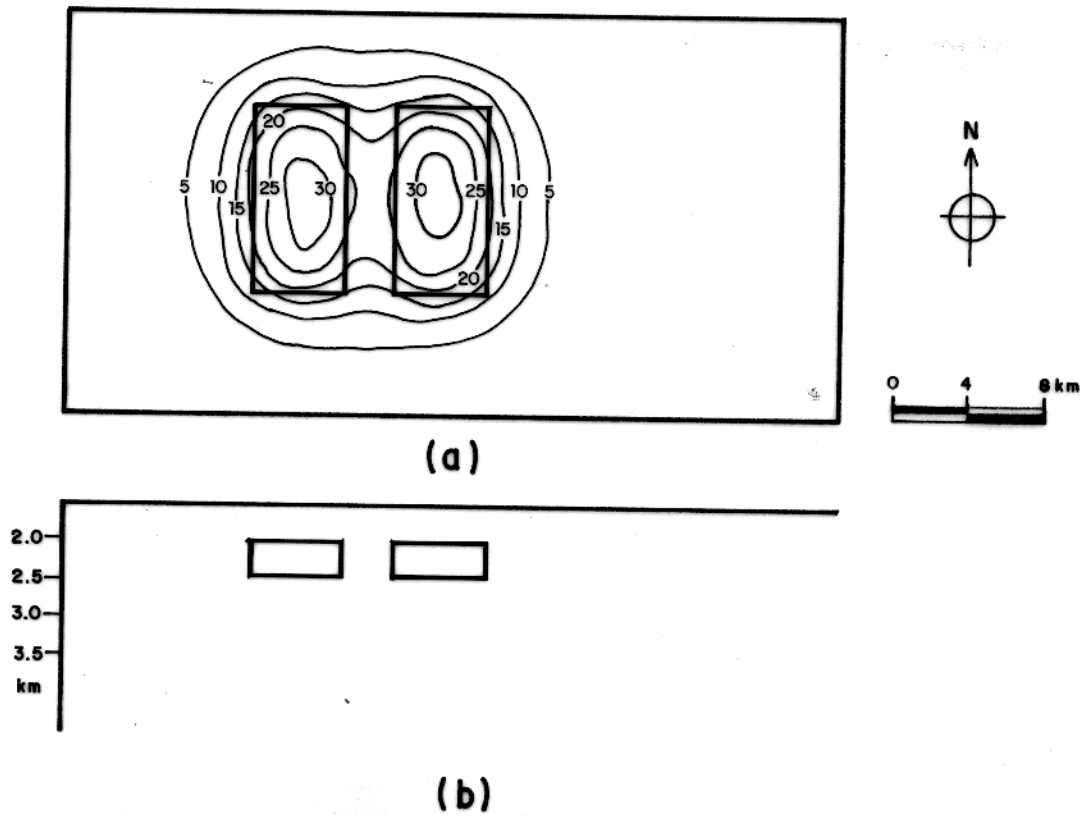


Fig. 3.43— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo de dois prismas e o contorno lateral das fontes (linha grossa). A distância que separa os prismas é de 2,5 km. Intervalo de contorno 5  $\mu\text{g}$ . (b) Perfil central E-W do modelo da Figura 3.39a.

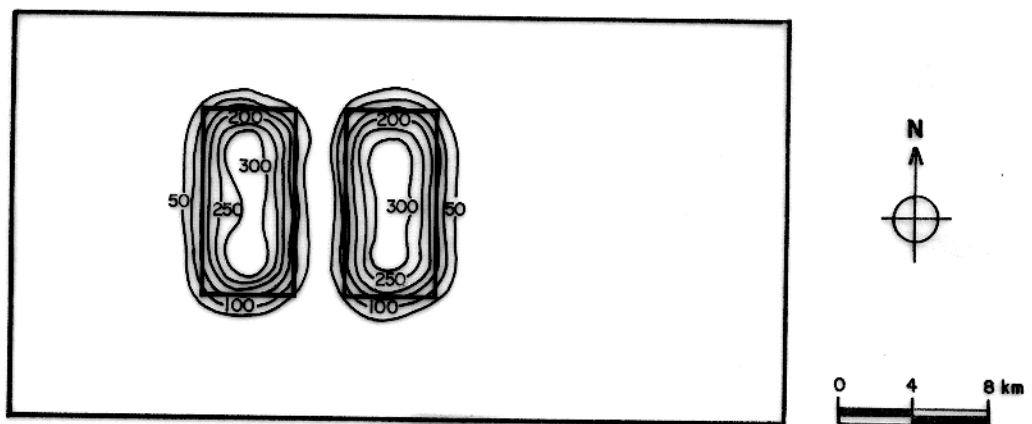


Fig. 3.44— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.43, discretizando-se a placa em prismas com 0,5 km de espessura e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo das fontes, empregando  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

### 3.2.4—Corpos Sobrepostos

O problema geológico a ser simulado nesta seção é a ocorrência de corpos que se sobreponham. Geraram-se anomalias gravimétricas a partir de dois prismas (Figuras 3.45, 3.47 e 3.49). O maior (contorno na Figura 3.45) foi colocado à profundidade de 2,0 km, e manteve-se fixa sua espessura (0,5 km) para todos os testes. O menor (contorno na Figura 3.45) foi colocado à profundidade de 3,0 km, distante portanto 0,5 km da base do primeiro prisma. Para cada teste variou-se a espessura do prisma menor, utilizando-se espessuras menor (modelo  $n^{\circ}1$ ), igual (modelo  $n^{\circ}2$ ) e maior (modelo  $n^{\circ}3$ ) que a do primeiro prisma. Os valores empregados foram respectivamente: 0,3 km (Figuras 3.45 e 3.46), 0,5 km (Figuras 3.47 e 3.48) e 0,7 km (Figuras 3.49 e 3.50). As duas fontes possuem densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$ . Colocou-se a placa à profundidade de 2,0 km, tendo esta 0,5 km de espessura.

Para o caso do prisma menor com espessura de 0,3 km, nota-se, analisando a Figura 3.46, que o efeito causado por este é mínimo, indistinguível da amplificação do ruído. Quando o prisma menor apresenta espessura de 0,5 km (Figura 3.48), percebe-se que na região onde ele está situado, há um aumento significativo do contraste de densidade aparente. Para a espessura de 0,7 km (Figura 3.50), a região fica melhor definida pelos intervalos de contorno. Analisando as três situações estudadas, verifica-se que a espessura da fonte sotoposta, tem de ser no mínimo igual ou maior do que a da fonte sobreposta, para que possamos notar os efeitos causados pela fonte menor sobre a maior. Neste caso, o prisma maior é delimitado pela curva de amplitude média entre o nível de referência (zero) e o nível do patamar correspondente à curva de  $300 \text{ kg/m}^3$ , enquanto o prisma menor é delimitado pela curva de amplitude média entre o patamar de  $300 \text{ kg/m}^3$  e o pico da anomalia. Por exemplo, no caso da Figura 3.48 o pico da anomalia é  $480 \text{ kg/m}^3$ , desse modo, observamos que a curva de  $390 \text{ kg/m}^3$  fornece uma boa estimativa para o contorno lateral do prisma menor. A delimitação do contorno lateral do prisma menor fica mais precisa à medida que a espessura do mesmo aumenta.

Os resultados demonstram que o método não apresenta resolução para distinguir esta situação, daquela em que há somente uma fonte com espessura variável (seção 3.2.5b). É necessário, portanto, introduzir informação a priori para discernir entre as duas situações, caso contrário, permanece a ambiguidade.

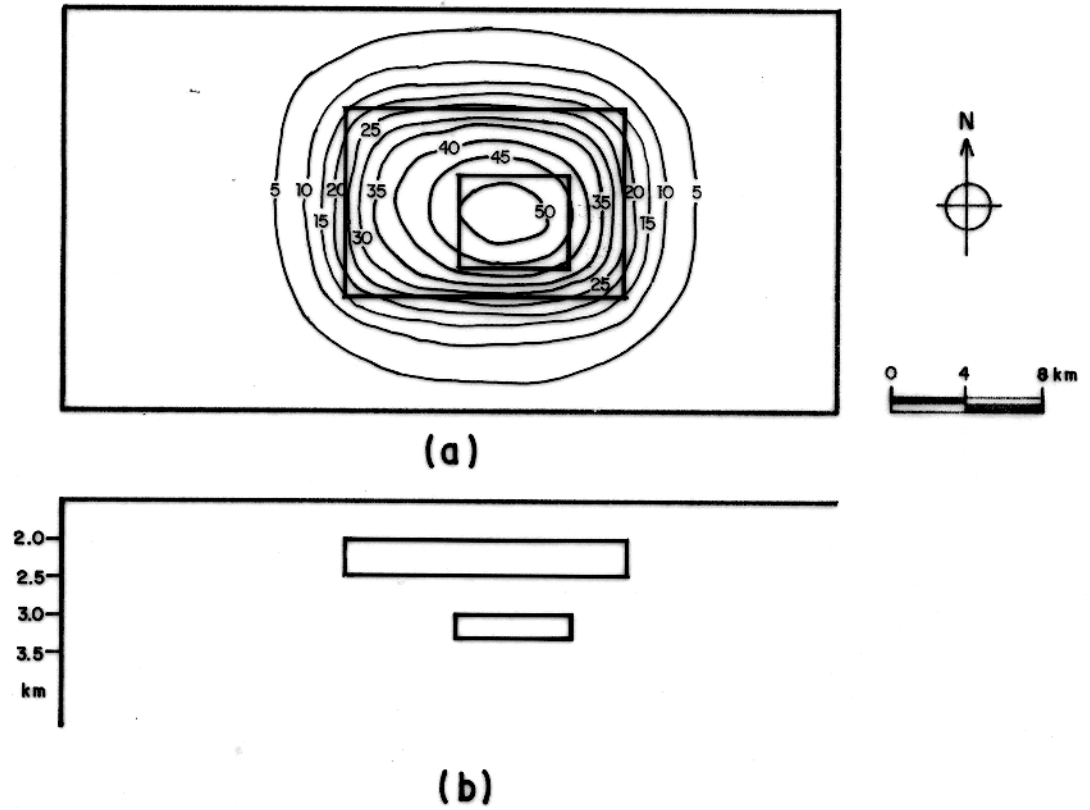


Fig. 3.45— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  1 para testes de corpos sobrepostos e contorno lateral dos prismas (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  1.

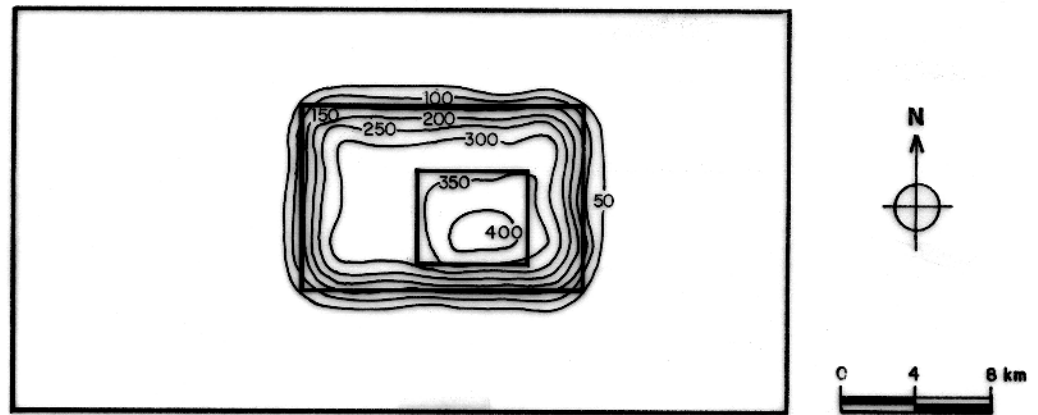


Fig. 3.46— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.45, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

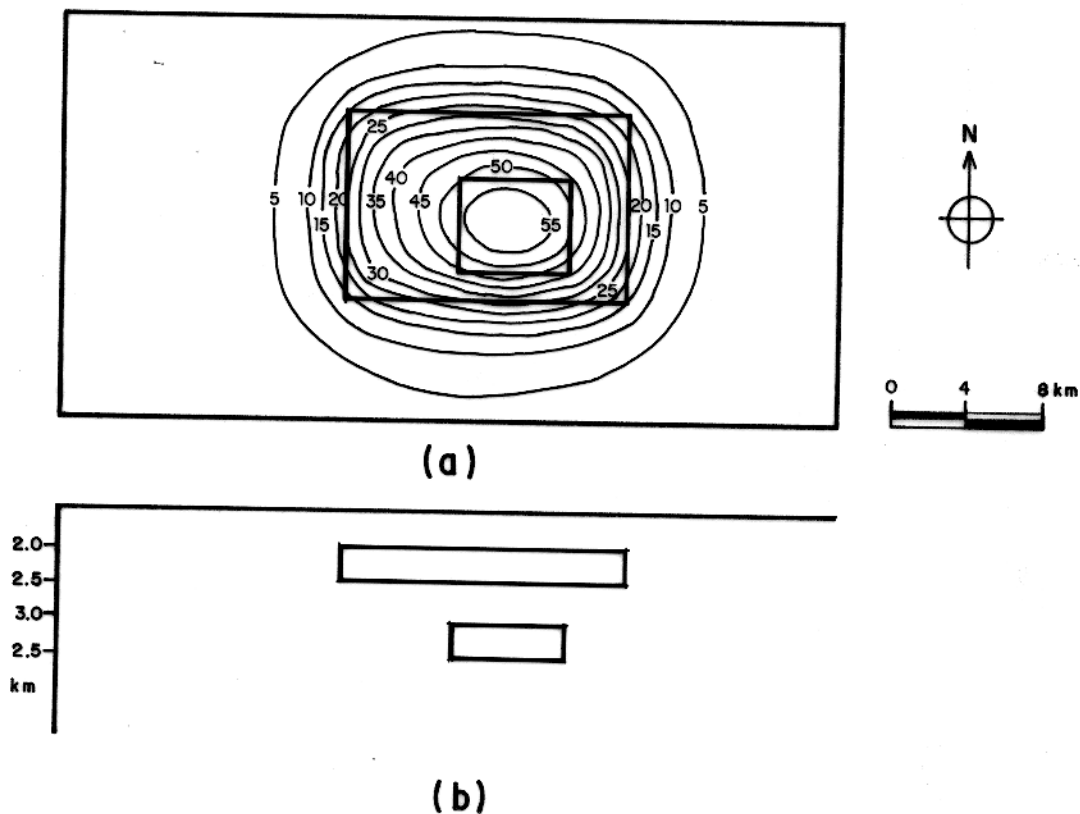


Fig. 3.47— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  2 para testes de corpos sobrepostos e contorno lateral dos prismas (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  2.

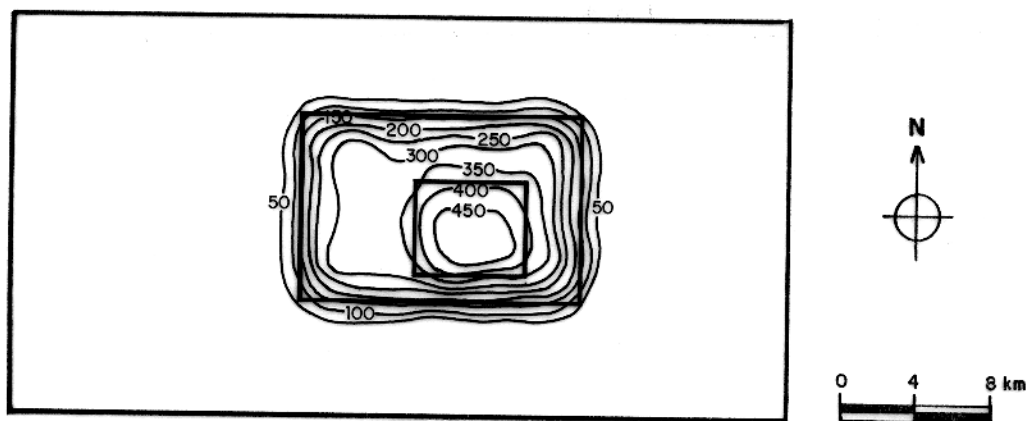


Fig. 3.48— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.47, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

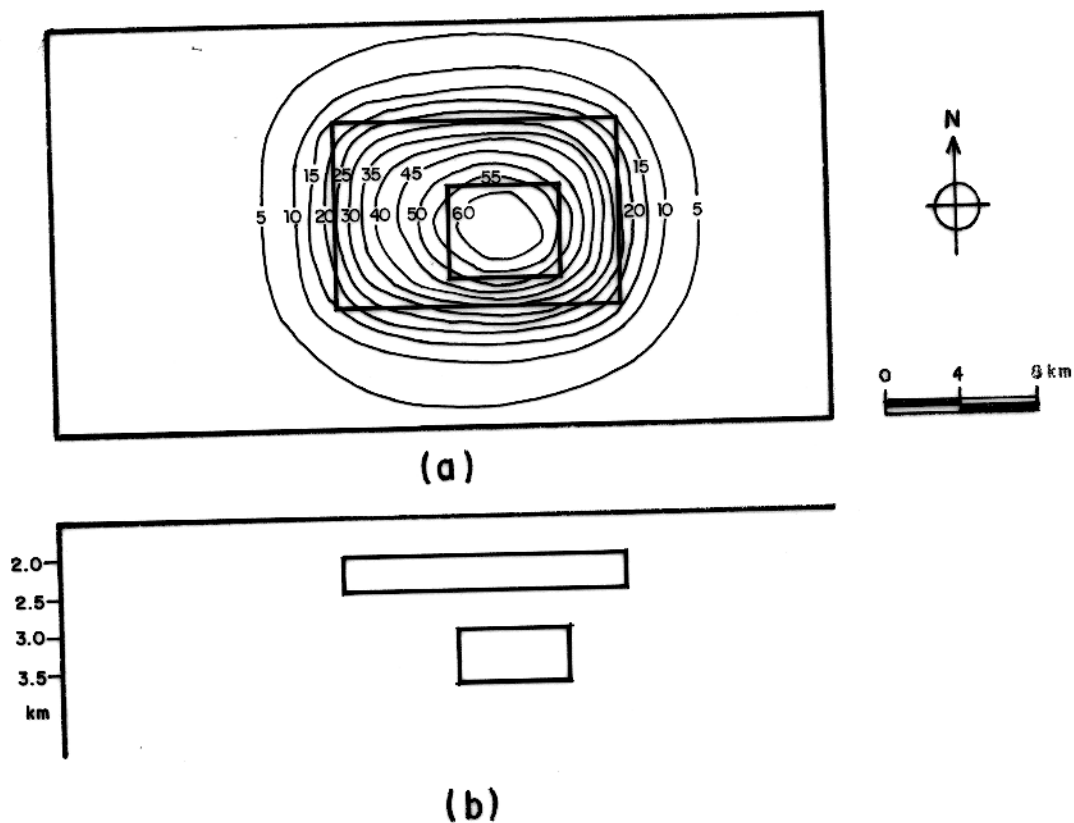


Fig. 3.49— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  3 para testes de corpos sobrepostos e contorno lateral dos prismas (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  3.

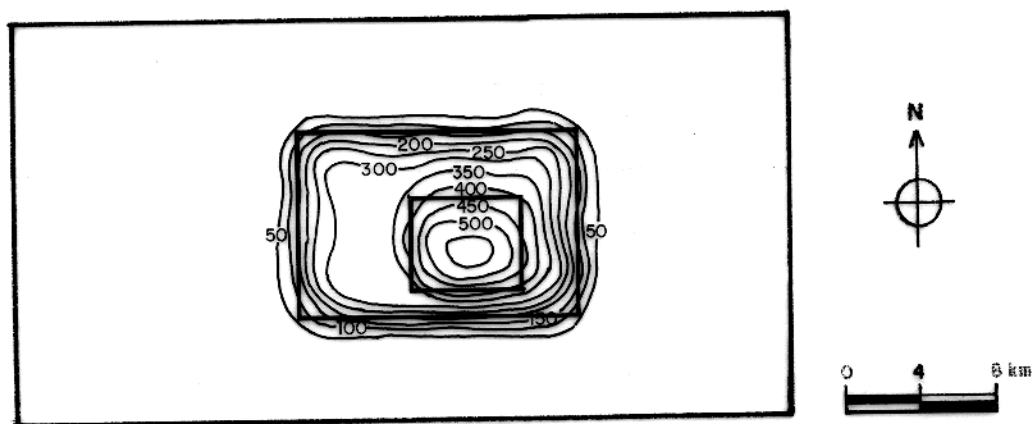


Fig. 3.50— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.49, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.5—Corpos Irregulares

Todo modelamento feito neste capítulo até agora, só levou em consideração a presença de fontes representadas por prismas retangulares. Como na natureza a ocorrência de corpos regulares é muito restrita, nesta seção será investigado o desempenho do método quando aplicado no mapeamento de fontes irregulares em extensão horizontal e em espessura. Como na maioria dos testes anteriores, a placa que supostamente contém as fontes tem 0,5 km de espessura e seu topo foi colocado a 2,0 km de profundidade.

#### (a) Irregularidade em Extensão Horizontal

O objetivo é determinar a irregularidade mínima na fonte que pode ser detectada pela inversão. São investigados dois modelos. O modelo  $n^{\circ}1$  simula fonte em forma de cruz (Figuras 3.51 e 3.52) e o modelo  $n^{\circ}2$  fonte em forma da letra H (Figuras 3.53 e 3.54). Para ambos, utilizamos três prismas contíguos (contorno dos prismas nas Figuras 3.52 e 3.54), situados à profundidade de 2,0 km, tendo 0,5 km de espessura e  $300 \text{ kg/m}^3$  de contraste de densidade. Os prismas externos têm comprimento de 5,0 km. No modelo  $n^{\circ}1$ , o prisma central possui um comprimento de 5,0 km mais um valor X variável. Para o modelo  $n^{\circ}2$ , o prisma central possui comprimento de 5,0 km menos um valor X. Desta forma, testamos vários valores para X, de modo a encontrar o valor que permita delinear com precisão a forma da fonte.

Para ambos os casos, o menor valor encontrado sem que haja ambiguidade, foi de X igual a 1,0 km (Figuras 3.52 e 3.54), ou seja, uma unidade de espaçamento da malha utilizada. Valores menores que este, produzem irregularidades nas curvas de contorno do mapa de contraste de densidade aparente, que podem ser confundidas com irregularidades devidas à presença de ruído.

Analisando as anomalias gravimétricas causadas pelos dois corpos (Figuras 3.51 e 3.53), vemos que estas não fornecem indicação precisa da forma dos mesmos. Aplicando-se a metodologia do mapeamento de densidade, no entanto, conseguimos com razoável precisão, determinar a forma e a localização da fonte, confirmando o que já foi dito na seção 3.2.1 sobre este aspecto.

#### (b) Irregularidade na Espessura

Os modelos utilizados para simular situações deste tipo, são compostos por prismas retangulares contíguos, de diferentes espessuras, situados a profundidades distintas. Estes modelos

procuram simular a geometria de corpos que normalmente são encontrados em bacias sedimentares.

O primeiro modelo consta de quatro prismas em degraus escalonados com contrastes de densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$  (Figura 3.55a, b). Os resultados (Figura 3.56), mostram patamares de contraste de densidade aparente sobre os prismas. O limite externo da fonte formada pelos quatro prismas, pode ser determinado pelo critério proposto na seção 3.2.1. É importante observar que esta situação não causa deformação no contorno horizontal da fonte mapeada, podendo-se determinar a posição e a forma do corpo com a mesma precisão obtida para o caso da fonte regular (seção 3.2.1). O limite interno entre os prismas de diferentes espessuras, também é obtido pelo critério da curva de amplitude média. Este valor porém, deve ser calculado entre os máximos de contraste de densidade aparente de patamares contíguos, o que pode ser comprovado analisando a Figura 3.56.

O segundo modelo (Figuras 3.57 e 3.58) é composto por três prismas, com o central mais espesso que os laterais, simulando um espessamento e elevação da fonte neste local. O terceiro modelo (Figuras 3.59 e 3.60) também é composto por três prismas, onde o central é menos espesso que os laterais, simulando um adelgaçamento da fonte em sua parte central. O quarto modelo (Figuras 3.61 e 3.62) é constituído por três prismas, representando uma fonte de forma lenticular. Em todos os casos, o contraste de densidade de cada prisma é de  $300 \text{ kg/m}^3$ . Os resultados obtidos para o segundo ao quarto modelo, mostram que o critério para delimitação da fonte, é consistente, mesmo quando há variação na espessura. Um fato interessante a ser notado, é que, as curvas de contorno situadas sobre os prismas mais profundos e/ou menos espessos, estão mais espaçadas entre si, do que as situadas sobre prismas mais rasos e/ou mais espessos, como por exemplo nas Figuras 3.58 e 3.62. Analisando essas figuras, percebe-se que, embora os modelos sejam diferentes, as respostas são bastante semelhantes.

O quinto modelo (Figuras 3.63 e 3.64) é composto por três prismas sobrepostos, centrados nas mesmas coordenadas, simulando uma estrutura dômica com contraste de densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$ . Nesta situação, vemos que o mapeamento de densidade (Figura 3.64) é insensível a essa variação na forma da fonte. De fato, analisando a resposta dada pelo método, vemos que não há diferença deste caso, para o de prisma retangular. Esta ambiguidade só pode ser eliminada a partir da introdução de informação a priori. Como veremos mais adiante na seção 3.2.8, podemos extrair um pouco mais de informação, como por exemplo, obter limites para profundidade do topo da

fonte, para sua espessura ou densidade. Esses parâmetros aliados à forma da fonte obtida, podem servir como aproximações iniciais ou vínculos confiáveis em métodos de inversão não-linear.

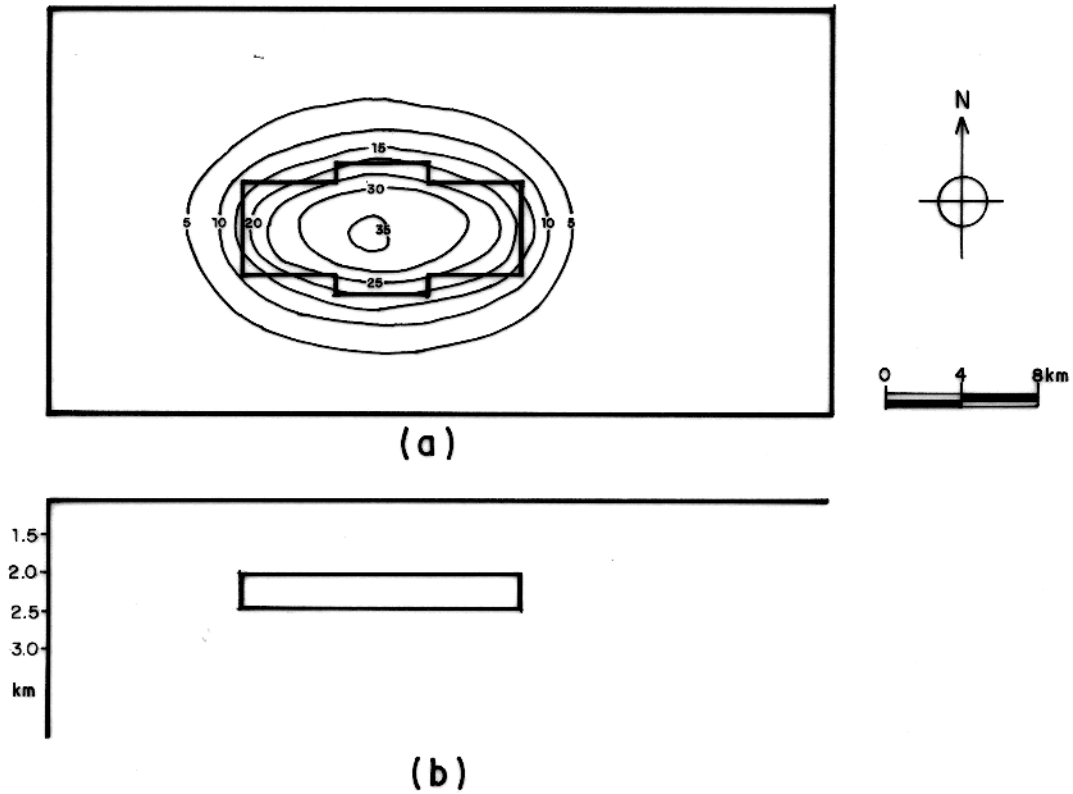


Fig. 3.51— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  1 para teste de irregularidade em extensão horizontal e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  1.

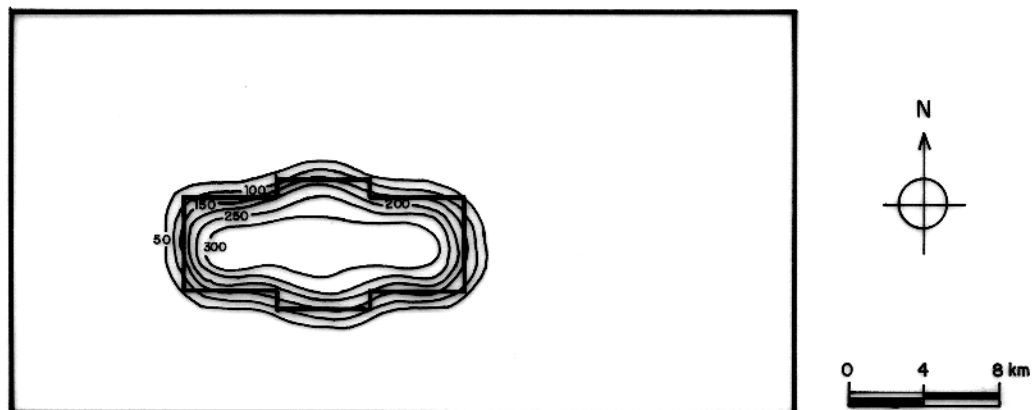


Fig. 3.52— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.51, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

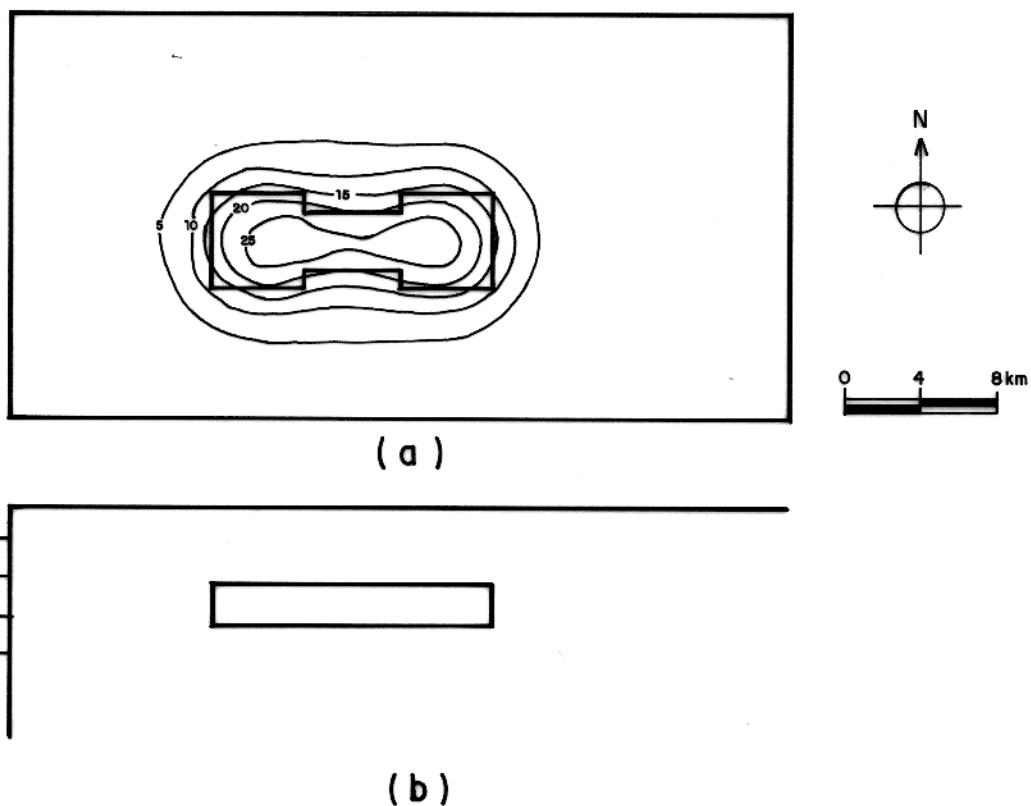


Fig. 3.53— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  2 para teste de irregularidade em extensão horizontal e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5  $\mu\text{g}$ . (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  2.

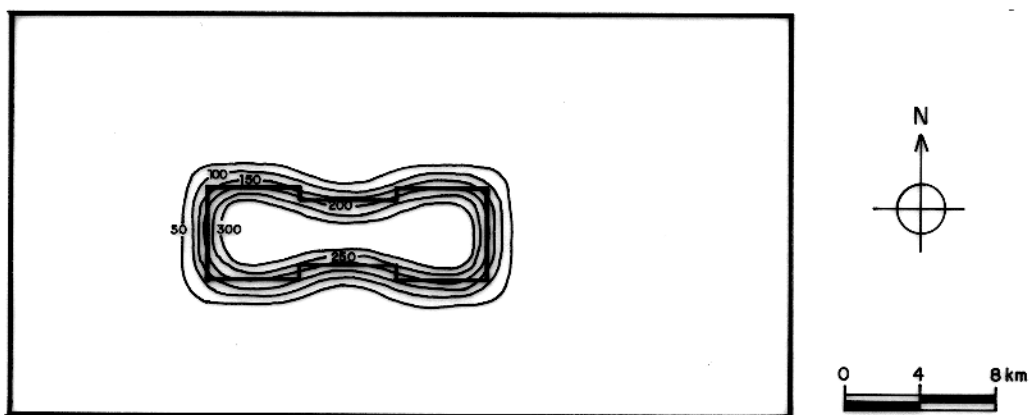


Fig. 3.54— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.53, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

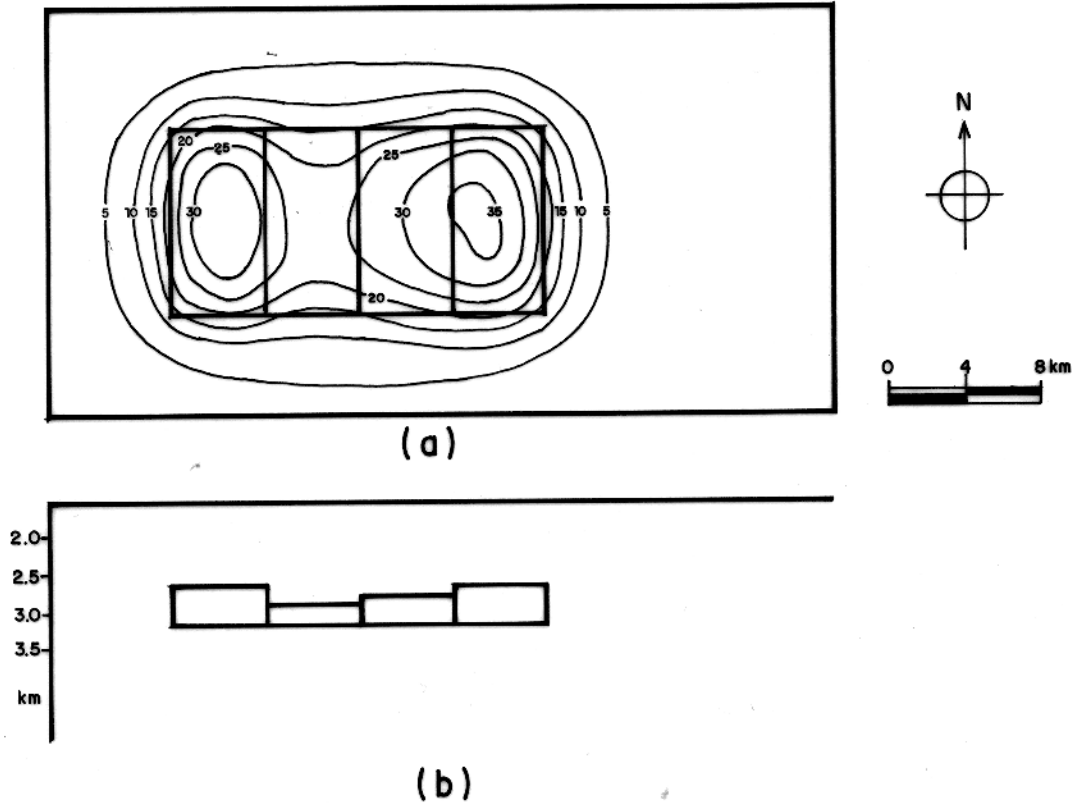


Fig. 3.55— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  1 para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno: 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  1.

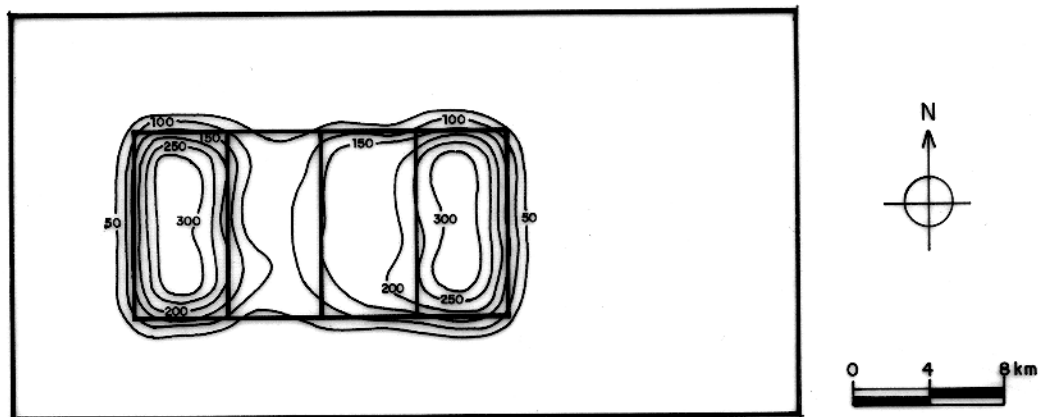


Fig. 3.56— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.55, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

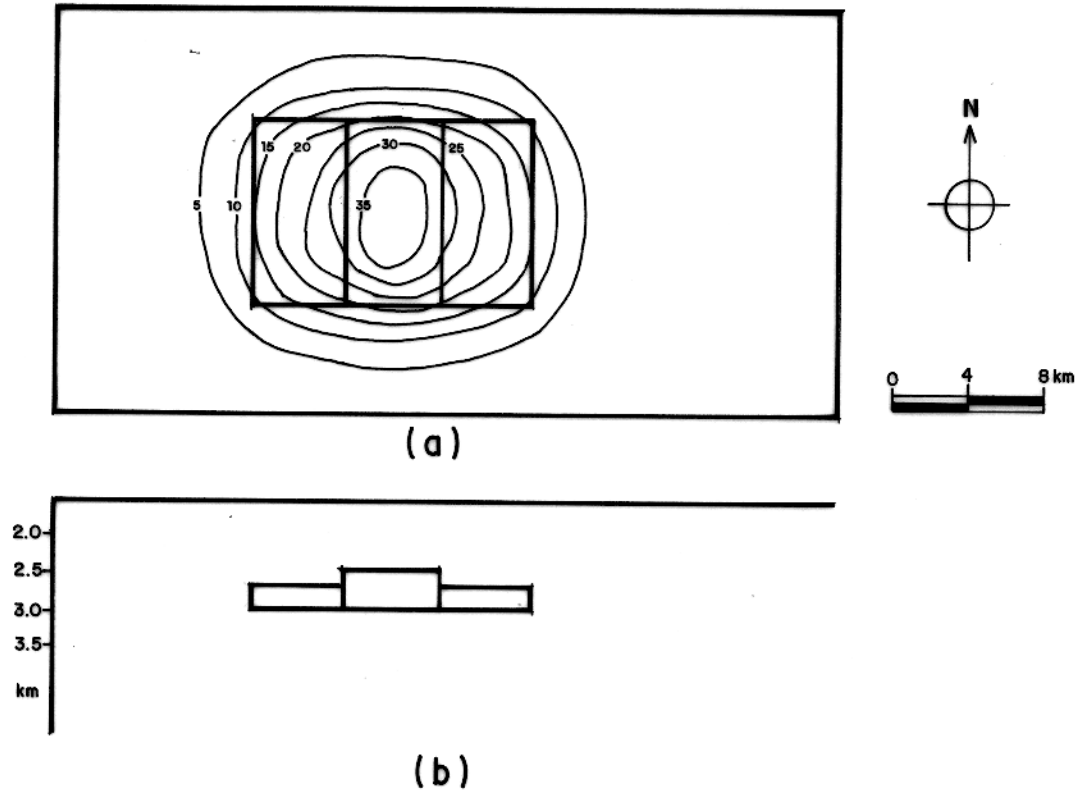


Fig. 3.57— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  2 para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  2.

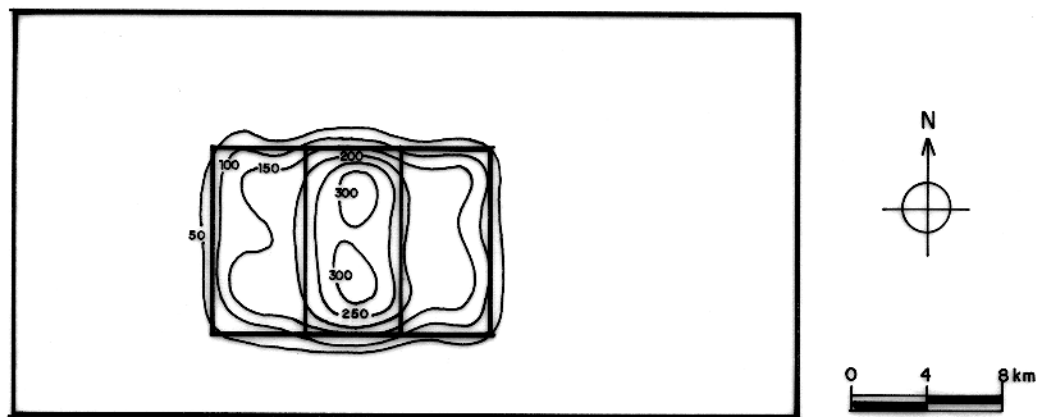


Fig. 3.58— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.57, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

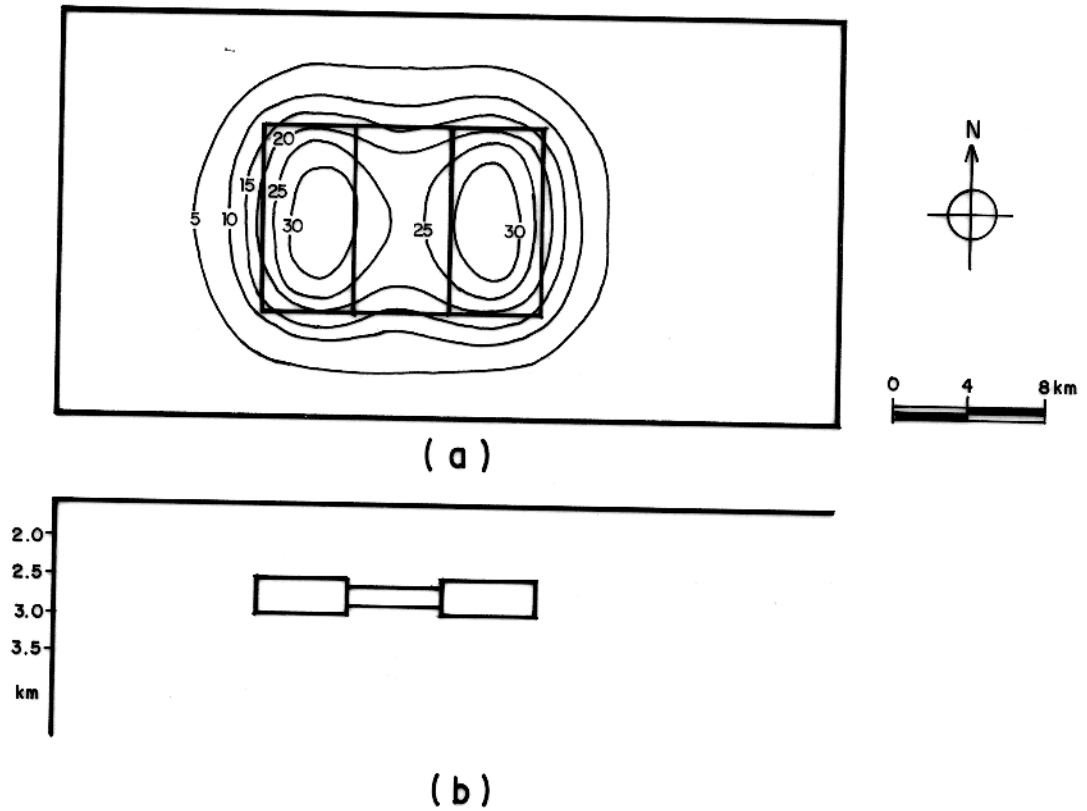


Fig. 3.59— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo n° 3 para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil central E-W do modelo n° 3.

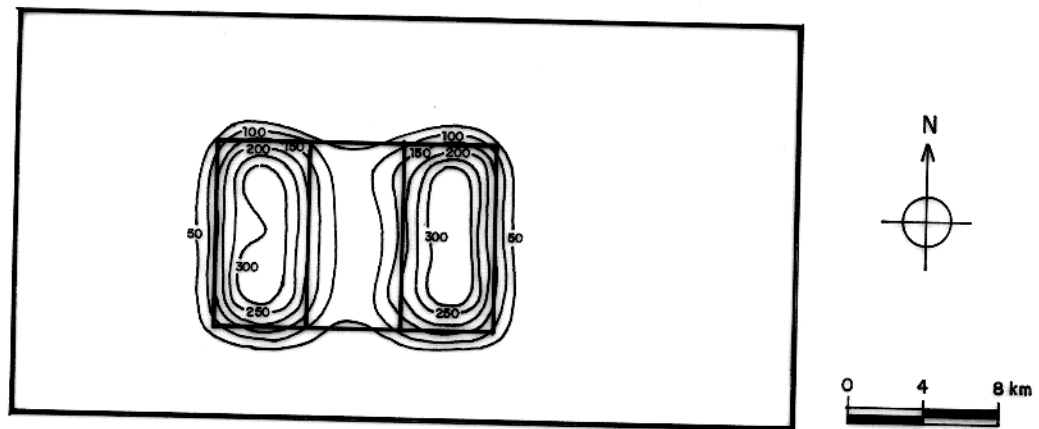


Fig. 3.60— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.59, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

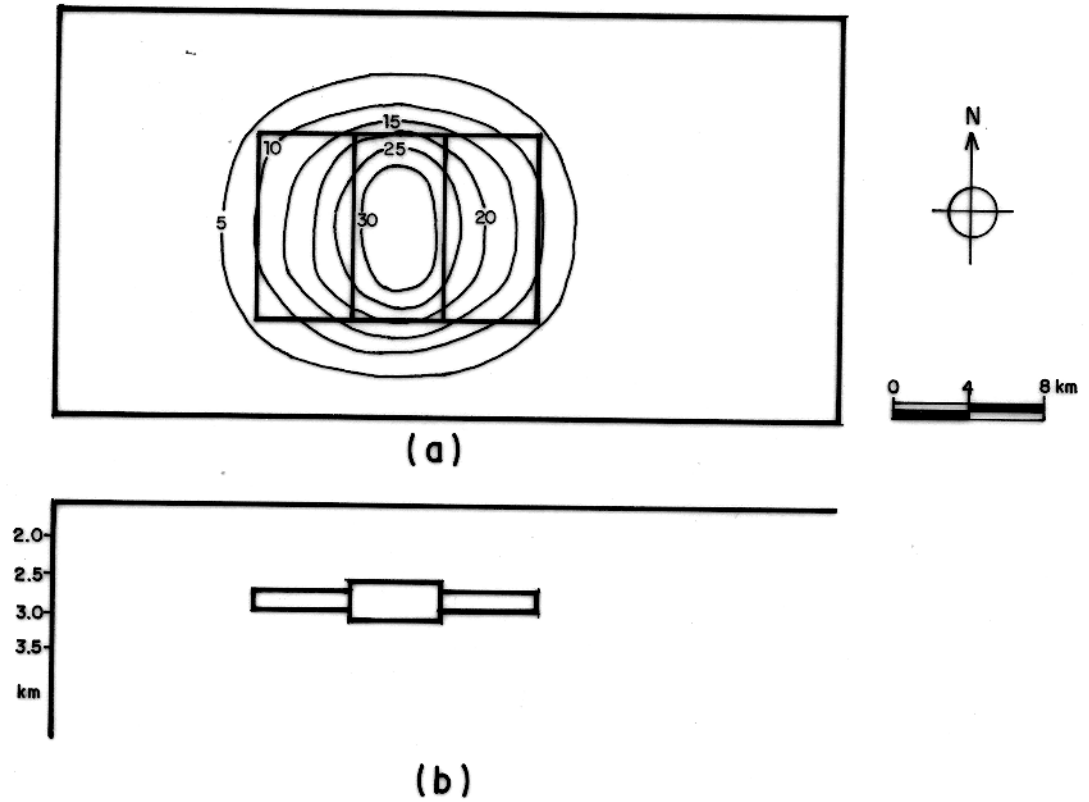


Fig. 3.61— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  4 para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5  $\mu\text{g}$ . (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  4.

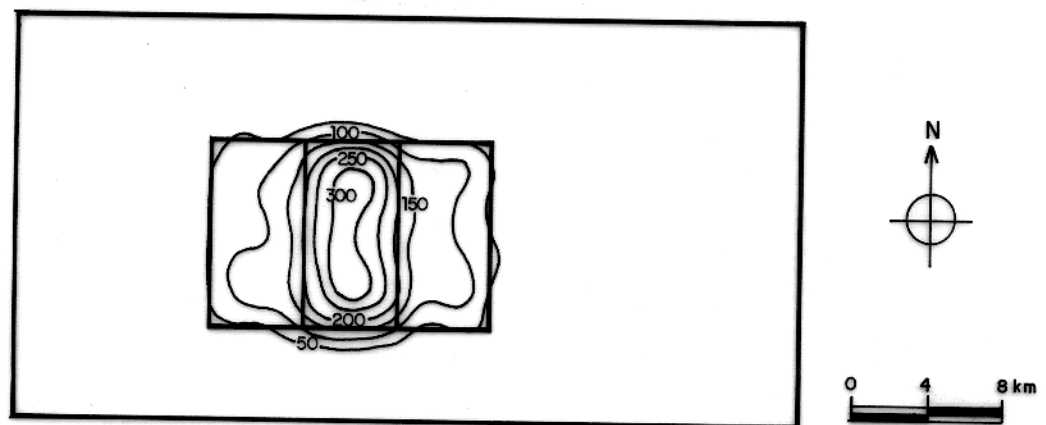


Fig. 3.62— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.61, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

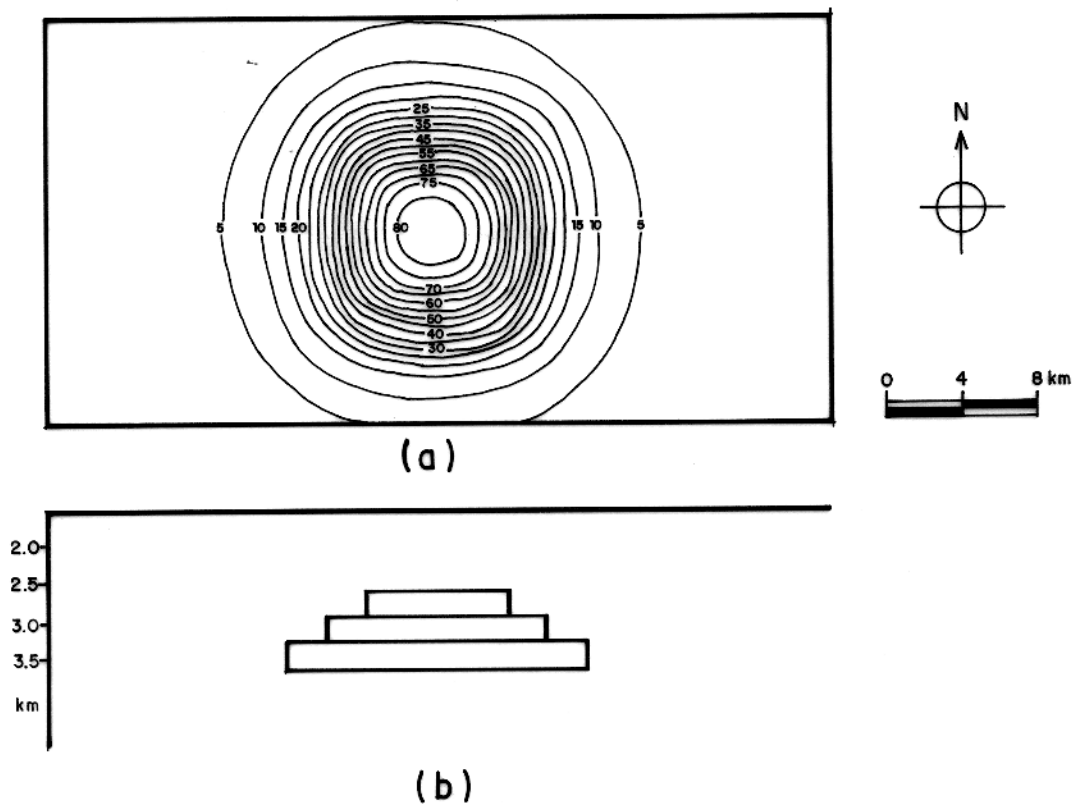


Fig. 3.63— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo  $n^{\circ}$  5 para teste de irregularidade em espessura e contorno lateral do prisma (linha grossa). Intervalo de contorno 5  $\mu\text{g}$ . (b) Perfil central E-W do modelo  $n^{\circ}$  5.

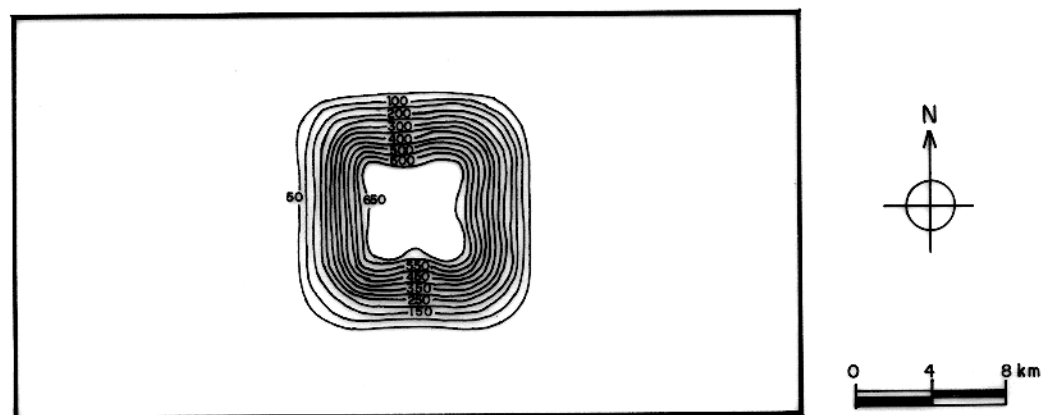


Fig. 3.64— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.63, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

### 3.2.6—Falhamentos

Dentre as estruturas mais comumente encontradas em bacias sedimentares, as falhas são particularmente de interesse do ponto de vista geofísico (em particular gravimétrico), demandando desse modo uma análise do desempenho do método empregando dados sintéticos de modelos que simulem a presença de diversos tipos de falhamento. Utilizaram-se modelos de falhas com rejeitos vertical, horizontal e vertical—horizontal.

O modelo empregado para obtenção do rejeito vertical mínimo detectável, é formado por dois prismas (Figura 3.65), com mesmas espessuras (0,5 km) e densidades ( $300 \text{ kg/m}^3$ ), tendo diferentes profundidades do topo, simulando deste modo uma falha normal que afetou a fonte, e a dividiu em blocos alto (A) e baixo (B) (Figuras 3.65, 3.67 e 3.69). O menor rejeito detectado pelo método é de 0,3 km (Figura 3.66), ou seja, falhamentos com rejeitos verticais menores que este valor, não podem ser detectados de modo unívoco. A linha de falha é determinada pelo critério do valor médio (seção 3.2.1), calculado entre os máximos de densidade de cada lado da falha. À medida que o rejeito aumenta, a presença da falha torna-se cada vez mais nítida, como pode ser visto para os rejeitos de 0,5 km (Figura 3.68) e 1,0 km (Figura 3.70). É interessante notar que quanto mais profundo o bloco abatido, maior o espaçamento entre as curvas de isovalores de densidade aparente (N e S nas Figuras 3.66, 3.68 e 3.70), o que é particularmente notável quando a diferença na profundidade está em torno de 1,0 km (Figura 3.70). Deste modo, podemos ter uma estimativa do mínimo valor do rejeito. Este pode ser obtido com maior precisão se utilizarmos os gráficos de contraste de densidade versus profundidade do topo da placa (a ser abordada na seção 3.2.8), realizando análises semi—quantitativas ou quantitativas, dependendo do tipo de informação a priori introduzido.

O modelo utilizado para simular um falhamento com rejeito horizontal, é formado por dois prismas iguais (Figura 3.71), situados à mesma profundidade (2,5 km), tendo o mesmo contraste de densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$  e deslocados entre si de uma distância X variável (rejeito horizontal). Foram testados vários valores para X, e o menor rejeito detectado pelo método é 1,0 km (Figura 3.72), ou seja, uma unidade de espaçamento da malha. Este valor coincide com o encontrado para irregularidade na extensão horizontal (seção 3.2.5a).

Muitas falhas apresentam os dois tipos de rejeito. Nesta situação (Figuras 3.73 e 3.74),

obtiveram-se como valores mínimos para os rejeitos, os mesmos valores encontrados anteriormente para cada tipo em separado, ou seja, rejeito vertical de 0,3 km e rejeito horizontal de 1,0 km.

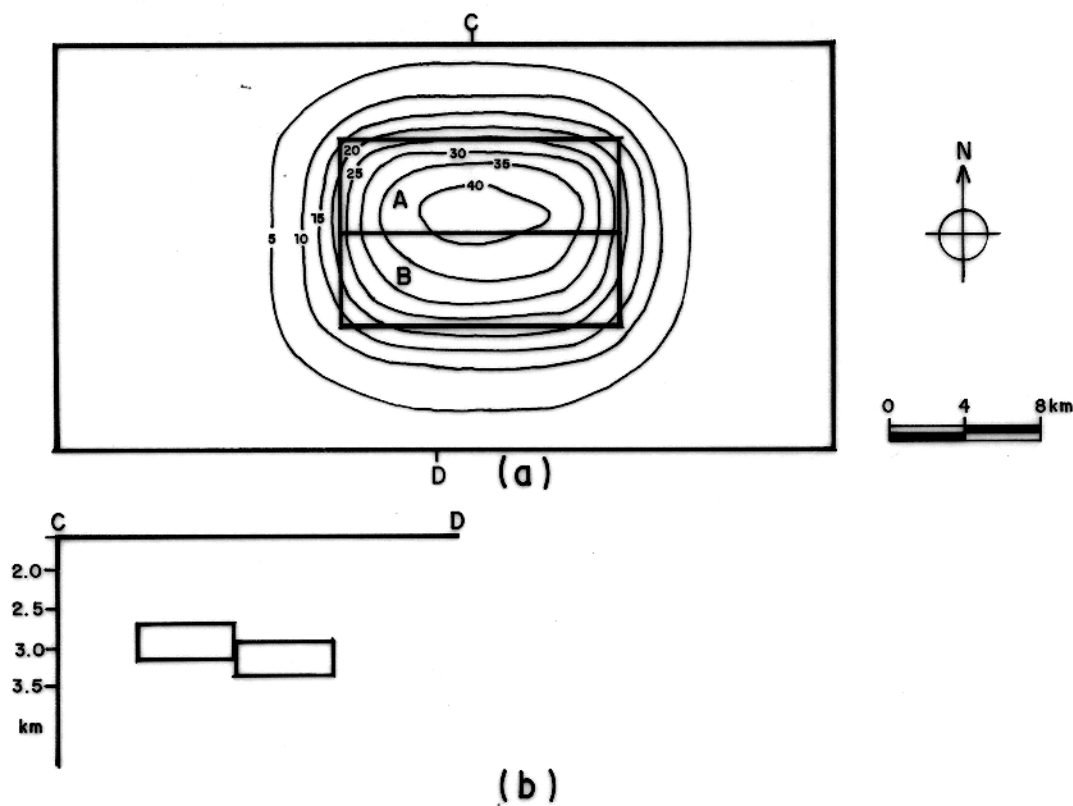


Fig. 3.65— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 0,3 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5  $\mu\text{g}$ . (b) Perfil C-D do modelo.

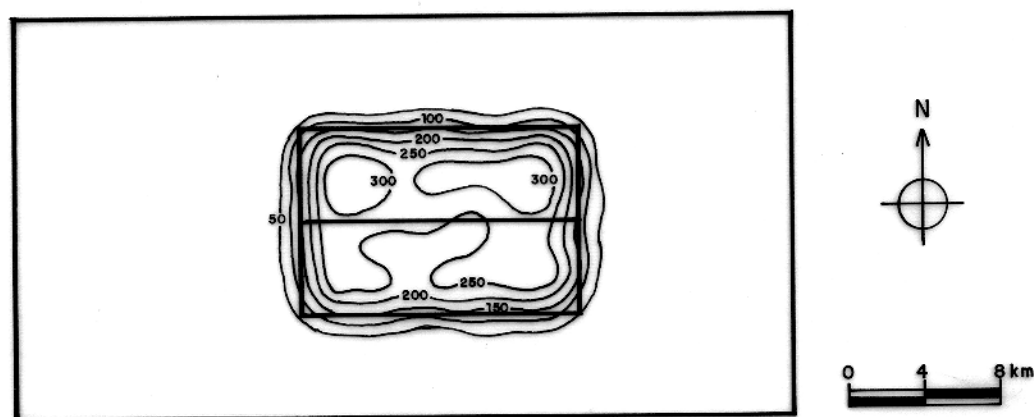


Fig. 3.66— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.65, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno 50  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

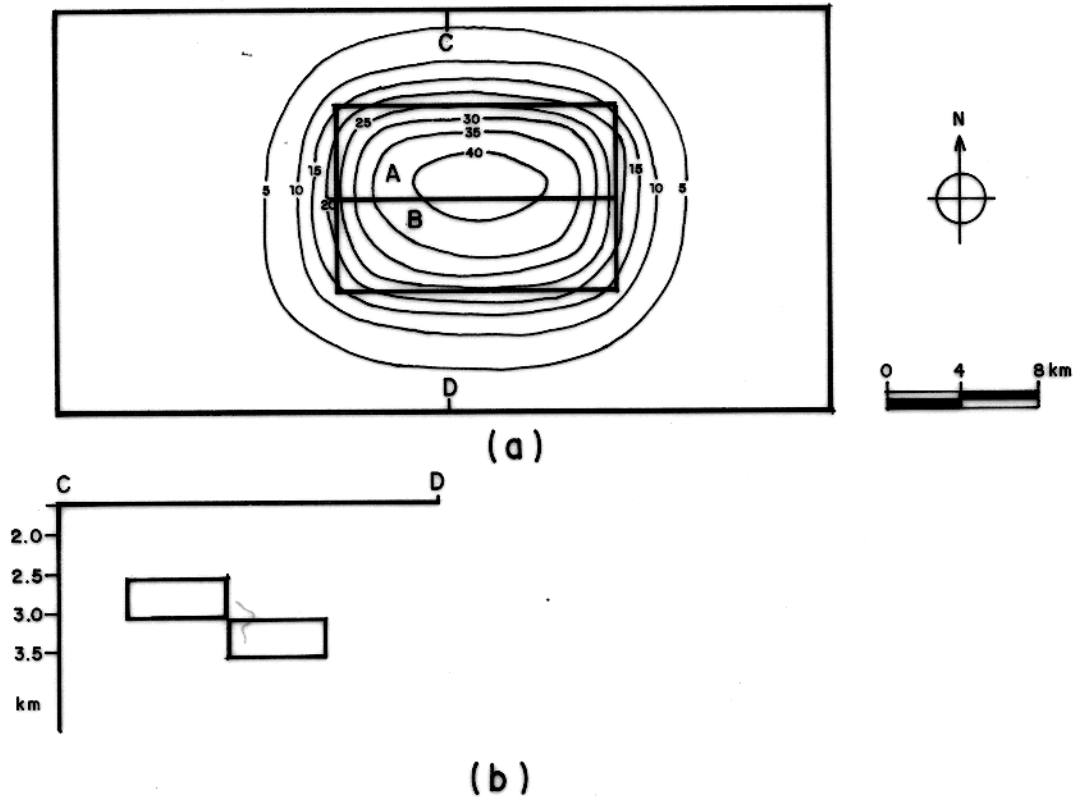


Fig. 3.67— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 0,5 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C-D do modelo.

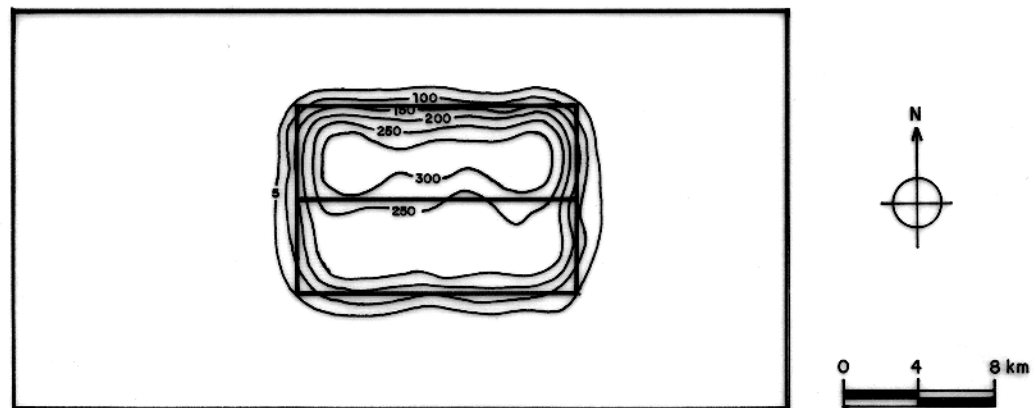


Fig. 3.68— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.67, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

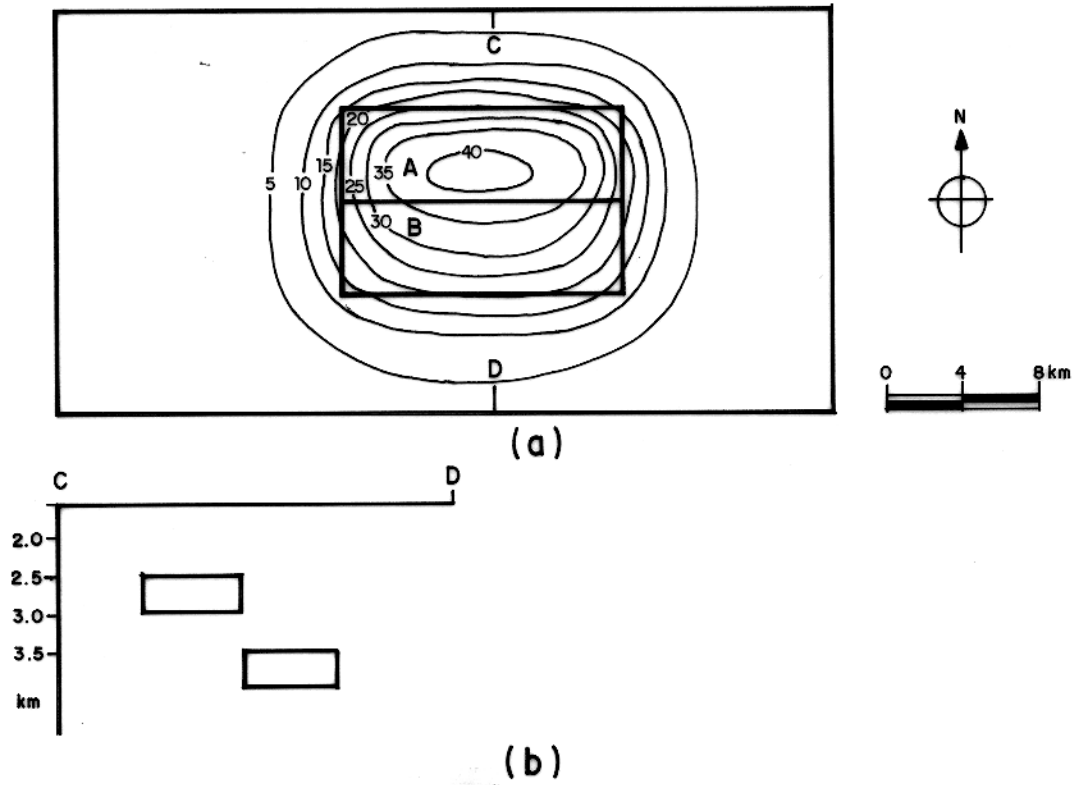


Fig. 3.69— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 1,0 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C-D do modelo.

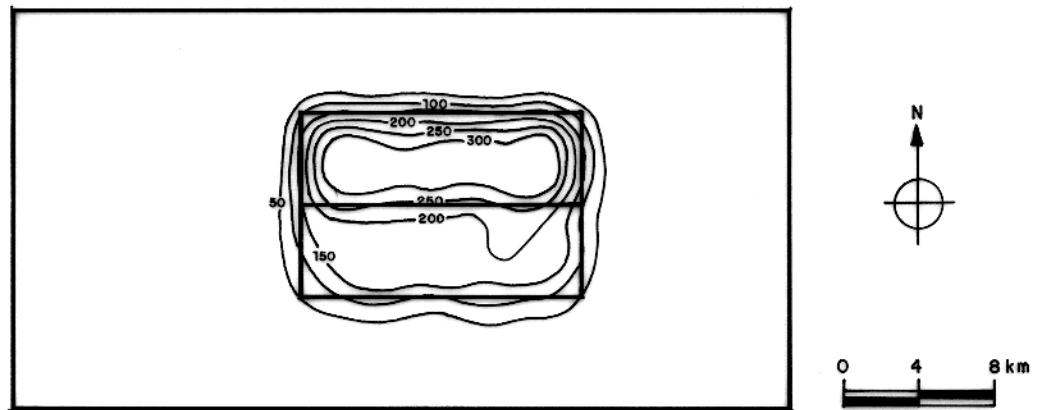


Fig. 3.70— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.69, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

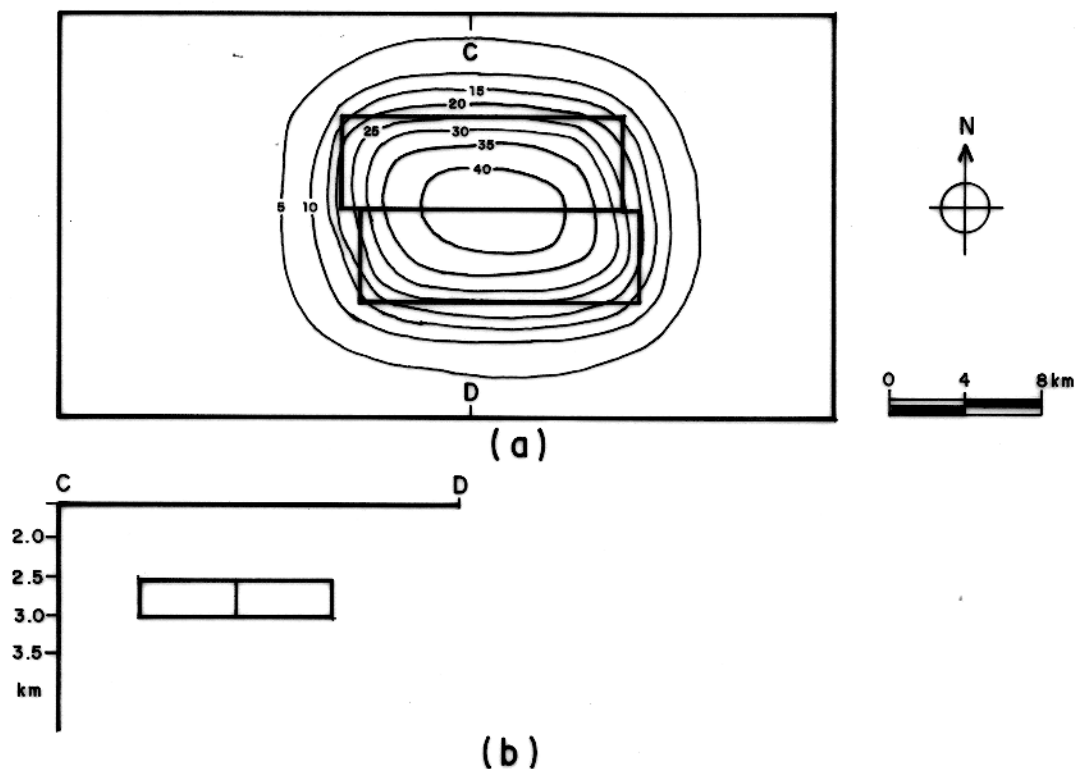


Fig. 3.71— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito horizontal de 1,0 km e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C-D do modelo.

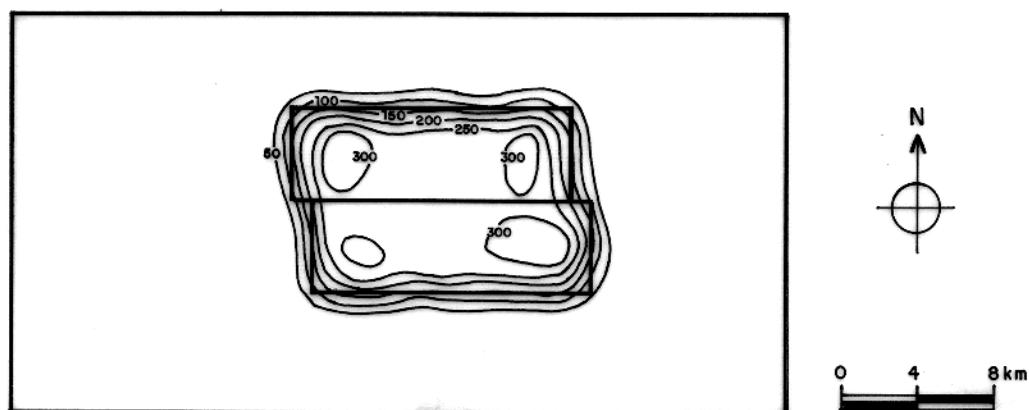


Fig. 3.72— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.72, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo das fontes, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

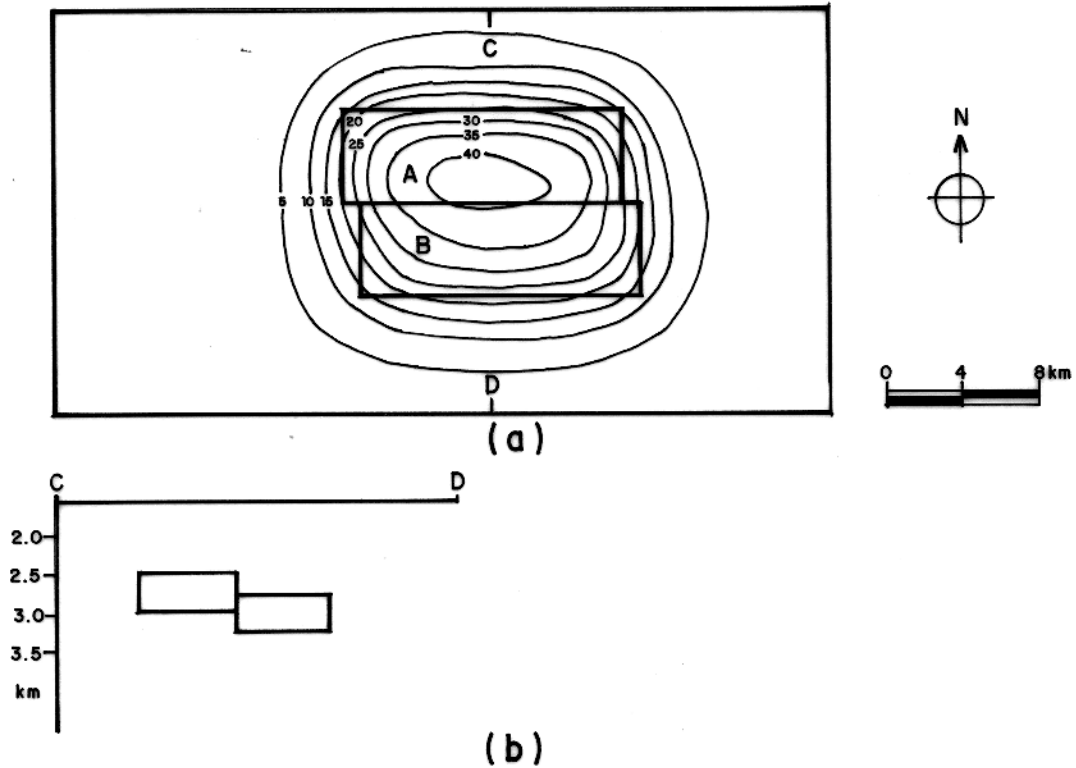


Fig. 3.73— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando falhamento, com rejeito vertical de 1,0 km e rejeito horizontal de 1,0 km, onde A é o bloco alto, B é o bloco baixo e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno 5. ug. (b) Perfil C–D do modelo.

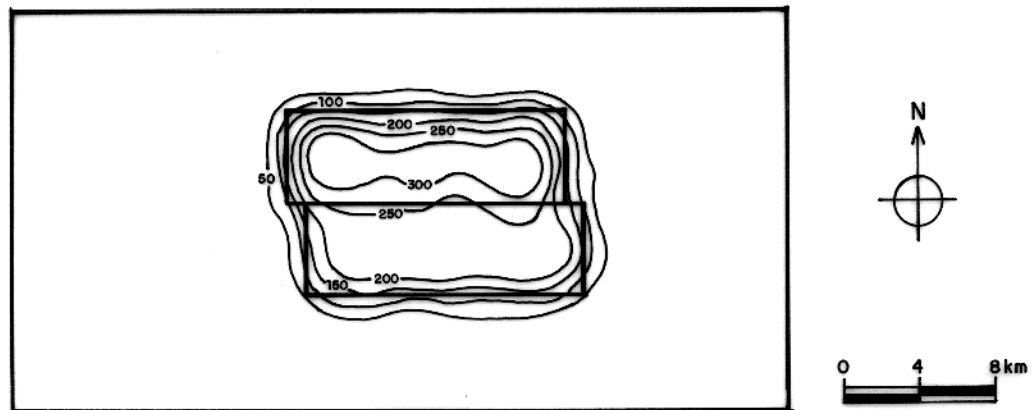


Fig. 3.74— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.73, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,5 km, coincidente com o topo do bloco alto, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.7–Variação Lateral de Densidade

Na natureza é comum a presença de fontes compostas por materiais heterogêneos. Essa heterogeneidade muitas vezes reflete na variação da densidade dentro da própria fonte. Desta forma, é necessário averiguar o desempenho do método frente a esta situação. O caso a ser estudado é o da fonte que apresenta variação da densidade na direção horizontal. Para tal, utilizou-se um modelo composto por dois prismas contíguos, ambos situados à profundidade de 2,0 km e tendo 0,5 km de espessura. O primeiro (N na Figura 3.75) possui densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$  e o segundo (S na Figura 3.75) densidade de  $200 \text{ kg/m}^3$ . A placa tem 0,5 km de espessura e foi colocada a 2,0 km de profundidade.

O mapeamento de densidade (Figura 3.76) mostra patamares de contraste de densidade aparente sobre os prismas. Sobre o primeiro prisma (N) obtemos como estimativa de contraste de densidade aparente  $340 \text{ kg/m}^3$ , compatível com o valor verdadeiro; do mesmo modo, a estimativa de densidade aparente sobre o segundo prisma (S), fornece valor ( $230 \text{ kg/m}^3$ ) bem próximo do real ( $200 \text{ kg/m}^3$ ).

Analisando a Figura 3.76, vemos que a resposta do método é semelhante à de outras situações estudadas em seções anteriores, como por exemplo falhamentos, na seção 3.2.6.

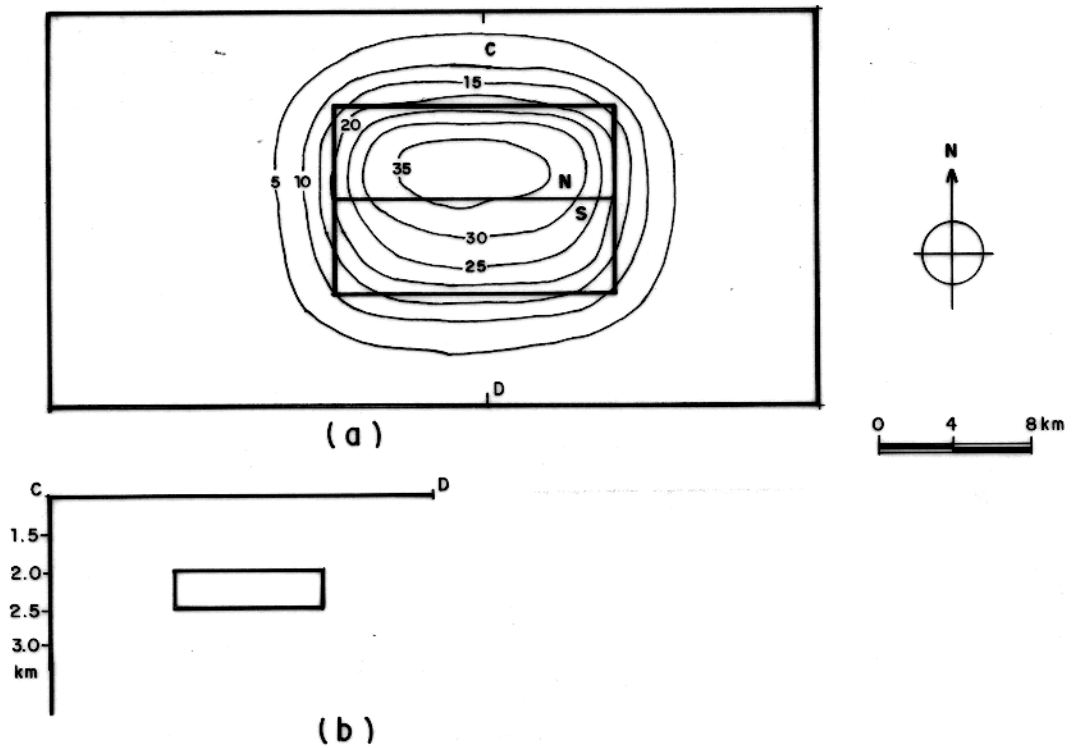


Fig. 3.75— (a) Campo gravimétrico sintético acrescido de ruído, devido a modelo simulando variação lateral de densidade e contorno lateral da fonte (linha grossa). Intervalo de contorno 5 ug. (b) Perfil C-D do modelo.

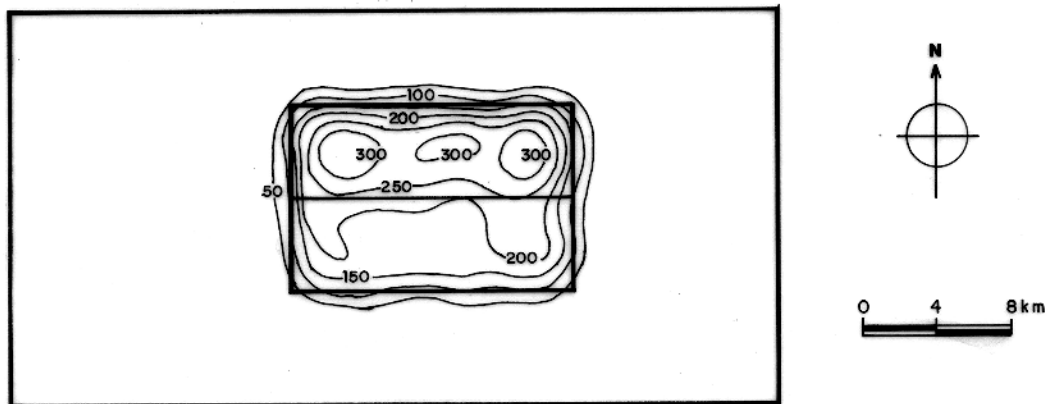


Fig. 3.76— Mapa de contraste de densidade aparente para o modelo da Figura 3.75, discretizando-se a placa em prismas com espessura de 0,5 km e profundidade do topo de 2,0 km, coincidente com o topo da fonte, empregando-se  $k=0,3$ . Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.8—Gráficos Contraste de Densidade Aparente versus Profundidade do Topo da Placa

Vimos na seção 3.2.2 (Placa em vários níveis), que a profundidade do topo e a espessura da placa que supostamente contém as fontes, afetam a determinação do contraste de densidade aparente, indicando deste modo que há um acoplamento desses três parâmetros.

Os testes para averiguar a relação existente entre os três parâmetros são aqui realizados da seguinte forma: para uma dada espessura fixa para a placa, presumem-se várias profundidades do topo dentro de um intervalo factível de ocorrência da fonte (informação a priori), obtendo para cada profundidade presumida o valor máximo para o contraste de densidade aparente estimado para cada fonte. Repete-se o processo descrito acima, presumindo-se um novo valor fixo para a espessura da placa, valor este que esteja incluso em um intervalo plausível, estabelecido a priori. Para cada espessura fixa, o valor máximo do contraste de densidade aparente e a profundidade do topo presumida compõem um par de coordenadas no gráfico de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo da placa (Figuras 3.77, 3.78 e 3.79). Cada curva no gráfico representa uma espessura fixa para a placa. Assim, obtem-se um conjunto de curvas para uma dada anomalia, cuja análise fornece importantes informações ao intérprete (Beltrão, 1989).

Sabemos que uma anomalia gravimétrica pode ter possíveis fontes causadoras situadas em diversas profundidades (uma prova disto é dada pelo princípio da camada equivalente). Devemos, portanto, investigar o comportamento geral do conjunto de curvas, obtidas para fontes em diferentes profundidades.

As anomalias de interesse neste estudo simulam fontes residuais em bacia sedimentar. Desse modo, podemos estabelecer, para efeito de modelamento, profundidades de até 8,0 km para a ocorrência das fontes.

Foram feitas análises para três situações distintas: fonte rasa, situada em intervalo de profundidade que vai de 0 a 2,5 km, fonte intermediária, situada entre 2,51 a 5,0 km de profundidade e fonte profunda, situada entre 5,01 a 8,0 km de profundidade.

Para todas as situações citadas acima utilizou-se como fonte geradora das anomalias, um prisma retangular com densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$  e 0,5 km de espessura (este prisma tem as mesmas

dimensões que o da Figura 3.20—seção 3.2.2). Testaram-se dez diferentes espessuras para a placa, de 0,1 a 1,0 km espaçadas de 0,1 km. Para a profundidade, utilizaram-se trinta valores, de 0,7 a 6,5 km em intervalo de espaçamento de 0,2 km.

A Figura 3.77 mostra o conjunto de curvas do contraste de densidade aparente versus a profundidade do topo da placa para diversos valores de espessura para o modelo de fonte rasa. Esta tem profundidade do topo colocada à profundidade de 1,9 km. A Figura 3.78 mostra o conjunto de curvas para o modelo de fonte intermediária, com profundidade do topo em 3,1 km. O conjunto de curvas para o modelo de fonte profunda encontra-se na Figura 3.79. Neste caso, a profundidade do topo da fonte é de 5,5 km.

Analisando as Figuras de 3.77 a 3.79, notamos algumas semelhanças entre elas. Primeiro, as curvas obtidas são monotonicamente crescentes, ou seja, o contraste de densidade aparente varia monotonicamente com a profundidade para uma mesma espessura. Além disso, as curvas apresentam um certo intervalo de profundidade onde o gradiente é virtualmente horizontal (a, b, c nas Figuras 3.77, 3.78 e 3.79 respectivamente). Entretanto, os comprimentos desses intervalos são distintos nos três casos e caracterizam a profundidade relativa da fonte. Por exemplo, os valores a, b, c guardam a relação  $a < b < c$ , correspondendo a fontes com topos a 1,9, 3,1, 5,5 km respectivamente.

Dessa forma, temos um critério objetivo definindo um limite inferior para o parâmetro profundidade do topo, ou seja, a profundidade a partir da qual o gradiente das curvas deixa de ser subhorizontal. Se além desse limite, tivermos conhecimento a priori sobre um dos outros dois parâmetros, podemos fazer uma interpretação semi-quantitativa. Por exemplo, para o modelo da Figura 3.78 (fonte intermediária), a profundidade mínima estimada é de 2,0 km de profundidade. Se o contraste de densidade é de  $300 \text{ kg/m}^3$ , então a espessura mínima do corpo é de 0,4 km.

Outro fator que também caracteriza a profundidade relativa da fonte real, é dado pela diferença entre os valores do contraste de densidade aparente correspondentes ao menor e maior valor da espessura, para o menor nível de profundidade presumido (distâncias  $Z_1$ ,  $Z_2$  e  $Z_3$  nas Figuras 3.77, 3.78 e 3.79 respectivamente). Por exemplo, a relação  $Z_1 > Z_2 > Z_3$ , implica em  $Z_1$  caracterizando fonte rasa,  $Z_2$  fonte intermediária e  $Z_3$  fonte profunda.

Uma interpretação quantitativa utilizando esses tipos de gráficos é possível, desde que se tenha informação a priori quantitativa sobre dois dos três parâmetros envolvidos. Por exemplo, para o caso da Figura 3.79 (fonte profunda) se temos a informação que o corpo está situado à profundidade de 5,1 km e tem 0,4 km de espessura, então o contraste de densidade é de  $369 \text{ kg/m}^3$ .

É importante ressaltar um fato já avaliado na seção 3.2.1 (Ridge Trace). O valor máximo obtido para o contraste de densidade aparente é sempre maior que o contraste de densidade real. Este acréscimo é devido ao uso de valor muito baixo para o parâmetro de amortecimento, pois embora seja suficiente para estabilizar o problema é insuficiente para recuperar a amplitude máxima correta do contraste de densidade. Assim, no exemplo dado sobre interpretação quantitativa, o valor encontrado na prática para o contraste de densidade é de  $400 \text{ kg/m}^3$ . Entretanto, devido ao fato comentado neste parágrafo estimamos como mais preciso o valor de  $360 \text{ kg/m}^3$ . Similarmente, no exemplo dado sobre interpretação semi-quantitativa, onde a espessura mínima estimada para a fonte (0,4 km) fornece na realidade, valor de  $330 \text{ kg/m}^3$  para o contraste de densidade, ou seja, valor um pouco maior que o verdadeiro ( $300 \text{ kg/m}^3$ ).

A partir do método desenvolvido, é, portanto, possível a obtenção de conjuntos de curvas, contendo informações sobre o contraste de densidade aparente, a profundidade do topo e a espessura postuladas, possibilitando assim interpretações semi-quantitativas ou quantitativas, dependendo da quantidade e qualidade de informação a priori disponível sobre esses três parâmetros. Deste modo, esta técnica será empregada para interpretação das anomalias gravimétricas devidas a fontes residuais da bacia sedimentar estudada.

A ambiguidade envolvendo os três parâmetros pode ser visualizada através da construção dos gráficos mostrados nesta seção. A análise desses gráficos fornece informações sobre as várias soluções possíveis.

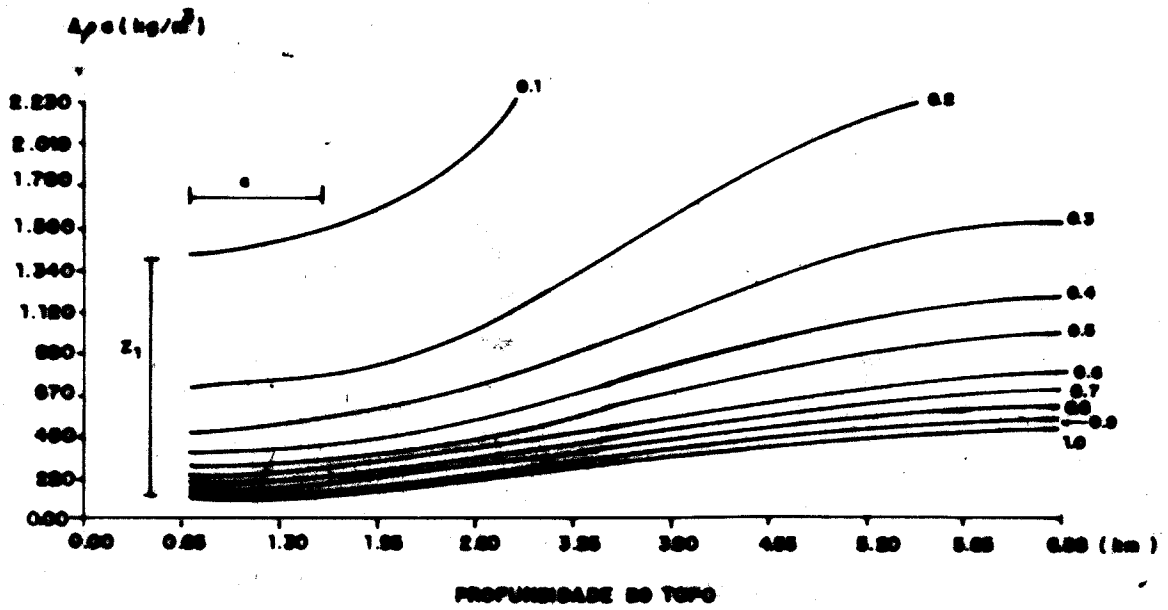


Fig. 3.77— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para fonte rasa, cuja profundidade do topo real é 1,9 km. Espessura em km.

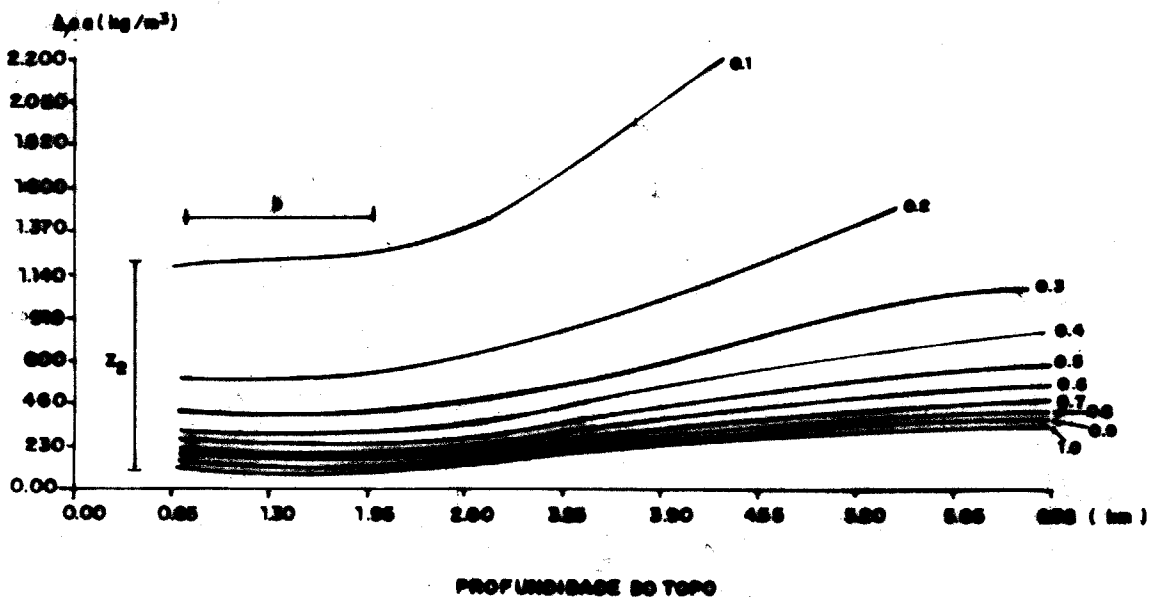


Fig. 3.78— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para fonte intermediária, cuja profundidade do topo real é 3,1 km. Espessura em km.

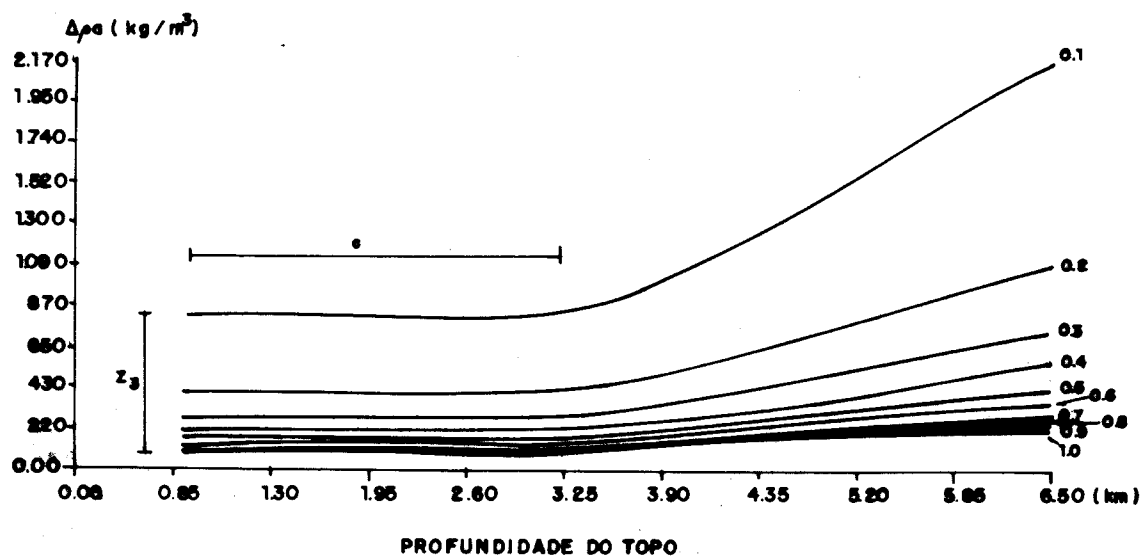


Fig. 3.79— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para fonte profunda, cuja profundidade do topo real é 5,5 km. Espessura em km.

## CAPÍTULO 4

## SEPARAÇÃO REGIONAL-RESIDUAL

## 4.1- Metodologia

Escolheu-se para separação regional-residual, no presente trabalho o método de ajuste de polinômios. Não usaremos entretanto o ajuste por mínimos quadrados (caso mais comum), uma vez que, o resíduo obtido por esse método tem sinal positivo e negativo, e como normalmente uma anomalia gravimétrica sobre um corpo simples possui o mesmo sinal, a utilização desse método produz pseudo-anomalias de sinal oposto ao verdadeiro (Agocs,1951; Paul,1967; Rao et.al.,1975). Portanto usaremos o método proposto por Beltrão (1989), que leva em conta a informação a priori de que todos os valores de uma mesma anomalia devem ter o mesmo sinal, e onde os coeficientes do ajuste polinomial são determinados usando um método robusto.

Um estimador-M robusto (Huber,1981) visa minimizar uma função escalar definida por:

$$Q(\bar{p}) = \sum_{i=1}^N U(r_i/s) \quad , \quad (27)$$

onde  $U$  é um funcional definindo o método particular,  $s$  é um fator de escala,  $r_i$  é o resíduo no  $i$ -ésimo ponto de observação dado por:

$$r_i = g_i^o - f(x_i, y_i, z_i, \bar{p}) \quad , \quad (28)$$

sendo  $g_i^o$  a  $i$ -ésima observação,  $f(x_i, y_i, z_i, \bar{p})$  o funcional ajustante avaliado em  $(x_i, y_i, z_i)$ ,  $\bar{p}$  o vetor  $M$ -dimensional de parâmetros que definem o funcional  $f$ , e  $N$  o número de observações.

Para a separação regional-residual presumimos que:

$$f(x, y, z, \bar{p}) = P_n(x, y, \bar{p}) \quad , \quad (29)$$

onde  $P_n$  é um polinômio de ordem  $n$  nas direções  $x$  e  $y$ , e  $\bar{p}$  o vetor de coeficientes do polinômio.

A condição necessária para mínimo de  $Q(\bar{p})$  em (27) é:

$$\sum_{i=1}^N q(r_i/s) \frac{\partial(f(x, y, z, \bar{p}))}{\partial p_j} \Big|_{x=x_i} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (30)$$

onde  $q(r_i/s) = U'(r_i/s)$ .

Substituindo (29) em (30) e usando a notação matricial:

$$\overline{A^T} \bar{q} = \bar{0} \quad , \quad (31)$$

onde  $\overline{A}$  é uma matriz  $N \times M$  com elemento  $a_{ij}$  dado por:

$$a_{ij} = \left[ \frac{\partial(P_n(x, y, \bar{p}))}{\partial p_j} \right]_{x=x_i} \quad (32)$$

e  $\bar{0}$  é o vetor nulo.

Fazendo,

$$\bar{q} = \overline{W} \bar{r} \quad , \quad (33)$$

onde  $\overline{W}$  é uma matriz diagonal  $N \times N$  de pesos, com elementos,

$$w_i = q_i/r_i \quad , \quad (34)$$

e substituindo (33) em (31) vem:

$$\overline{A^T} \overline{W} \bar{r} = \bar{0} \quad . \quad (35)$$

Como o funcional  $f$  é linear em  $\bar{p}$ , o vetor dos resíduos pode ser escrito como:

$$\bar{r} = \bar{g}^o - \overline{A} \bar{p} \quad (36)$$

onde  $\bar{g}^o$  é o vetor das observações.

Levando (36) em (35),

$$\overline{A^T} \overline{W} \overline{A} \bar{p} = \overline{A^T} \overline{W} \bar{g}^o \quad . \quad (37)$$

$\overline{W}$  depende implicitamente de  $\overline{p}$ ; portanto, a equação (37) não pode ser resolvida explicitamente para  $\overline{p}$ . Deste modo, temos que resolver iterativamente o problema, combinando as equações (34), (36) e (37). Na  $k$ -ésima iteração, a matriz de pesos  $\overline{W}^{(k)}$  é obtida a partir de  $\overline{p}^{(k)}$  ( $k$ -ésima aproximação de  $\overline{p}$ , usando as equações (34) e (36)). A  $k$ -ésima primeira aproximação é dada por:

$$\overline{p}^{(k+1)} = (\overline{A}^T \overline{W}^{(k)} \overline{A})^{-1} \overline{A}^T \overline{W}^{(k)} \overline{g}^o \quad (38)$$

A iteração começa com  $\overline{W}^0 = \overline{I}$  (caso particular correspondente aos mínimos quadrados). A partir da segunda iteração a matriz  $\overline{W}$  admite pesos positivos (equação 39) e pesos negativos (equação 40), que são calculados pelas equações (34) e (36), sendo  $q_i$  dado por:

$$q_i^{(k)} = r^{(k-1)} e^{-t^2} \quad , t < 5,48 \quad , \quad (39)$$

$$q_i^{(k)} = -0,1 r^{(k-1)} \left( \frac{t - 5,48}{r_{max}} \right)^2 \quad , t \geq 5,48 \quad , \quad (40)$$

$$t = \frac{0,6745 r_i^{(k-1)}}{v^{(k-1)}} \quad , \quad (41)$$

onde  $r_{max}$  é o máximo valor absoluto do resíduo na iteração de ordem  $k-1$ ,  $r_i^{(k-1)}$  é o resíduo no  $i$ -ésimo ponto na iteração de ordem  $k-1$  e  $v^{(k-1)}$  é a mediana dos valores absolutos dos resíduos na iteração de ordem  $k-1$ .

O processo termina quando a mediana dos valores absolutos dos resíduos é estabilizada (resíduos possuem pouca influência na função ajustada).

A escolha da ordem ótima para o polinômio ajustante é feita através da comparação dos mapas obtidos para cada ordem testada. É escolhida como ajustante, a ordem a partir da qual não ocorrem mudanças qualitativas nos mapas, mas apenas mudanças quantitativas.

## 4.2 - Aplicação em Dados Sintéticos

Para avaliar o desempenho do método de separação a ser aplicado aos dados reais, em relação ao método mais comumente utilizado (mínimos quadrados), foram realizados testes empregando o campo gravimétrico produzido pela combinação de prismas verticais adjacentes simulando fontes rasas e profundas. As fontes rasas modelam corpos intrabaciais com contraste de densidade de  $300 \text{ kg/m}^3$ , profundidades do topo em 0,8 km e espessuras de 0,9 km. As fontes profundas simulam o relevo do embasamento de uma bacia sedimentar, com contraste de densidade de  $400 \text{ kg/m}^3$ . Este modelo é o mesmo que o utilizado no Capítulo 2. A Figura 4.1 mostra a anomalia total, resultante da superposição dos campos teóricos residual (Figura 4.2) e regional (Figura 4.3).

A fim de ilustrar o critério de escolha da ordem ótima para o polinômio descrito no item 4.1 são mostrados aqui os residuais para ordem 7 (Figura 4.4a), ordem 11 (Figura 4.5a) e ordem 12 (Figura 4.4b). Analisando o residual para o polinômio de ordem 7 notamos na porção norte da área a presença de anomalia espúria positiva N - S. Já no residual de ordem 11 (Figura 4.5a) esta anomalia não mais aparece, do mesmo modo como no residual do polinômio ordem 12 (Figura 4.4b). Assim, comparando os residuais ordem 11 e 12, nota-se que não há mudança na forma destes, mas apenas uma perda de amplitude nas anomalias de ordem 12 em relação às de ordem 11. Portanto, escolhemos como ótima a ordem 11.

O campo regional foi modelado por polinômio de ordem 11 pelos métodos dos mínimos quadrados (Figura 4.6a) e robusto (Figura 4.6b). Os residuais são obtidos em ambos os métodos subtraindo-se do campo total (Figura 4.1) os regionais produzidos por cada método.

O regional ajustado por mínimos quadrados (Figura 4.6a), mostra um campo completamente distorcido comparado com o teórico da Figura 4.3. Isto fica evidenciado pelo excessivo abaulamento das curvas de contorno na porção central da área, pela mudança no gradiente da anomalia e pela completa mudança na forma da anomalia na porção leste da área. A causa desta distorção é a incorporação no regional de uma porção significativa do residual. Entretanto, aplicando o método robusto percebe-se que o regional obtido (Figura 4.6b) mostra-se, ao contrário do obtido por mínimos quadrados, bem menos distorcido e apresentando forma e gradiente bem próximos dos verdadeiros (Figura 4.3). Portanto, podem-se fazer interpretações quantitativas confiáveis com o regional obtido por este método.

No residual produzido pelos mínimos quadrados (Figura 4.5b) as anomalias mostram substancial perda de amplitude, apresentando também menor diâmetro e menor gradiente, quando comparadas com o residual teórico da Figura 4.2. Além disso, ocorrem anomalias espúrias negativas em torno das verdadeiras. Por sua vez, o residual obtido pelo método robusto (Figura 4.5a) apresenta-se bem mais próximo ao teórico, em termos de amplitudes, diâmetros e gradientes das anomalias. Além disso, as amplitudes das anomalias espúrias negativas situadas a leste e a oeste das anomalias principais são drasticamente reduzidas.

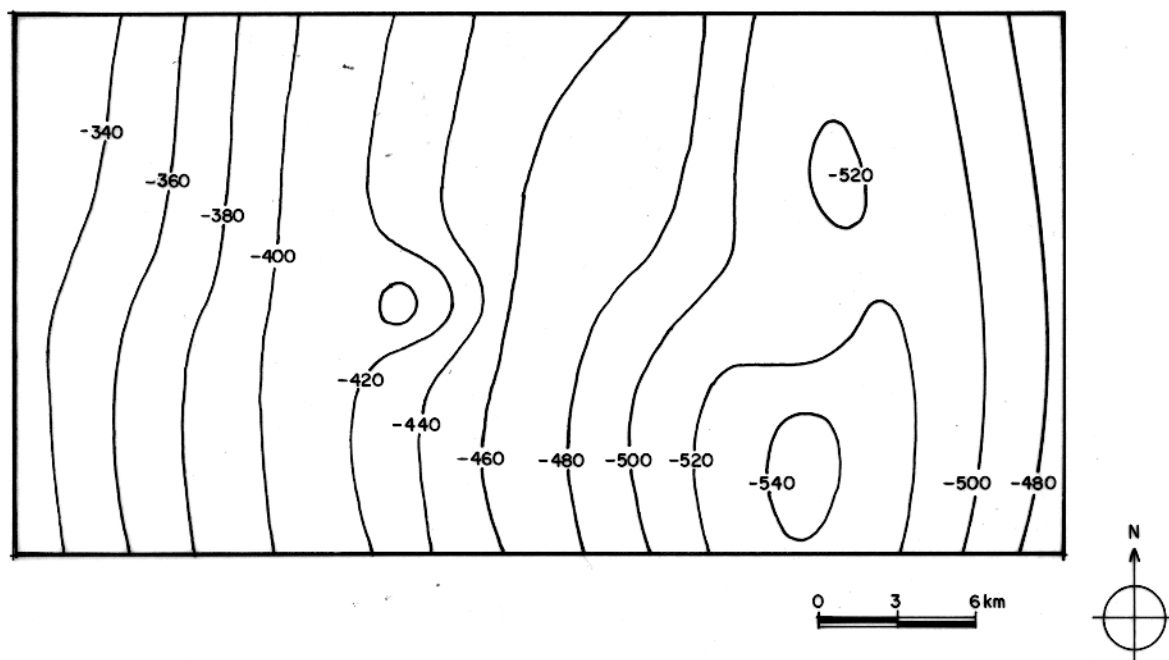


Fig. 4.1— Campo total teórico resultante da superposição do regional teórico (Figura 4.3) e residual teórico (Figura 4.2). Intervalo de contorno 20 ug.

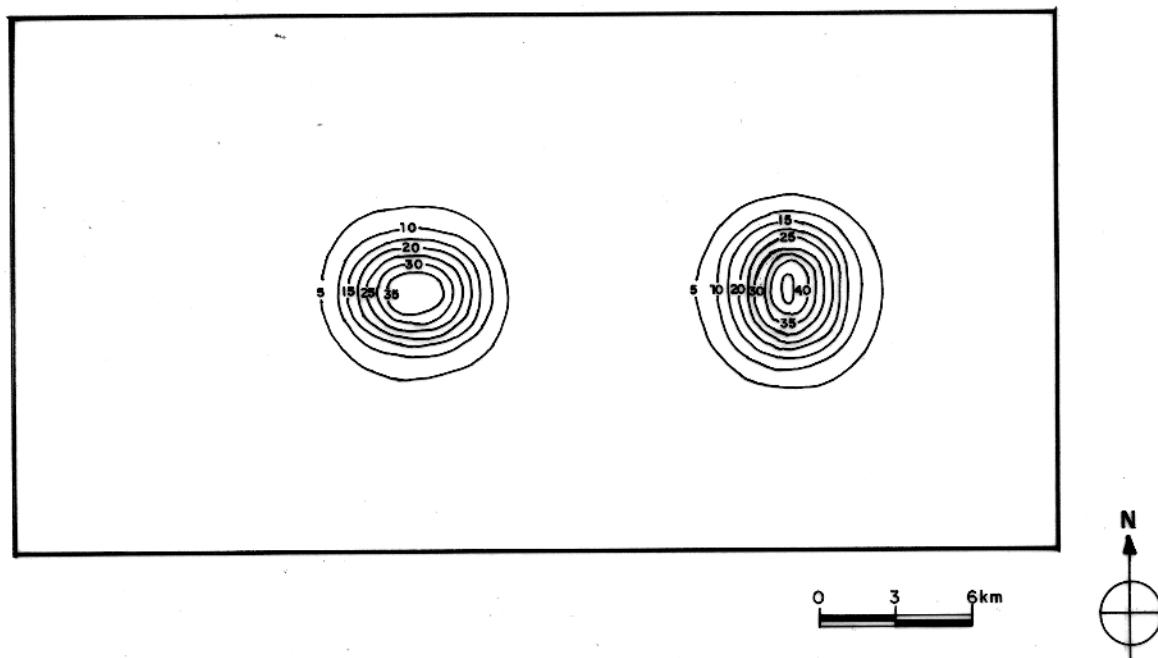


Fig. 4.2— Campo residual teórico. Intervalo de contorno 5 ug.

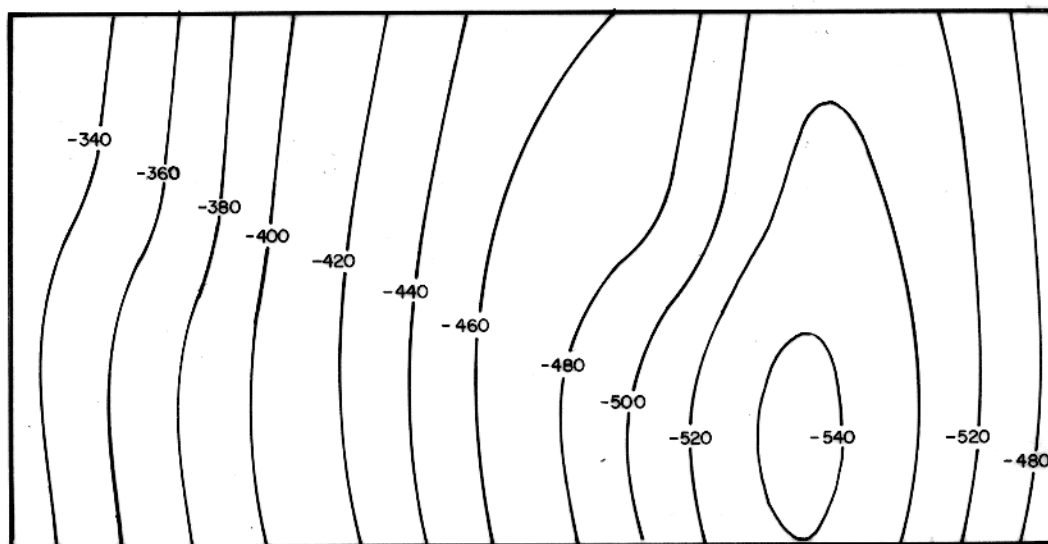


Fig. 4.3— Campo regional teórico. Intervalo de contorno 20 ug.

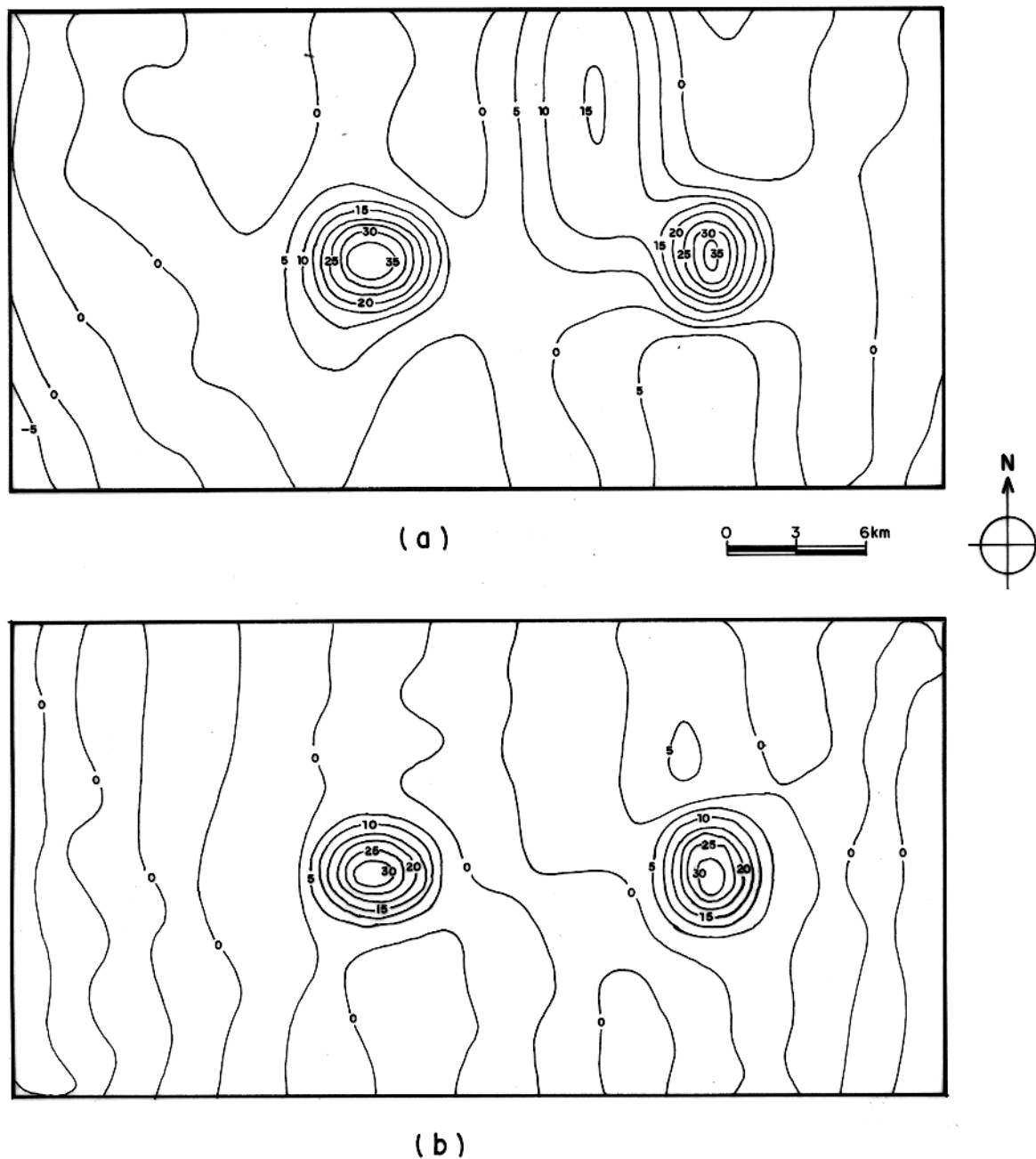


Fig. 4.4— Comparação entre residuais obtidos pela subtração dos regionais, ajustados somente pelo método robusto, do campo teórico da Figura 4.1. (a) Polinômio de ordem 7 e (b) polinômio de ordem 12. Intervalo de contorno 5 ug.

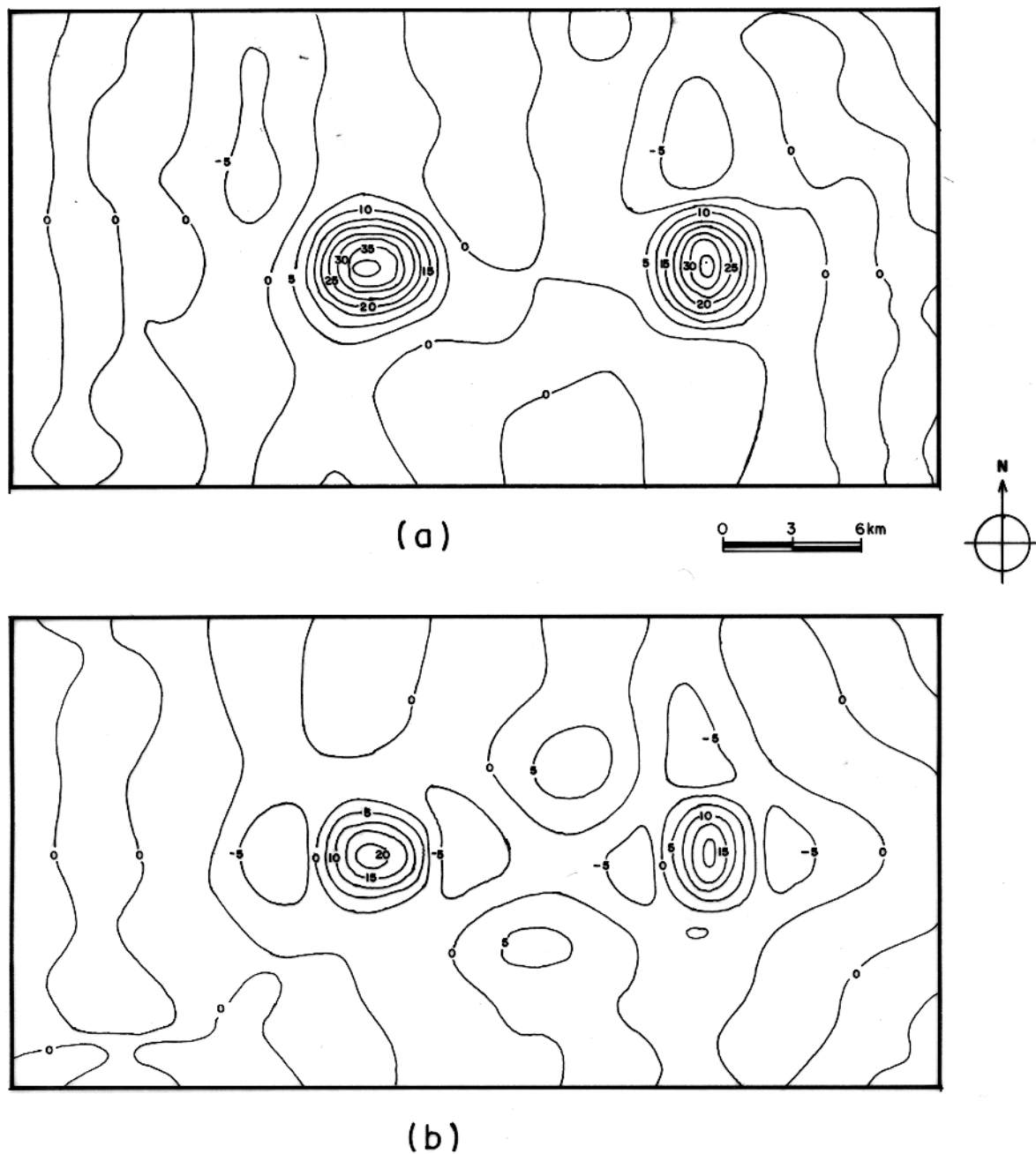


Fig. 4.5— Comparação entre residuais obtidos pela subtração de diferentes regionais (polinômio de ordem 11), mostrados na Figura 4.6, do campo teórico da Figura 4.1. (a) Método robusto e (b) mínimos quadrados. Intervalo de contorno 5 ug.

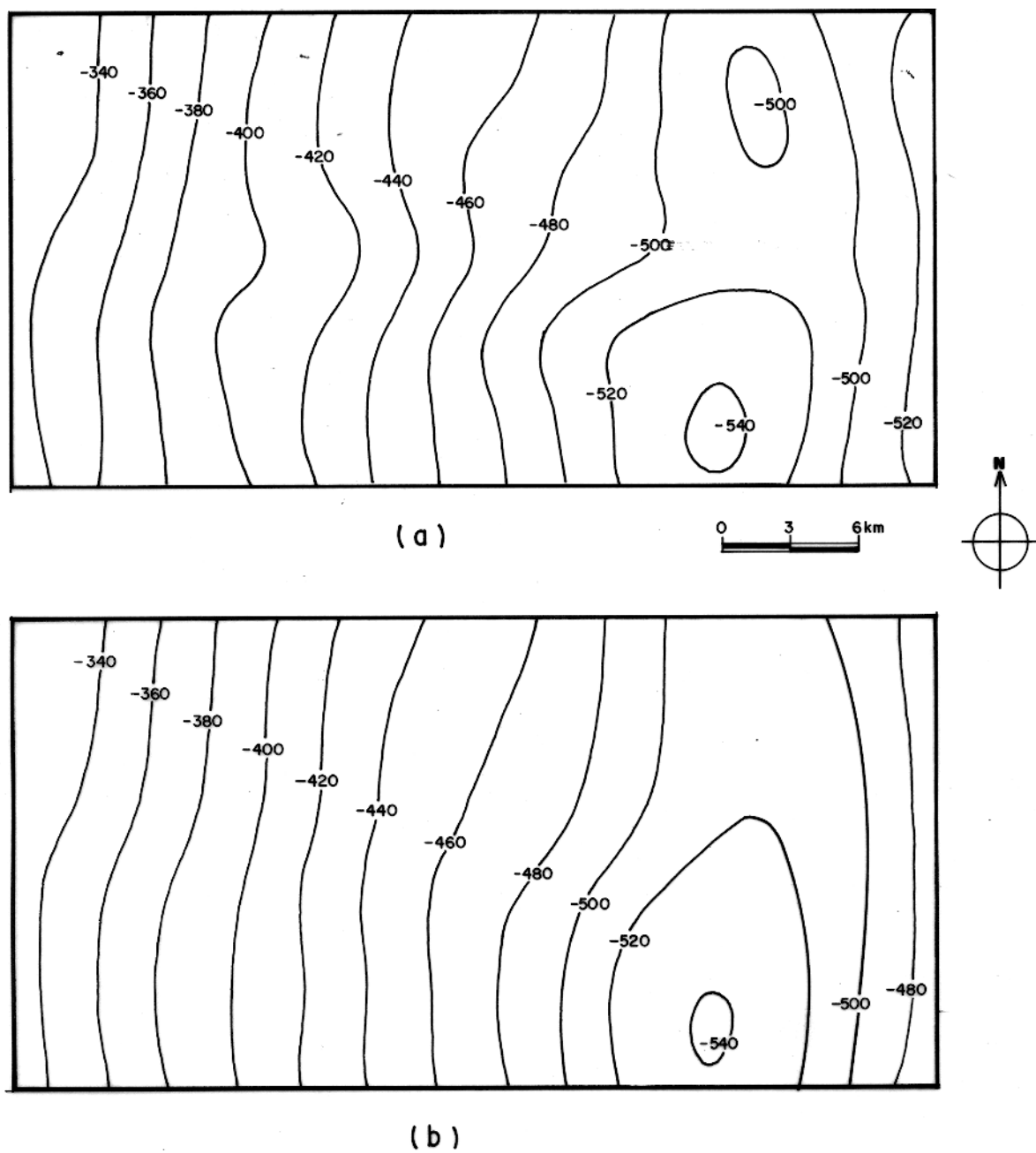


Fig. 4.6— Comparação entre regionais de ordem 11 obtido por diferentes métodos de separação aplicados ao campo teórico da Figura 4.1. (a) Mínimos quadrados e (b) método robusto. Intervalo de contorno 20 ug.

#### 4.2.1—Interpretação das Componentes Separadas

Ao campo regional separado pelo método robusto (Figura 4.6b) aplicou-se a metodologia de interpretação apresentada no Capítulo 2. Para a determinação do contraste de densidade ( $\Delta\rho$ ), construiu-se o gráfico mínima função objeto F versus contraste de densidade (Figura 4.7a). A determinação do nível de continuação  $d_1$  foi feita através de gráfico mínima função objeto F versus nível de continuação (Figura 4.7b). Utilizou-se como informação a priori sobre a profundidade da interface sedimento—embasamento os mesmos 7 pontos (A—G assinalados na Figura 2.3a) utilizados no Capítulo 2. A função objeto é a norma 2 do vetor de resíduos entre as profundidades calculadas e as profundidades reais.

O gráfico da Figura 4.7a foi construído mantendo-se fixo o nível de continuação  $d_1$  em 2.0 km. A análise desse gráfico mostra que, no intervalo de 300 a 650  $\text{kg}/\text{m}^3$  para o contraste de densidade, a função objeto assume valores mínimos. Outro fato importante a ser notado, é que este intervalo onde a função objeto é mínima, não é centrado no contraste de densidade verdadeiro (400  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Percebe-se que o contraste de densidade verdadeiro está bem mais próximo do limite inferior do intervalo de mínimos, do que superior. Aliás, este fato também ocorreu no teste do Capítulo 2 (Figura 2.8), só que de maneira menos conspícua. Deste modo, pode-se estabelecer mais este critério na escolha do contraste de densidade, ou seja, escolher um contraste de densidade dentro da faixa de mínimo, que esteja próximo ao limite inferior desta faixa (embora, como já visto no Capítulo 2, os mapas de profundidades obtidos são bastante semelhantes entre si, quando se utilizam contrastes de densidade dentro do intervalo de mínimo). Desse modo, escolheu-se o valor de 400  $\text{kg}/\text{m}^3$  para o contraste de densidade a ser utilizado nos testes para a escolha do nível de continuação  $d_1$ .

Para determinar o nível de continuação  $d_1$  realizaram-se testes para valores entre 0,5 e 2,5 km, em intervalos de 0,5 km. O contraste de densidade foi mantido fixo e igual a 400  $\text{kg}/\text{m}^3$  (selecionado na etapa anterior). Construiu-se então, o gráfico da Figura 4.7b. A análise deste gráfico mostra que, o nível de continuação ótimo é 2,0 km (coincidindo exatamente com o topo das fontes—seção 2.2).

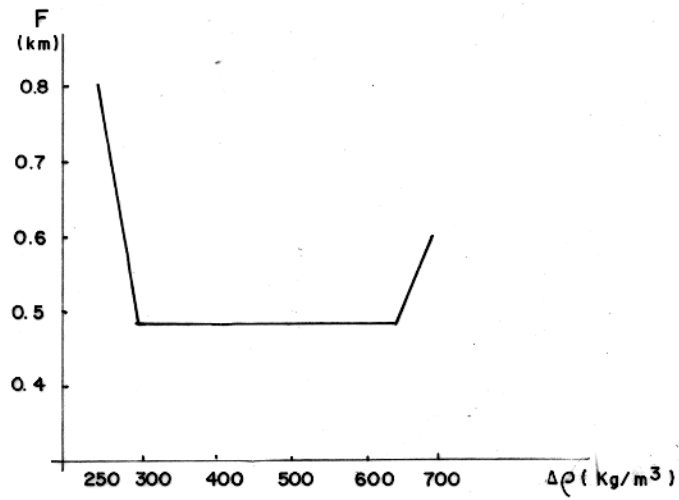
Desta forma, obtemos o contraste de densidade e o nível de continuação, para fazer mapa de profundidades absolutas a ser utilizado na interpretação.

A Figura 4.8 mostra o mapa de profundidades absolutas obtido pelo método proposto, para a anomalia regional separada (Figura 4.6a), utilizando contraste de densidade de  $400 \text{ kg/m}^3$  e nível de continuação de 2,0 km. Comparando este, com o mapa de profundidades absolutas da Figura 2.3a (produzido a partir da anomalia regional sintética (Figura 2.2a) e empregando  $\Delta\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  e  $d_1 = 2,0 \text{ km}$ ), percebe-se que os mapas são bastante semelhantes, tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Observa-se que o mapa obtido para o campo regional separado (Figura 4.8) apresenta as mesmas feições do relevo do embasamento que o da Figura 2.3a. Além disso, não houve mudanças significativas no gradiente das curvas de contorno no mapa da Figura 4.8 quando comparado com o da Figura 2.3a. A diferença entre os dois mapas, é que o da Figura 4.8 fornece estimativas um pouco mais rasas no vale situado em torno do ponto D (Figura 2.3a), decorrente da pequena perda de amplitude do campo regional nessa região. Como já visto no Capítulo 2, o mapa da Figura 2.3a fornece relevo do embasamento bem semelhante ao teórico (comparar Figuras 2.2b e 2.3b). Por conseguinte, o mapa da Figura 4.8 também fornece relevo do embasamento próximo do verdadeiro.

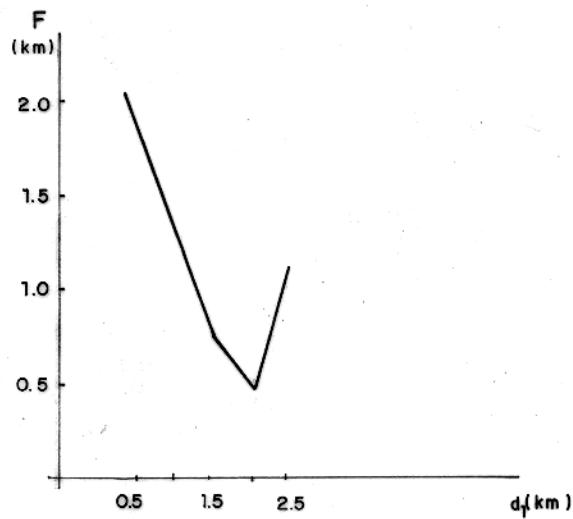
A Figura 4.9 mostra o mapa de contraste de densidade aparente obtido a partir do campo residual da Figura 4.5a, discretizando-se a placa que, supostamente contém as fontes, em prismas com profundidade do topo de 0,8 km e espessura de 0,9 km. Utilizou-se parâmetro de amortecimento  $K$  igual a 0,2, obtido pela metodologia do *ridge trace* (seção 3.2.1). Este mapa mostra que a curva correspondente à metade da amplitude máxima do contraste de densidade aparente fornece uma boa estimativa dos limites dos corpos. Neste caso, os valores máximos obtidos para os contrastes de densidade foram de 250 e 220  $\text{kg/m}^3$  para os corpos A e B (Figura 4.9), respectivamente. As curvas de 125 e 110  $\text{kg/m}^3$  correspondem, portanto, às estimativas dos contornos dos corpos A e B respectivamente.

As Figuras 4.10a e 4.10b mostram as famílias de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo da placa, para diversos valores de espessuras, para os corpos A e B, respectivamente. Observa-se que as figuras são semelhantes, com as famílias de curvas apresentando um pequeno intervalo de gradientes sub-horizontais, demonstrando que as fontes são muito rasas. De acordo com o critério estabelecido na seção 3.2.8 para definir o limite mínimo para a profundidade do topo, definimos o valor de 0,6 km como limite mínimo para a profundidade dos

corpos A e B. Dessa forma, se tivermos conhecimento a priori sobre um dos outros dois parâmetros (contraste de densidade e espessura), podemos fazer interpretações semi-quantitativas como a ilustrada na seção 3.2.8. Interpretações quantitativas podem ser feitas conhecendo-se dois, dos três parâmetros envolvidos. Por exemplo, se a profundidade do topo é 0,8 km para os corpos A e B, e o contraste de densidade é de  $300 \text{ kg/m}^3$  para ambos os corpos, obtem-se como estimativas de espessura, 0,8 e 0,6 km para os corpos A e B, respectivamente. Como se pode notar, as estimativas de espessuras em ambos os casos, são mais finas que as reais (0,9 km para A e B). Este fato ocorre, devido à pequena perda de amplitude das anomalias residuais, decorrente do processo de separação regional-residual.



(a)



(b)

4.7

Fig. 4.7- Gráfico da mínima função objeto F versus (a) contraste de densidade, (b) nível de continuação.

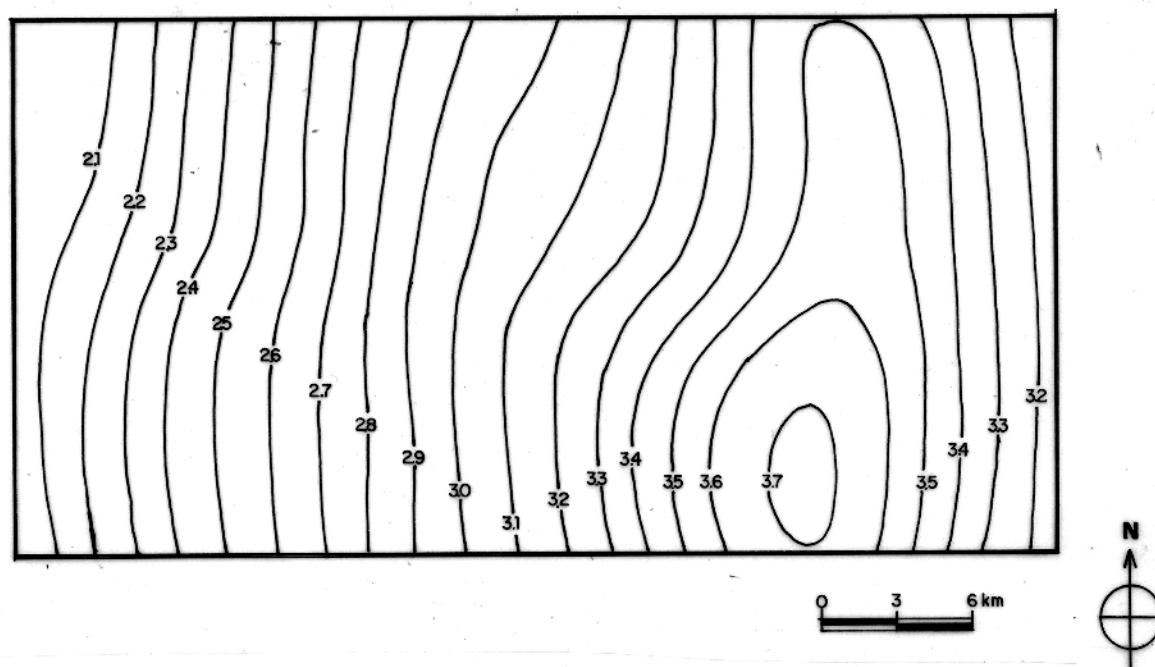


Fig. 4.8— Mapa de profundidades abslutas obtido pela transformação do campo regional da Figura 4.6b. Intervalo de contorno 0,1 km.

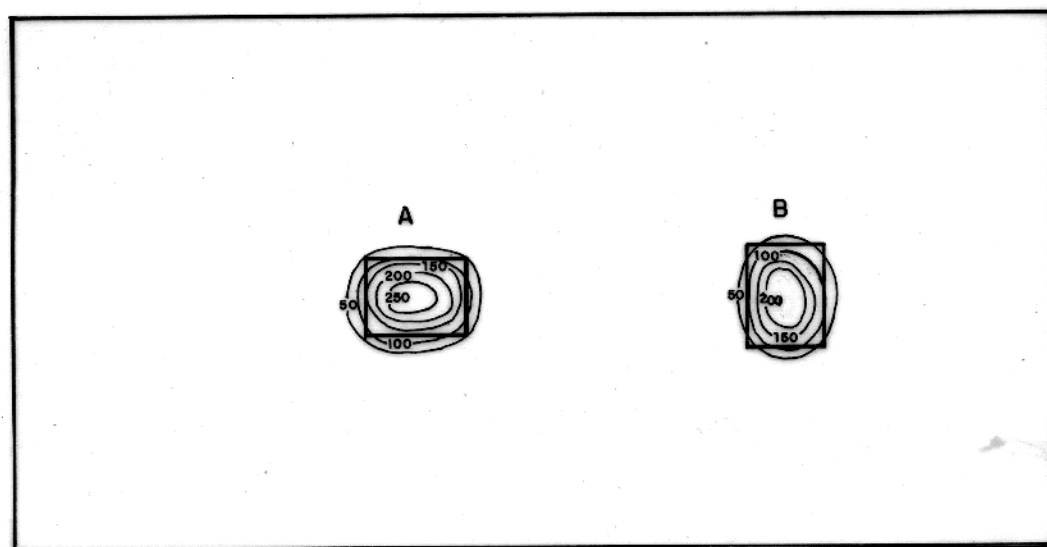


Fig.4.9— Mapa de contraste de densidade aparente, obtido pela transformação do campo residual da Figura 4.52, discretizando-se a placa em prismas com profundidade do topo de 0,8 km e 0,9 km de espessura, empregando  $k=0,2$  e contorno lateral das fontes (linha grossa). Intervalo de contorno  $50 \text{ kg/m}^3$ .

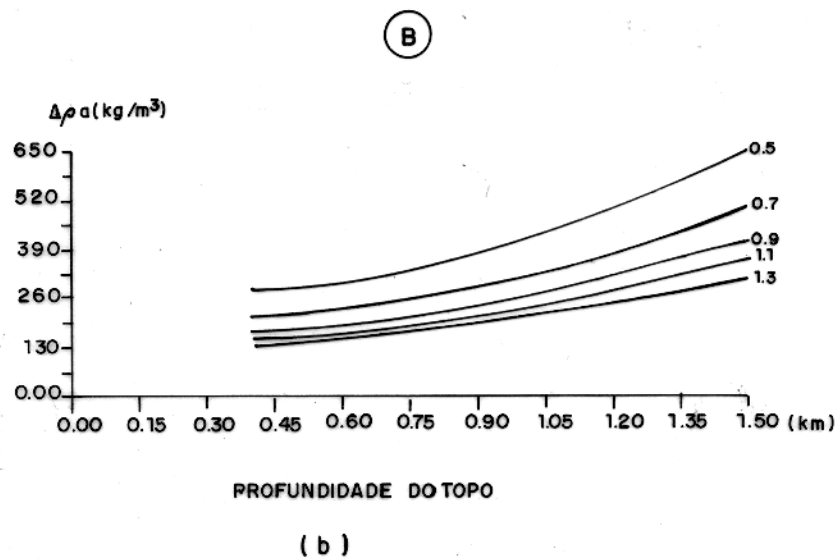
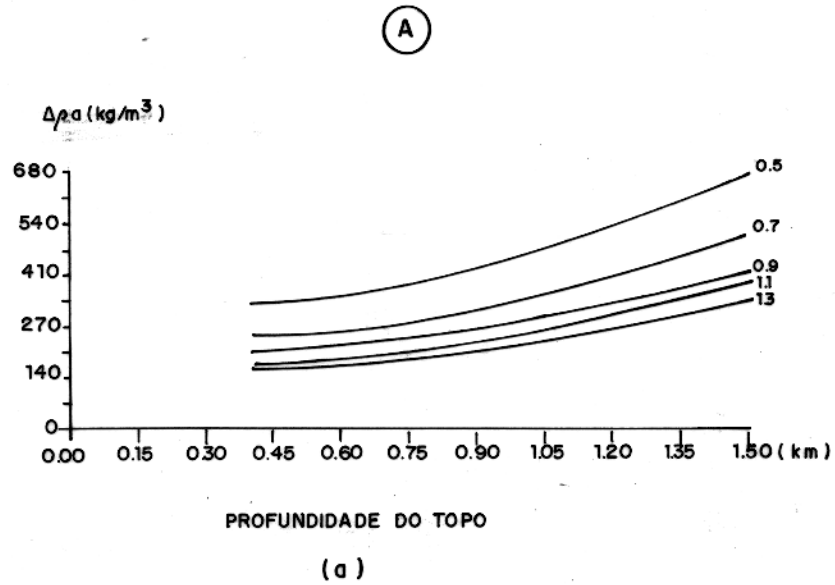


Fig. 4.10— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos (a) A e (b) B. Espessura em km.

## CAPÍTULO 5

### GEOLOGIA DA BACIA DO RECÔNCAVO

#### 5.1—Introdução

Até a década de 70, o principal enfoque no estudo da Bacia do Recôncavo (Figura 5.1), bem como da grande maioria das bacias brasileiras, era dado à definição do arcabouço estratigráfico das mesmas. A partir do início da década de 80 começa uma grande demanda em análises regionais, baseadas principalmente nos aspectos estruturais das bacias, com a gravimetria assumindo importante papel nos diversos estudos realizados.

Deu-se início na década de 40 a estudos extensivos na Bacia do Recôncavo, através de mapeamento básico de superfície e definição da estratigrafia. Nos anos 60 começam a ser aplicados conceitos de estratigrafia genética e modelos deposicionais nos trabalhos realizados na área.

Vianna et al. (1970) formalizam a estratigrafia das Bacias do Recôncavo e Tucano Sul conforme a nomenclatura internacional. Ghignone (1970) utiliza o termo *rift valley* para caracterizar a Bacia do Recôncavo. Della Fávera (1970) conclui que a principal fase tectônica na área ocorreu posteriormente à deposição da Formação São Sebastião, separando assim a Bacia do Recôncavo da de Tucano, até então ligadas.

Gama Jr. e Fonseca (1971) elaboram estudo na Bacia do Recôncavo no aspecto da evolução tectônica e sedimentar, avaliando o preenchimento sedimentar da fossa.

Asmus e Porto (1972), em importante trabalho de classificação das bacias sedimentares brasileiras com base na tectônica de placas, reconhecem e reafirmam a origem da Bacia do Recôncavo como sendo de origem tafrogênica.

Ghignone (1979) sintetiza o acervo de conhecimento sobre as bacias da fossa baiana, com ênfase nos aspectos estruturais e estratigráficos.

Pontes e Medeiros (1981) estudam os sistemas deposicionais na Bacia do Recôncavo com ênfase na tectônica sedimentar.

Milani (1984) elabora um modelo evolutivo para o *rift* do Recôncavo—Tucano—Jatobá com

base em estudos gravimétricos. Continuando nessa linha, Milani (1985) volta a avaliar a evolução do *rift*, caracterizando a geometria de deformação crustal associada ao mecanismo tectônico responsável pela evolução das bacias.

Milani e Davidson (1988) apresentam um novo modelo para a evolução do *rift*, utilizando todos os dados e publicações disponíveis na PETROBRÁS sobre as bacias, e integram com a estrutura do embasamento circundante.

## 5.2—Estratigrafia

A formalização da estratigrafia das rochas sedimentares das Bacias do Recôncavo e Tucano, foi realizada por Vianna et al. (1970) abrangendo aspectos lito, bio e cronoestratigráficos do pacote sedimentar (figura 5.2).

Os sedimentos dos Grupos Brotas, Santo Amaro, Ilhas, Massacará e a Formação Salvador foram agrupados sob a denominação de Supergrupo Bahia.

A unidade inferior da coluna sedimentar das bacias é denominada de Grupo Brotas (Andar Dom João—Jurássico Superior). Este compreende as Formações Aliança e Sergi. A Formação Aliança atinge espessuras de até 575 metros. Seu contato inferior é discordante com as rochas do embasamento cristalino, e é subdividida em três membros: Afligidos (basal), Boipeba e Capianga. As litologias predominantes dessa formação são pelitos vermelhos e arenitos avermelhados que gradam para os arenitos finos a conglomeráticos da Formação Sergi. Estes arenitos apresentam estratificações cruzadas de grande porte. O pacote apresenta espessura máxima da ordem de 450 metros, e grada na parte superior para a Formação Itaparica.

O Grupo Santo Amaro (porção inferior do Andar Rio da Serra—Cretáceo Inferior) é constituído das Formações Itaparica e Candeias. Itaparica é a formação basal, sendo constituída de folhelhos silticos cinza—esverdeados. Subordinadamente ocorrem arenitos finos a silticos. No topo ocorrem arenitos do chamado Membro Água Grande. A Formação Candeias possui complexa litologia, composta por folhelhos e siltitos, com alguns leitos finos de calcários e grandes e espessos corpos lenticulares de arenito. Na Bacia do Recôncavo a Formação Candeias é subdividida, de baixo para cima, nos Membros Tauá, Gomo, Pitanga e Maracangalha. Na Bacia de Tucano ela é mantida indivisa.

O Grupo Ilhas (Cretáceo Inferior— Andares Rio da Serra Superior e Aratu ) no Recôncavo se subdivide nas Formações Marfim e Pojuca, de baixo para cima. O contato inferior da Formação Marfim com os lutitos da Formação Candeias é gradacional, com intercalações de arenitos Marfim (Camadas Caruaçu) nos folhelhos Candeias. A Formação Marfim compõe-se de arenitos grosseiros a silticos intercalados com siltitos e folhelhos. No topo, ocorrem dois corpos de arenitos separados por folhelhos, reunidos no Membro Catu.

A Formação Pojuca é constituída de leitos intercalados de arenitos, siltitos, folhelhos e calcários. Na parte intermediária aparece o Membro Santiago, constituído de arenitos calcíferos finos.

O grupo Massacaré (Cretáceo Inferior— Andares Buracica e Jiquiá) é representado pela Formação São Sebastião que é restrita à Bacia do Recôncavo. Essa formação é constituída de arenitos amarelo-avermelhados e subdivide-se nos Membros: Paciência, Passagem dos Teixeiras e Rio Joanes.

A Formação Salvador é constituída predominantemente por conglomerados, passando lateralmente para arenitos. Esta formação se estende ao longo da borda sudeste da Bacia do Recôncavo. A interpretação comumente invocada para explicar esta cunha clástica é a de deposição gravitacional subaquosa, à semelhança de um fan-delta com forte empilhamento vertical.

De idade aptiana (Cretáceo Inferior), assentada discordantemente sobre o Grupo Massacaré está a Formação Marizal, constituída de arenitos de finos a grosseiros. Na base da formação ocorrem conglomerados polimíticos com matriz arenosa.

Fechando o pacote sedimentar da fossa baiana, aparece a Formação Barreiras (Terciário), assentada discordantemente sobre os sedimentos do Supergrupo Bahia ou da Formação Marizal. Areias grosseiras, argilas cinza-avermelhadas e conglomerados são litologias principais do Barreiras.

### 5.3—Geologia Regional e Arcabouço Estrutural

O *rift* da fossa baiana é uma feição ruptural eocretácica implantada sobre embasamento constituído de terrenos de natureza e idades diversas (Figura 5.3). O arcabouço da fossa tem padrão estrutural influenciado pelas zonas de fraqueza já existentes no embasamento, pois a direção geral do *rift*, N-S, parece seguir a principal linha estrutural do Cráton do São Francisco nesta área,

segundo a qual se alinham *greenstone belts* nos terrenos granito-gnaissicos.

As Bacias do Recôncavo e Tucano Sul apresentam a configuração de dois hemi-grabens paralelos, separados pelo Alto de Aporá, estando alinhados segundo direção geral  $N20-40E$ .

O embasamento em ambas as bacias é cortado por falhas normais de orientação nordeste, segmentando o substrato num mosaico de blocos de dimensões e atitudes variadas, definindo deste modo o arcabouço estrutural (Figura 5.4).

Os grabens do Recôncavo e Tucano Sul possuem assimetria pronunciada para *SE*, definida pelo mergulho regional do embasamento nessa direção. A borda sudeste é afetada por grande falhamento normal. No lado oposto aparece uma zona de flexura associada à falhas de pequeno rejeito delimitando a borda das bacias.

Recôncavo e Tucano Sul são separados por um proeminente *horst* denominado Alto de Aporá, o qual consiste num bloco de embasamento parcialmente aflorante (porção *NE*) e parcialmente coberto por fino pacote de sedimentos (esta parte é denominada de Alto de Boa União).

O arcabouço estrutural do *rift* na Bacia do Recôncavo, é definido por um sistema de falhamentos de duas direções principais:  $N30E$ , coincidente com as falhas normais ao longo do strike da fossa, e  $N40W$ , representada por grandes elementos diastróficos transversais. Este sistema divide a fossa em três subbacias (figura 5.4): Sul, Central e Nordeste (Netto et al., 1984). A Falha de Salvador ( $N30E$ ) determina o limite sudeste da Bacia do Recôncavo.

O Recôncavo Sul tem como depocentro o Baixo de Camaçari junto à Falha de Salvador, definindo um perfil assimétrico de uma borda à outra da fossa, e compartimentando-a em duas áreas de estilos estruturais distintos, separadas pelo Alto de Dom João. Segundo Netto et al. (1985), esta feição é a continuação para *SW* do Alto de Aporá. O Recôncavo Central consiste numa plataforma rasa basculada para *W-NW* a partir do Alto de Salvador. O Recôncavo Nordeste é o menor compartimento dentre os três. Este passa flexuralmente para o Alto de Aporá, a partir do qual, o embasamento mergulha progressivamente no sentido geral *SE*, definindo deste modo, a assimetria da Bacia como um todo.

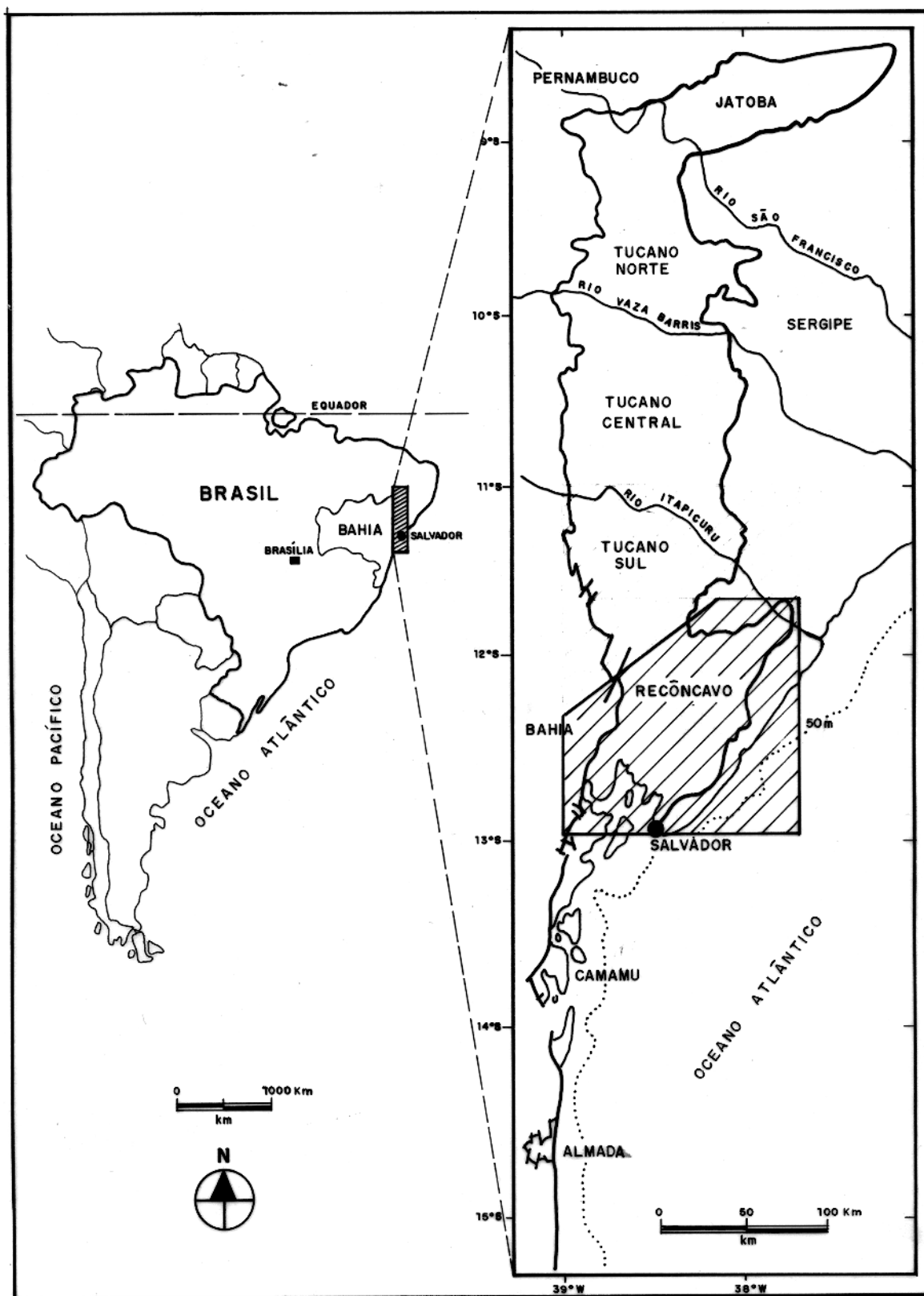


Fig. 5.1— Mapa de localização da área estudada

| IDADES    |           |                   | LITOESTRATIGRAFIA |              |                   | AMBIENTES/<br>SISTEMAS<br>DEPOSICIONAIS                  | CONDIÇÕES<br>TECTÔNICAS   |   |   |   |  |          |                    |
|-----------|-----------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|--|---------------------------|---|---|---|--|----------|--------------------|
| Eratema   | Sistema   | Andar             | Grupo             | Formação     | Membro            |  |                           |   |   |   |  |          |                    |
| MESOZÓICO | CENOZÓICO | TERCIÁRIO         | Plioceno          |              | BARREIRAS         |  | Fluvial                   |   | PÓS-"RIFT"/ESTÁVEL  | Coberturas  |  |          |                    |
|           |           |                   | Mioceno           |              |                   |  |                           |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   | Alagoas           |              | MARIZAL           |  | Planície aluvial          |   |   | Colmatção final da fossa  |  |          |                    |
|           | JURÁSSICO | CRETÁCIO INFERIOR | Neocomiano        | Buracica     | MASSACARÁ         | SÃO SEBASTIÃO  | Rio Joanes                | LAGO TECTÔNICO<br>Leques conglomeráticos junto à borda SE | Fluvial<br>progradante  | "RIFT"/INSTÁVEL   | Depocentros mais ativos:<br>Olindina/<br>Inhambupe, Campari,<br>Atagoinhas |          |                    |
|           |           |                   |                   |              |                   |  | Passagem dos<br>Teixeiras |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   |                   |              |                   |  | Paciência                 |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   |                   | Aratu        |                   |  | ILHAS                     |   | POJUCA  |   |  | Santiago | Lobos<br>deltaicos |
|           |           |                   |                   |              |                   |  |                           |   |   |   |  | Catu     |                    |
|           |           |                   |                   | Rio da Serra |                   |  | SANTO AMARO               |   | CANDEIAS  |   |  | SALVADOR | Marg<br>cangalha   |
|           |           |                   | Pitanga           |              |                   |  |                           |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   | Gomo              |              |                   |  |                           |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   | Tauá              |              | Lacustre restrito | PROTO-"RIFT"<br>Progressivo incremento<br>na subsidência |                           |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   | Dom João          | BROTAS       | ITAPARICA         | SERGI  | Aguá<br>Grande            | Lacustre raso<br>com<br>incurções fluviais                | PRÉ-"RIFT"<br>ESTÁVEL<br>Embaciamento<br>intracontinental por<br>adelgaçamento crustal<br>pré-rifteamento |   |  |          |                    |
|           |           |                   |                   |              |                   |  | ALIANÇA                   | Capanga   |   | Planície aluvial<br>Lacustre raso<br>Eólico<br>Fluvial intermitente |  |          |                    |
|           |           |                   |                   |              | Boipeba           |  |                           |   |   |   |  |          |                    |
| Afligidos |           |                   |                   |              |                   |  |                           |   |   |   |  |          |                    |
|           |           |                   |                   |              |                   |  |                           |   |   |   |  |          |                    |

Fig. 5.2— Crono-litoestratigrafia das unidades sedimentares que preenchem as fossas do Recôncavo e Tucano Sul, mostrando os ambientes, sistemas deposicionais e condições tectônicas reinantes durante a acumulação dos diferentes pacotes (segundo Milani, 1985).





## CAPÍTULO 6

### INTERPRETAÇÃO GRAVIMÉTRICA DA BACIA DO RECÔNCAVO

#### 6.1 - Introdução

O primeiro trabalho de gravimetria realizado na Bacia do Recôncavo data de 1948, tendo sido executado por Frisk (1948) e foi denominado "Gravity report on Southern part of the Reconcavo Basin".

No período de 1953/55 foi realizado um levantamento gravimétrico de grande cobertura na Bacia do Recôncavo. Os resultados desse levantamento foram apresentados nos relatórios de Ameely e Rosenfeld (1953), Ameely (1956) e Linsser (1956). Neste último relatório encontra-se a interpretação final do levantamento, onde Linsser (1956) interpreta um "campo regional" (causado exclusivamente pelo embasamento) que seria definido como a "Anomalia Bouguer medida caso fossem substituídos os sedimentos por embasamento" (Linsser, 1956).

Souza Filho (1960) de posse de mais dados (poços, sísmica, geologia) faz uma re-interpretção desse "campo regional". Continuando nessa linha, Fachetti (1962) faz novo estudo gravimétrico regional na Bacia do Recôncavo. Linsser (1962) compara resultados da gravimetria de detalhe com os da sísmica de refração na região do Horst de Boipeba. Vianna (1970), utiliza técnica de densidade variável (baseada nas oscilações do valor do gradiente vertical) para redução de dados gravimétricos de detalhe, aplicando esta metodologia na área do campo de Água Grande.

Oliveira (1985) utiliza mapas, "residual" (média móvel) e derivada horizontal para delimitação dos conglomerados que ocorrem na borda leste da Bacia do Recôncavo. Milani (1985), utiliza modelos gravimétricos 2 -  $D$  (Talwani et al., 1959) como importante suporte na definição do arcabouço estrutural das Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá. Ussami (1986), utiliza modelos 2,5 -  $D$  (correção de borda) na definição do arcabouço estrutural das bacias da fossa baiana. Milani e Davidson (1988) apresentam modelo tectônico para evolução do rift Recôncavo-Tucano-Jatobá, utilizando modelagem gravimétrica 2 -  $D$  integrada com todos os dados geológico-geofísicos disponíveis sobre as bacias.

#### 6.2 - Correção do Efeito Crosta-Manto

As anomalias gravimétricas são resultantes da soma total dos efeitos produzidos por todos os contrastes de densidade em subsuperfície. Assim, as interpretações de dados gravimétricos feitas até o presente momento na Bacia do Recôncavo, na maioria das vezes empregando o método de Talwani (Talwani et al., 1959), procuraram modelar não só a geometria bacinal como também, o relevo da interface crosta-manto na região. Os resultados obtidos por vários autores (Milani, 1985; Milani e Davidson, 1988), mostram, na região da Bacia do Recôncavo, uma importante elevação da interface crosta-manto, de modo que, a anomalia positiva gerada por esta interface, mascara a anomalia negativa devida aos depocentros da bacia, principalmente o Baixo de Camaçari (Figura 5.4), tido como a parte mais profunda do Recôncavo. Como o intuito de nosso trabalho é o de interpretar separadamente, a interface sedimento-embasamento, e os contrastes laterais de densidade nos sedimentos, tornou-se necessário então, calcular a anomalia gravimétrica devida à interface crosta-manto (campo regional-continental), de modo a retirar este efeito, dos dados do Mapa Bouguer do Recôncavo (PETROBRÁS/RPBA/DIREX, 1970).

Para o cálculo da anomalia gravimétrica da interface crosta-manto, procedeu-se da seguinte maneira. Digitalizou-se o Mapa Bouguer do Estado da Bahia escala 1:1.000.000 (Motta, 1984), em uma malha regular com espaçamento entre os pontos de 10 km (Figura 6.1). A esses dados, aplicou-se o método de separação regional-residual através de polinômio robusto, descrito no capítulo 4. Os regionais obtidos para polinômios de ordem 1 a 6 são mostrados nas Figuras 6.2a-f.

Escolheu-se como polinômio ajustante para o campo regional-continental, o de ordem 4 (Figura 6.2d), pois a partir da ordem 5 (Figura 6.2e), o campo regional-continental apresenta-se contaminado por uma parte do residual, o que pode ser comprovado, pelo aparecimento de um grande baixo alongado de direção N-S (B na Figura 6.2e), baixo este, certamente ligado às Bacias de Recôncavo-Tucano-Jatobá. No campo regional-continental dado por polinômio de ordem 6 (Figura 6.2f), não há mudança qualitativa em relação ao mapa da Figura 6.2e. Apenas o baixo B na Figura 6.2f apresenta maiores amplitudes, demonstrando que houve uma maior transmissão do residual para o regional-continental. É importante notar, que no caso estudado, os mapas regionais-continentais produzidos por polinômios de ordem ímpar, ou seja, ordens 1 (Figura 6.2a), 3 (Figura 6.2c) e 5 (Figura 6.2e), apresentam nitidamente, uma tendência N-NW, acompanhando

a tendência geral do *rift* Recôncavo–Tucano–Jatobá. Em contrapartida, os regionais–continentais obtidos por polinômio de ordem par, como pode ser visto nas Figuras 6.2b (ordem 2) e 6.2d (ordem 4), não são influenciados pela tendência geral do *rift*, e apresentam tendência geral N–NE, com exceção do regional de ordem 6 (Figura 6.2f), devido à transmissão do residual para o regional–continental. Portanto, esta tendência (N–NE) deve representar a tendência verdadeira da interface crosta–manto na área.

Analisando a Figura 6.2d (regional–continental ordem 4), percebe-se que na região da Bacia do Recôncavo, assinalada no canto sudeste desta figura, o campo regional–continental apresenta valores mais elevados, acompanhados de aumento do gradiente, em relação à porção S–SW da Figura, o que pode representar um adelgaçamento crustal na região da Bacia do Recôncavo.

O Mapa Bouguer do Recôncavo (PETROBRÁS/RPBA/DIREX, 1970) mostrado na Figura 6.3, foi corrigido do efeito gravimétrico da interface crosta–manto, da seguinte forma. De posse dos coeficientes do polinômio de ordem 4 selecionado na fase anterior, avaliou-se o polinômio em cada ponto da malha quadrada com espaçamento de 1,0 km onde os dados gravimétricos Bouguer da Bacia do Recôncavo foram interpolados. A seguir, subtraiu-se o valor avaliado, da anomalia Bouguer original. O resultado dessa correção, é mostrado na Figura 6.4 (mapa Bouguer corrigido do efeito crosta–manto).

Embora a Figura 6.3 mostre a anomalia Bouguer na Bacia do Recôncavo, parte da Bacia do Tucano e embasamento circundante, todo o processamento é feito exclusivamente na área da Bacia do Recôncavo com limites mostrados na Figura 6.4.

Comparando o mapa Bouguer corrigido do efeito crosta–manto (Figura 6.4), ou simplesmente mapa Bouguer corrigido, com o mapa Bouguer original (Figura 6.3), percebe-se que a retirada da anomalia gravimétrica devida ao provável adelgaçamento crustal, ressalta feições no mapa corrigido (Figura 6.4) que antes estavam mascaradas ou pouco definidas no mapa original (Figura 6.3). Por exemplo, na Figura 6.4 aparece o baixo A, condizente com a informação geológica da existência do Baixo de Camaçari, enquanto na Figura 6.3, existem apenas, leves indícios da existência de um baixo gravimétrico neste ponto. Outra feição mascarada no mapa Bouguer original e melhor visualizada no mapa Bouguer corrigido, é o ponto de sela D na Figura 6.4. Ao nordeste deste, aparece melhor definido o baixo E, quando comparado com a Figura 6.3. Além disso,

percebe-se, na Figura 6.4, menor gradiente do campo na região C em relação à Figura 6.3. Finalmente, nota-se na região B (Figura 6.4) localizada no Recôncavo Sul, mudança na tendência da anomalia. Enquanto, no mapa Bouguer da Figura 6.3 esta tendência é predominantemente N-NE (tendência da interface crosta-manto na região), na Figura 6.4 a tendência passa a ser WNW-ESE, acompanhando a tendência da porção sul da bacia (F na Figura 6.4).

Dessa maneira, pode-se concluir que a anomalia gravimétrica produzida pela interface crosta-manto, mascara, importantes feições das anomalias gravimétricas devidas à bacia sedimentar. Assim sendo, para interpretações que visem modelar a geometria bacinal e/ou fontes sedimentares, é preferível utilizar o mapa Bouguer corrigido da Figura 6.4, ao invés do mapa Bouguer original (Figura 6.3).

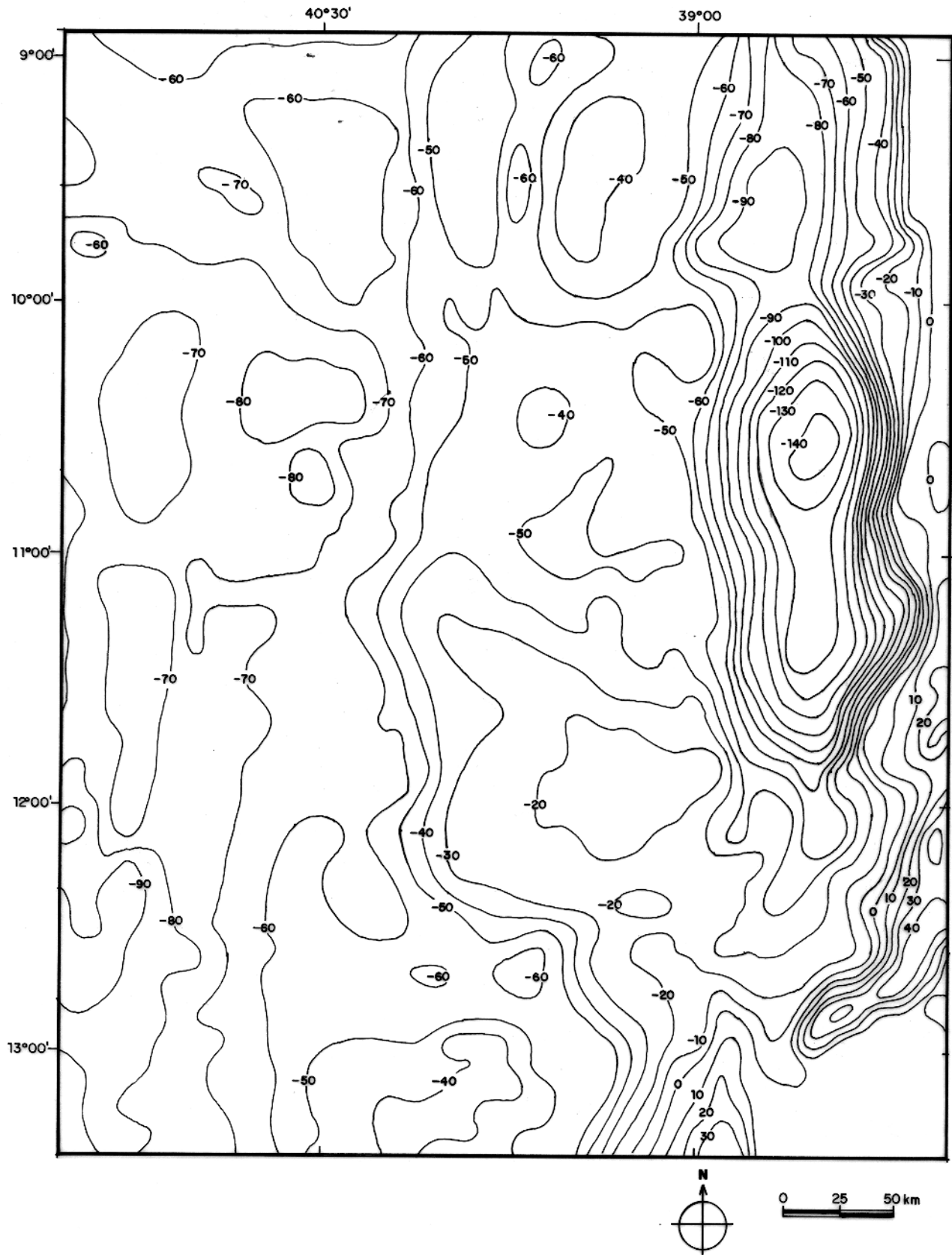
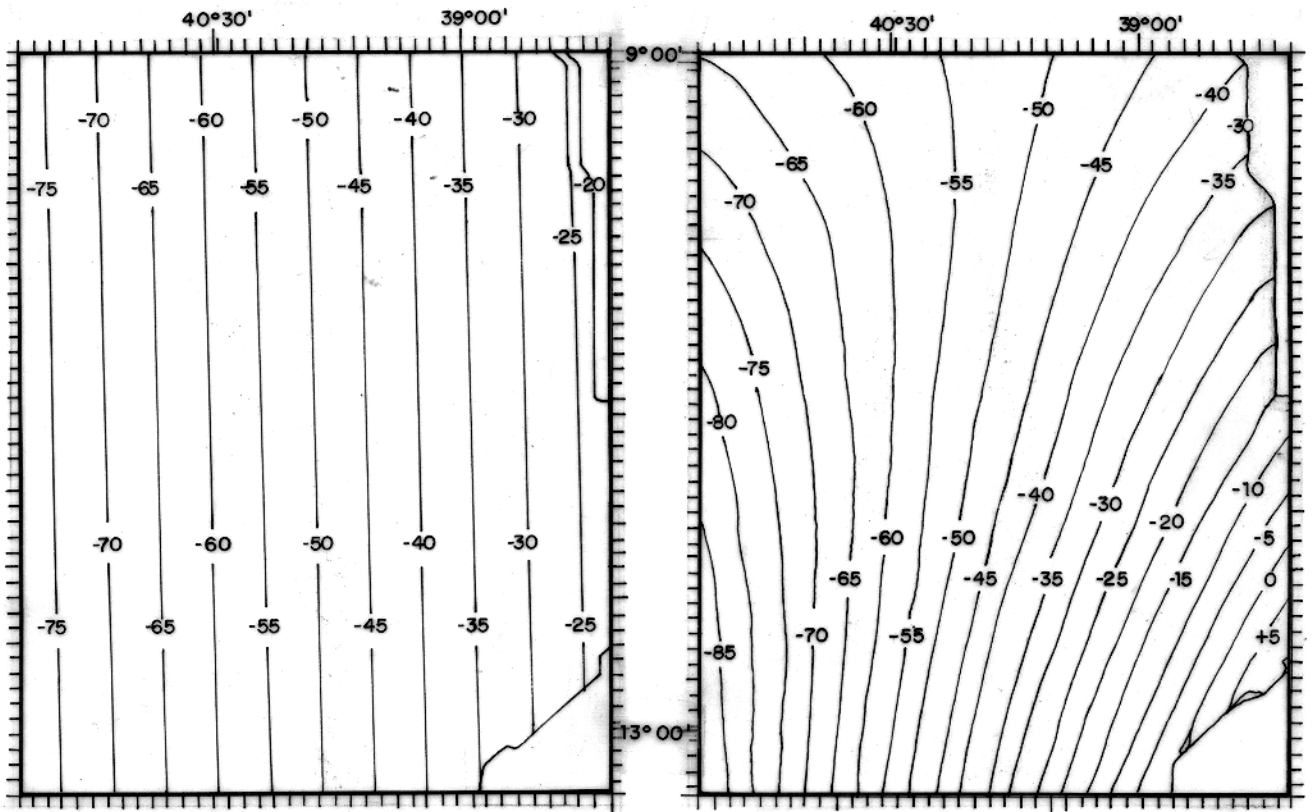


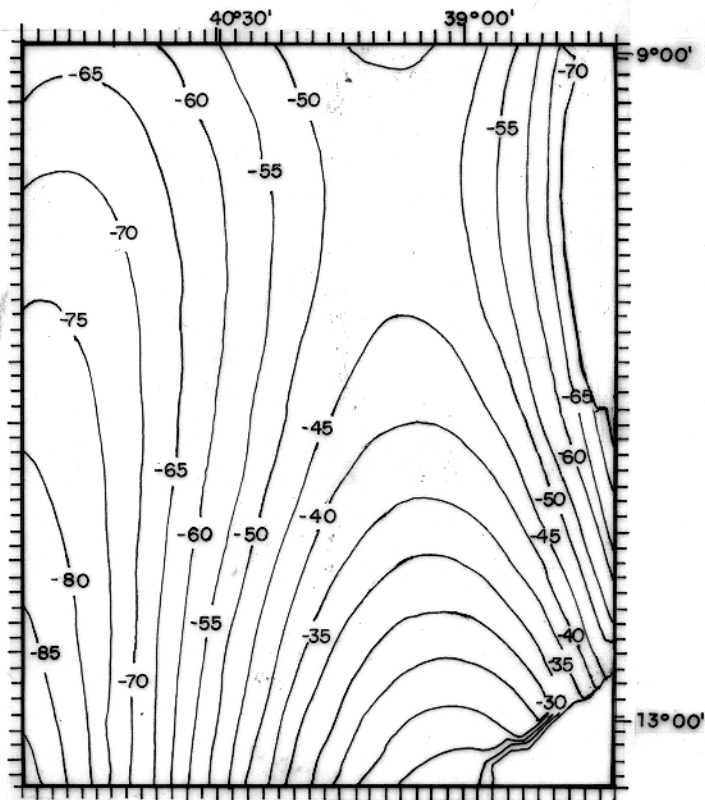
Fig. 6.1— Mapa Bouguer do Estado da Bahia (Motta, 1984). Intervalo de contorno 10 x 10 $\mu$ g.

Fig. 6.2—comparação entre regionais—continentais de diversas ordens, obtido pelo método robusto aplicado ao campo da Figura 6.1, (a) ordem 1, (b) ordem 2, (c) ordem 3, (d) ordem 4, (e) ordem 5, (f) ordem 6. Intervalo de contorno  $5 \times 10\mu\text{g}$ .



(a)

(b)



(c)

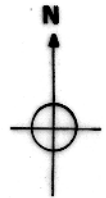
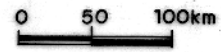
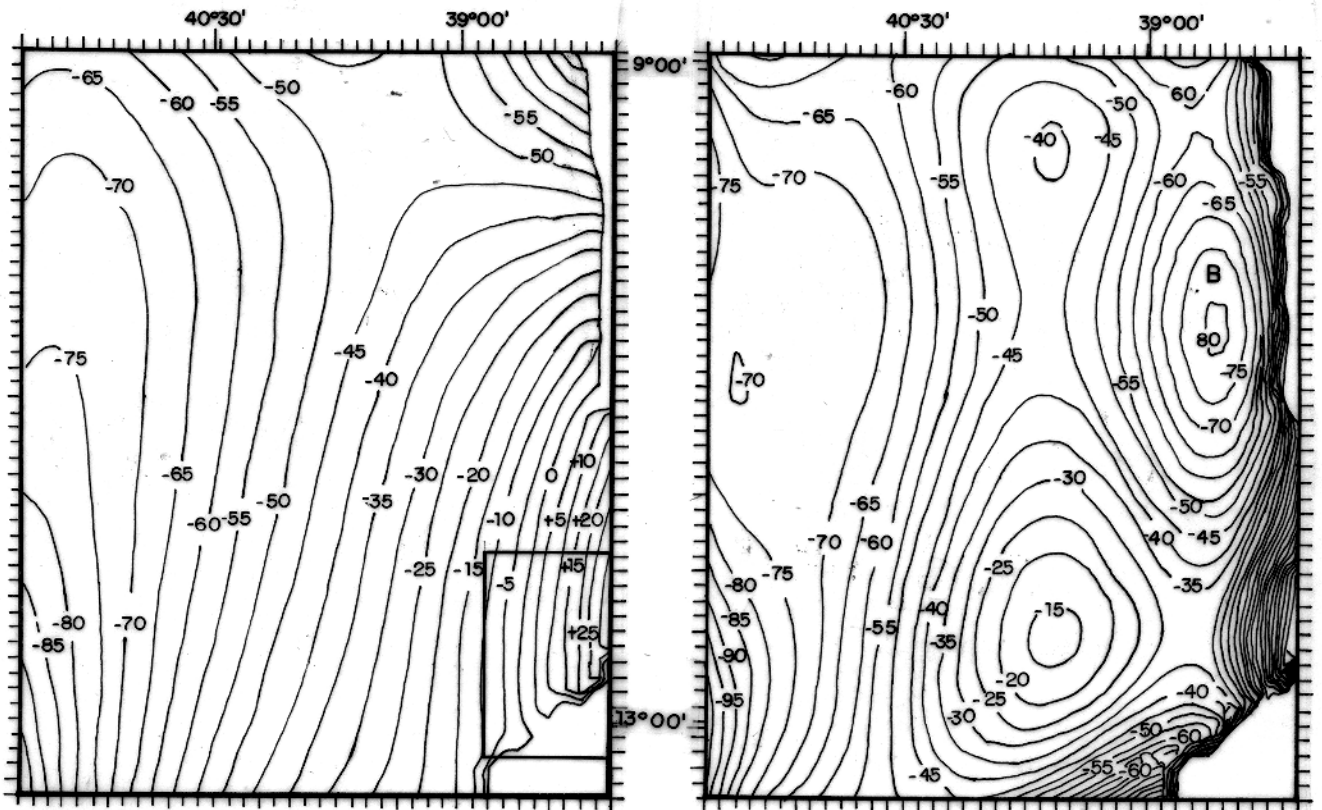
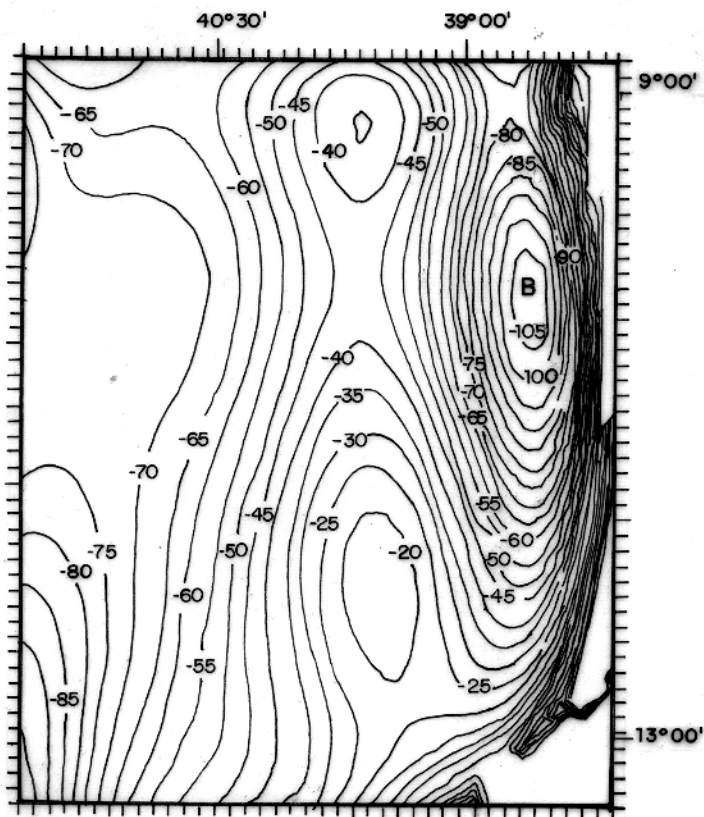


Figura 6.2



(d)

(e)



(f)

0 50 100 km

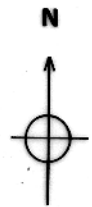


Figura 6.2

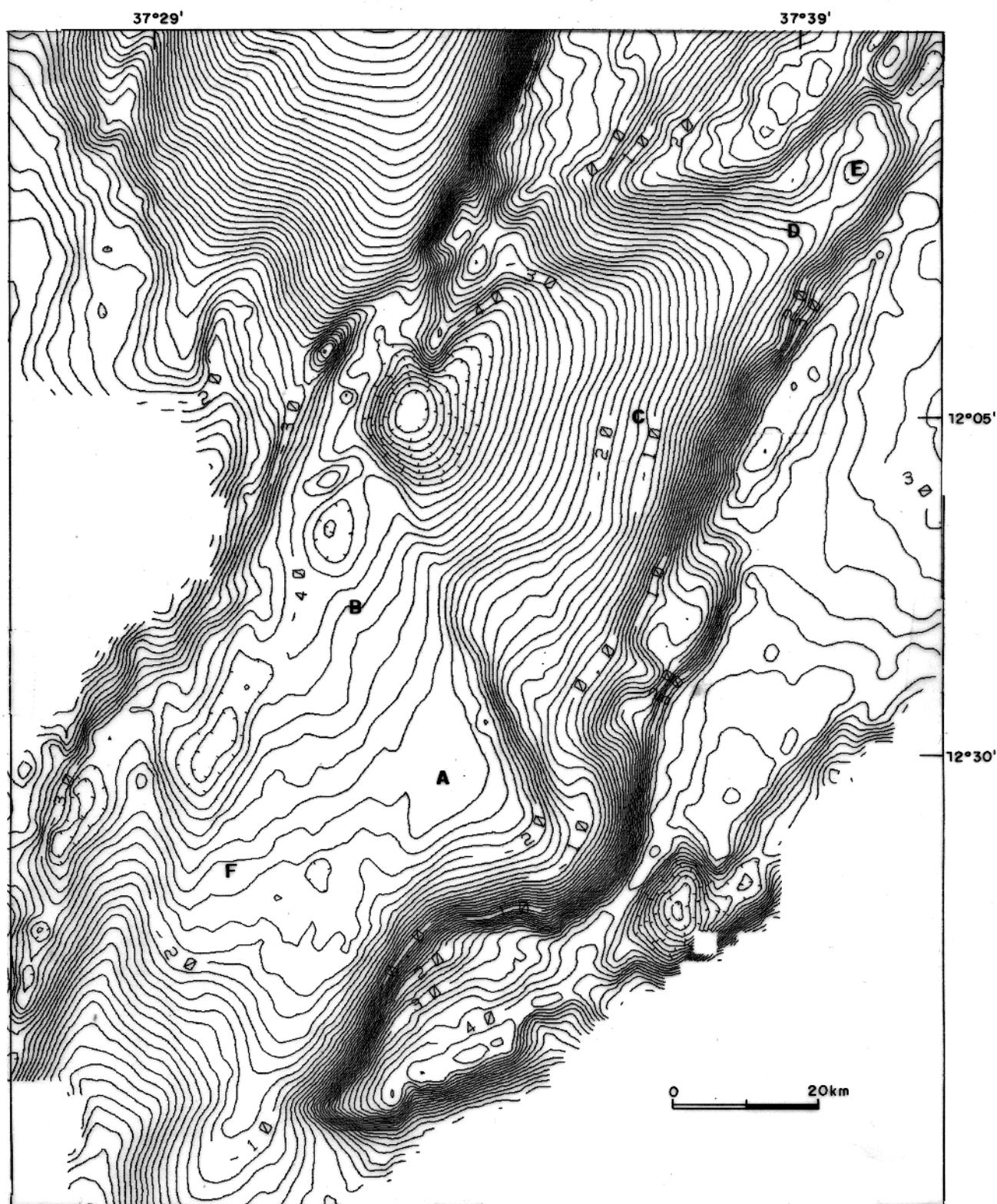


Fig. 6.3- Mapa Bouguer das Bacias do Recôncavo , Tucano Sul e embasamento adjacente (PETROBRÁS, 1970). Intervalo de contorno  $2 \times 10^{ug}$ .

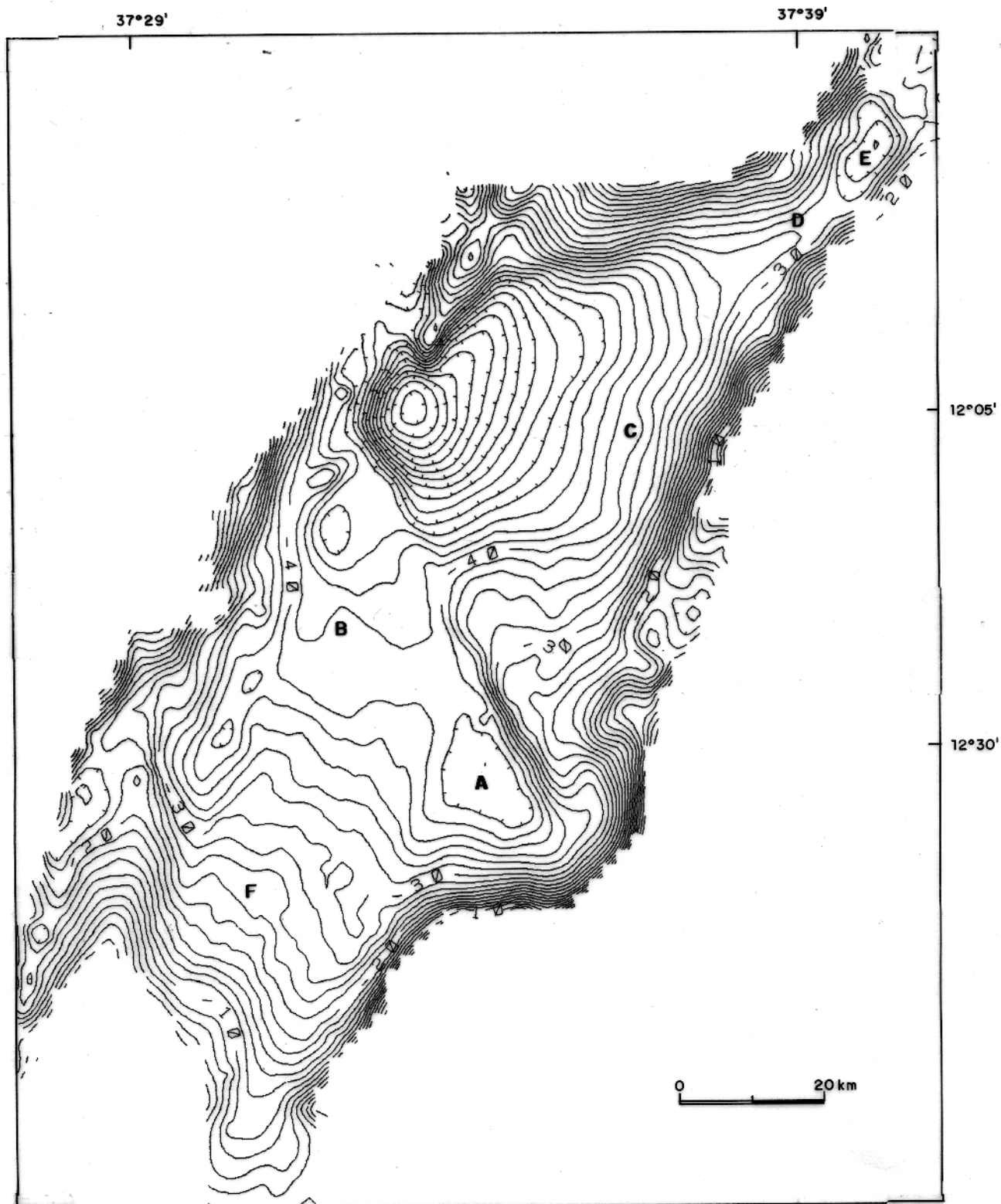


Fig. 6.4— Mapa Bouguer corrigido do efeito gravimétrico da interface crosta-manto, somente Bacia do Recôncavo. Intervalo de contorno  $2 \times 10\mu\text{g}$ .

### 6.3—Interpretação

Separou-se a anomalia Bouguer corrigida do efeito da interface crosta-manto (Figura 6.4), em suas componentes regional (Figura 6.5) e residual (Figura 6.6), através do método de ajuste de polinômio robusto (Capítulo 4).

A ordem 13 foi selecionada como ótima através do mesmo critério apresentado no Capítulo 4, e utilizado na seção 6.2 (Correção Efeito Crosta-Manto). Nos testes realizados para diversas ordens de polinômios, ocorreu o mesmo fato de certas feições do campo gravimétrico serem melhor ajustadas com polinômios de ordem ímpar, em detrimento dos de ordem par, visto na seção anterior. Nos testes realizados, o baixo BB (Figura 6.5) para polinômios de ordem ímpar é presente. Em contraste, para polinômios de ordem par esta feição inexistente, à exceção do polinômio de ordem 14, onde o mapa obtido é semelhante qualitativamente ao mapa da Figura 6.5.

O campo regional (Figura 6.5), interpretado como sendo causado pela interface sedimento-embasamento, mostra como principal feição um grande baixo (BA na Figura 6.5) de orientação NE, na porção centro-norte da área. Este baixo, é a expressão gravimétrica do denominado Baixo de Alagoinhas (Figura 5.4). O baixo BA, trunca uma feição N40W (BF na Figura 6.5), a qual corresponde à Falha de Mata-Catu (Figura 5.4). No sudeste da área, a feição BF evolui para um baixo menos acentuado de orientação aproximadamente E-W (BB). Este baixo gravimétrico corresponde ao baixo estrutural de Camaçari (Figura 5.4). O baixo BB, grada ao sul, para um quasi-baixo (feição predominantemente baixa, caracterizada por inflexões nas curvas de isovalores ao invés de curvas de contorno fechadas) de direção N-NE (BD), este apresentando-se separado de outro quasi-baixo a oeste (BC, também de direção N-NE) por um quasi-alto (feição predominantemente alta, caracterizada por inflexões nas curvas de isovalores ao invés de curvas de contorno fechadas) gravimétrico de direção N-NE (BG). Na porção extremo norte da área, aparece um ponto de sela (BE).

A anomalia residual (Figura 6.6) exhibe no centro da área, uma feição linear de direção N40W (G na Figura 6.6), indo de uma borda a outra da bacia. Esta feição é a expressão gravimétrica da Falha de Mata-Catu. É interessante notar no mapa residual, a disposição geográfica das anomalias, apresentando-se principalmente concentradas nas bordas da bacia, onde ocorreram os principais falhamentos normais associados aos maiores rejeitos, e ao longo da Falha de

Mata-Catu (G na Figura 6.6). Os núcleos centrais, regiões H e I na Figura 6.6, exibem patamares onde o valor do campo é virtualmente nulo. As anomalias ao longo do lineamento G, interpretado como sendo a Falha de Mata-Catu, são alongadas com direção aproximadamente paralela à direção da falha (N40W). Algumas dessas anomalias são, negativas com baixo gradiente (J, K, L, M na Figura 6.6) e positiva com alto gradiente (N).

Ao campo regional da Figura 6.5 aplicou-se a metodologia de interpretação apresentada no Capítulo 2. Introduziu-se informação sobre a profundidade do embasamento em 7 pontos (locados na Figura 6.7), correspondentes a furos de sondagem (Tabela 6.1) que alcançaram o embasamento. Para a determinação do contraste de densidade construiu-se o gráfico mínima função objeto versus contraste de densidade (Figura 6.8a). A determinação do nível de continuação foi feita através do gráfico mínima função objeto versus nível de continuação (Figura 6.8b). A função que melhor ajustou a informação introduzida, é correspondente à norma 1 do resíduo entre as profundidades, real e calculada.

Tabela 6.1 - Lista de poços utilizados na interpretação do campo regional

| Poço | Sigla     | Latitude                  | Longitude                 | Profundidade(km) |
|------|-----------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| 1    | 3FA05R-BA | 12 <sup>o</sup> 01'26.4"S | 37 <sup>o</sup> 59'16.8"W | 2,29             |
| 2    | 3FBE04-BA | 12 <sup>o</sup> 10'08.4"S | 38 <sup>o</sup> 12'27.7"W | 2,97             |
| 3    | 3FBL02-BA | 12 <sup>o</sup> 19'54.9"S | 38 <sup>o</sup> 14'42.6"W | 2,88             |
| 4    | 06AC02-BA | 12 <sup>o</sup> 47'34.8"S | 38 <sup>o</sup> 26'45.6"W | 3,80             |
| 5    | 01AR01-BA | 12 <sup>o</sup> 08'09.6"S | 38 <sup>o</sup> 11'08.5"W | 2,95             |
| 6    | 03BL03-BA | 12 <sup>o</sup> 11'20.4"S | 38 <sup>o</sup> 13'19.2"W | 3,14             |
| 7    | 01BZ01-BA | 12 <sup>o</sup> 15'09.6"S | 38 <sup>o</sup> 04'15.2"W | 1,62             |

Fonte: PETROBRÁS

O gráfico da Figura 6.8a foi construído utilizando nível de continuação fixo de 0,5 km. A análise desse gráfico mostra que o intervalo de mínimo para a mínima função objeto abrange os contrastes de densidade de 500 a 700 kg/m<sup>3</sup>. Entretanto, devido aos fatores expostos a seguir, não será usado contraste de densidade dentro desta faixa de mínimo. Primeiramente, a informação a priori disponível na literatura fornece valores para o contraste de densidade bem abaixo dos

fornecidos pelo gráfico da Figura 6.8a. Além do mais, consideramos que o contraste de densidade que representa o limite inferior para a faixa de mínimo da mínima função objeto ( $\Delta\rho = 500\text{kg}/\text{m}^3$ ) já é possivelmente muito alto, em função dos dois meios envolvidos (rochas sedimentares—embasamento presumivelmente granito—gnáissico). Finalmente, os mapas de profundidades absolutas obtidos para os contrastes de densidade dentro dessa faixa, apresentaram estimativas muito rasas para as feições internas da Bacia do Recôncavo, contradizendo as informações geológicas disponíveis sobre a mesma. O deslocamento da faixa de mínimo para valores mais altos de contraste de densidade é provavelmente devida à não representatividade dos poços disponíveis para a determinação da profundidade real do embasamento. Isto é primeiramente sugerido pelo fato da norma 1 produzir melhores ajustes que a norma 2, indicando a presença de fontes pouco representativas. Além disso, analisando a Tabela 6.1, percebe-se que a profundidade do embasamento na maioria dos poços, está situada na faixa de 2,5 a 3,0 km. Dessa forma, não há informação sobre a profundidade do embasamento nas partes mais profundas da bacia (baixos regionais), o que fica evidenciado pela distribuição geográfica dos poços (Figura 6.7). Assim, é necessário presumir valores altos de contraste de densidade, para melhor ajustar as profundidades mais rasas (poços com embasamento na faixa de 2,5 a 3,0 km de profundidade), acarretando um desajuste maior nas porções onde não há informação (baixos regionais).

Deste modo, de acordo com que foi exposto acima, escolheu-se o valor de  $400\text{kg}/\text{m}^3$  para o contraste de densidade, uma vez que, a mínima função objeto apresenta neste ponto um valor muito abaixo do valor correspondente ao ponto anterior ( $300\text{kg}/\text{m}^3$ ). A partir de  $400\text{kg}/\text{m}^3$ , a redução da mínima função objeto é pequena (Figura 6.8a).

Para determinar o nível de continuação realizaram-se testes para os valores de 0, 0,1, 0,2, 0,5, 0,9 e 1,5 km. O contraste de densidade empregado, foi o selecionado na etapa anterior ( $400\text{kg}/\text{m}^3$ ). Construiu-se então o gráfico da mínima função objeto versus nível de continuação (Figura 6.8b). A análise deste gráfico mostra que o nível de continuação que forneceu melhor ajuste para a função objeto é 1,0 km. Entretanto, devido aos fatores expostos acima quando da escolha do contraste de densidade, não será utilizado o valor de 0,1 km. Escolheu-se o valor de 0,5 km, uma vez que, para níveis de continuação mais rasos que 0,5 km a redução da mínima função objeto é pequena (Figura 6.8b), e para níveis mais profundos, a função objeto apresenta valores muito

mais altos.

É importante ressaltar que todos os resultados mostrados aqui, foram obtidos postulando um polinômio de ordem 1 em  $x$  e  $y$  para o nível de base, ao invés de um polinômio de ordem 0. Isto porque em todas as situações testadas, a utilização de polinômios de ordem 0, forneceu valores, para função objeto, de 3 a 4 vezes maiores que os obtidos para polinômios de ordem 1. Tal fato pode ser explicado pela contribuição de dois fatores. O primeiro, é que o contraste de densidade ao longo da borda leste da Bacia do Recôncavo (interface conglomerados da Formação Salvador-embasamento) é menor do que o contraste de densidade no restante da bacia (interface entre o embasamento e sedimentos consistindo de arenitos e folhelhos). O segundo, é que apesar dos dados gravimétricos terem sido corrigidos do efeito da elevação do manto em direção à borda leste da bacia, uma pequena contribuição deste efeito pode ter permanecido nos dados. Desse modo, permitiu-se que um polinômio de ordem 1 em  $x$  e  $y$  compensasse o efeito gravimétrico da soma desses dois fatores, indesejáveis nas estimativas da interface sedimento-embasamento, correspondendo, portanto, a mais uma correção feita no campo gravimétrico. Os mapas de profundidades absolutas obtidos, para os diversos contrastes de densidade e níveis de continuação empregados no modelamento do campo regional, são bastante semelhantes qualitativamente. Isto indica que em todos os casos houve consistência na determinação dos coeficientes dos polinômios de ordem 1 empregados na correção.

A Figura 6.7 mostra o mapa de profundidades absolutas obtido, utilizando os parâmetros estimados nesta seção ( $\Delta\rho = 400 \text{ kg/m}^3$  e  $d_1 = 0,5 \text{ km}$ ). Este mapa mostra feições representando quasi-altos (CA, CB), quasi-baixos (CE, CF, CH, CI), baixos (CC, CD) e um patamar subhorizontal (CG). A feição predominante neste mapa é um grande baixo de direção NE (CC), situado na porção noroeste da área. Ao sul deste, aparece um grande patamar (CG), que evolui para o quasi-alto CA. Este quasi-alto, separa dois quasi-baixos de direção NNE (CE, CF). O quasi-baixo CE, é a continuação para sul do baixo CD, que possui direção aproximadamente E-W. Ao norte de CD, encontra-se um pequeno quasi-alto (CB), onde as curvas de contorno entre CB e CD, são paralelas e têm direção NW, coincidente com a direção da Falha de Mata-Catu. Ao norte do quasi-alto CB, aparece um pequeno quasi-baixo (CH) que evolui para o baixo CC. Na porção norte da área, aparece um quasi-baixo (CI) de direção NE, que também evolui para o

baixo CC. Comparando este mapa com o mapa do campo regional (Figura 6.5), percebe-se que o método aplicado, melhorou a resolução de algumas feições em relação ao campo regional, e ao mesmo tempo manteve as principais características do mesmo.

O campo residual da Figura 6.6 foi transformado em um mapa de contrastes de densidade aparentes (Figura 6.9), empregando a metodologia descrita no Capítulo 3, onde foi presumido valor de 0,5 km para a profundidade do topo e 1,0 km para a espessura da placa que presumivelmente contém as fontes anômalas. O mapa da Figura 6.9 permite delinear aproximadamente os limites horizontais das fontes causadoras das anomalias, através das curvas de contorno correspondentes à metade do valor máximo do contraste de densidade aparente, de cada anomalia isolada. O mapa de contornos horizontais das fontes é mostrado na Figura 6.10.

O mapa de contrastes de densidade aparentes (Figura 6.9), bem como o mapa de anomalia residual (Figura 6.6), mostram que na porção central da bacia (regiões I e H na Figura 6.6) não há fontes anômalas, a não ser ao longo da Falha de Mata-Catu (G na Figura 6.6). As fontes, concentram-se nas bordas da bacia, estando na maioria das vezes alinhadas segundo as principais direções de falhamentos na bacia (NE e NW).

Para se obter profundidades relativas entre os vários corpos causadores da anomalia residual foram construídas para cada fonte numerada na Figura 6.10, famílias de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessuras. A análise desses gráficos visa obter as relações semi-quantitativas entre as profundidades do topo das diversas fontes. Para tal, foram empregados os critérios já discutidos na seção 3.2.8. Assim sendo, as famílias de curvas foram divididas em dois grandes grupos: as produzidas por corpos muito rasos (Figura 6.11) e as produzidas por corpos rasos (Figuras 6.12 a 6.14). A Figura 6.15 mostra, em planta, as fontes anômalas segundo a classificação acima.

Como ilustração da utilidade das curvas acima discutidas, é feita uma interpretação semi-quantitativa da família de curvas para o corpo 7a (Figura 6.13b). De acordo com o critério estabelecido no Capítulo 3 determinou-se o limite inferior para a profundidade do topo do corpo 7a em 0,7 km de profundidade. Da interpretação do campo regional, sabemos que o embasamento neste local, está localizado a 2,8 km de profundidade. Este valor é tomado como limite para a profundidade da base da fonte residual. Dentro de uma bacia sedimentar, é muito difícil a ocorrência

de contrastes de densidade superiores a  $400 \text{ kg/m}^3$ ; portanto, toma-se este valor como o limite superior para este parâmetro. Analisando a família de curvas do corpo 7a e levando em conta os limites para a profundidade da base e contraste de densidade definidos acima, é possível determinar o limite superior para a profundidade do topo deste corpo, em 1,6 km de profundidade, associado à espessura de 1,2 km. Alternativamente, fixando a profundidade do topo em 0,7 km é possível estabelecer também, limites mínimo e máximo para a espessura da fonte, este são respectivamente, 0,7 e 2,1 km.

É importante reafirmar, que as famílias de curvas concentram toda informação sobre os parâmetros contraste de densidade, profundidade do topo e espessura. Desta forma, estas famílias de curvas estão disponíveis, para futuras interpretações semi-quantitativas, ou quantitativas a partir da introdução de informação independente.

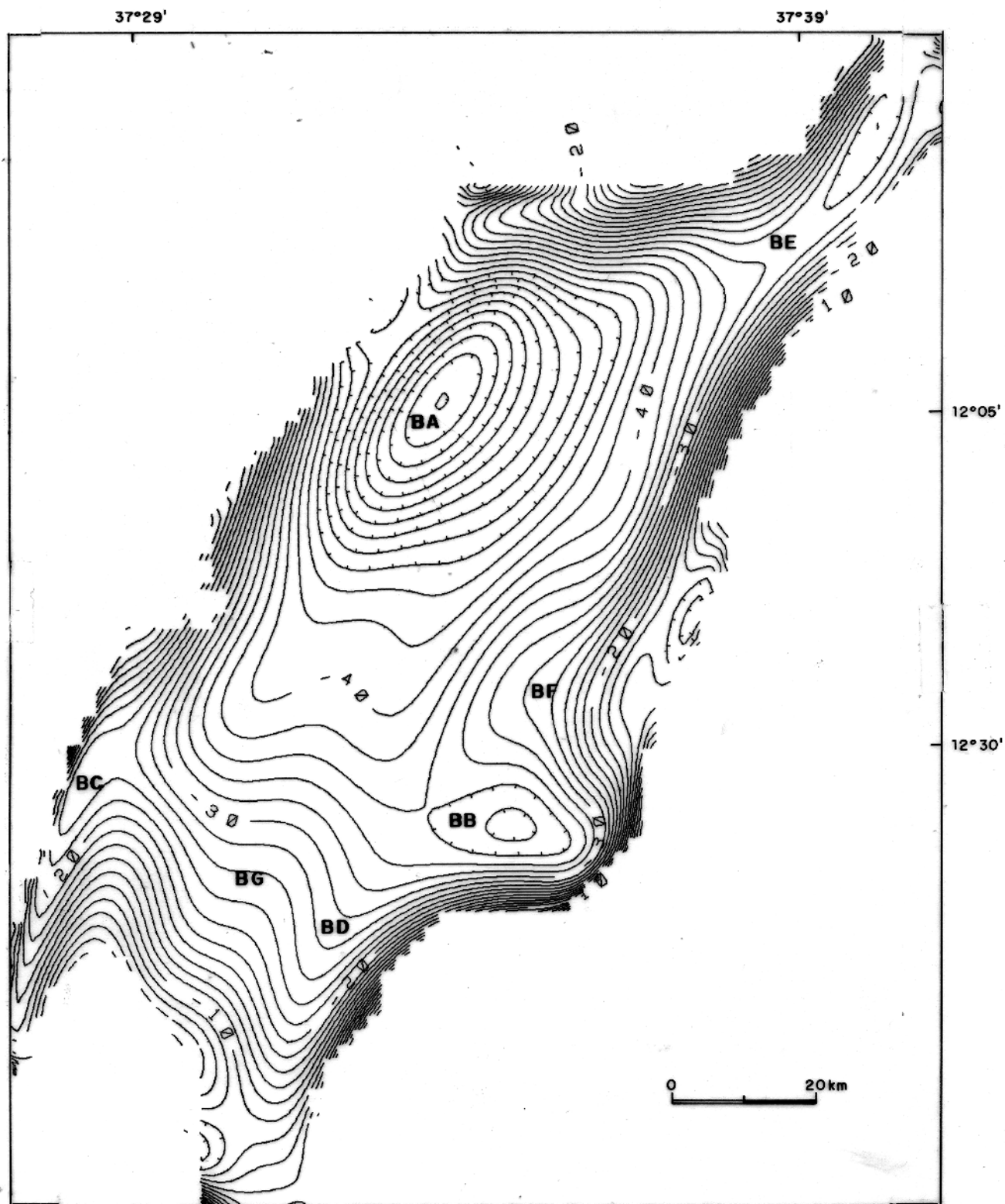


Fig. 6.5— Mapa do Campo regional da área estudada, obtido pela aplicação do método robusto a anomalia Bouguer corrigida da Figura 6.4, utilizando um polinômio de ordem 13. Intervalo de contorno  $2 \times 10^4$ g.

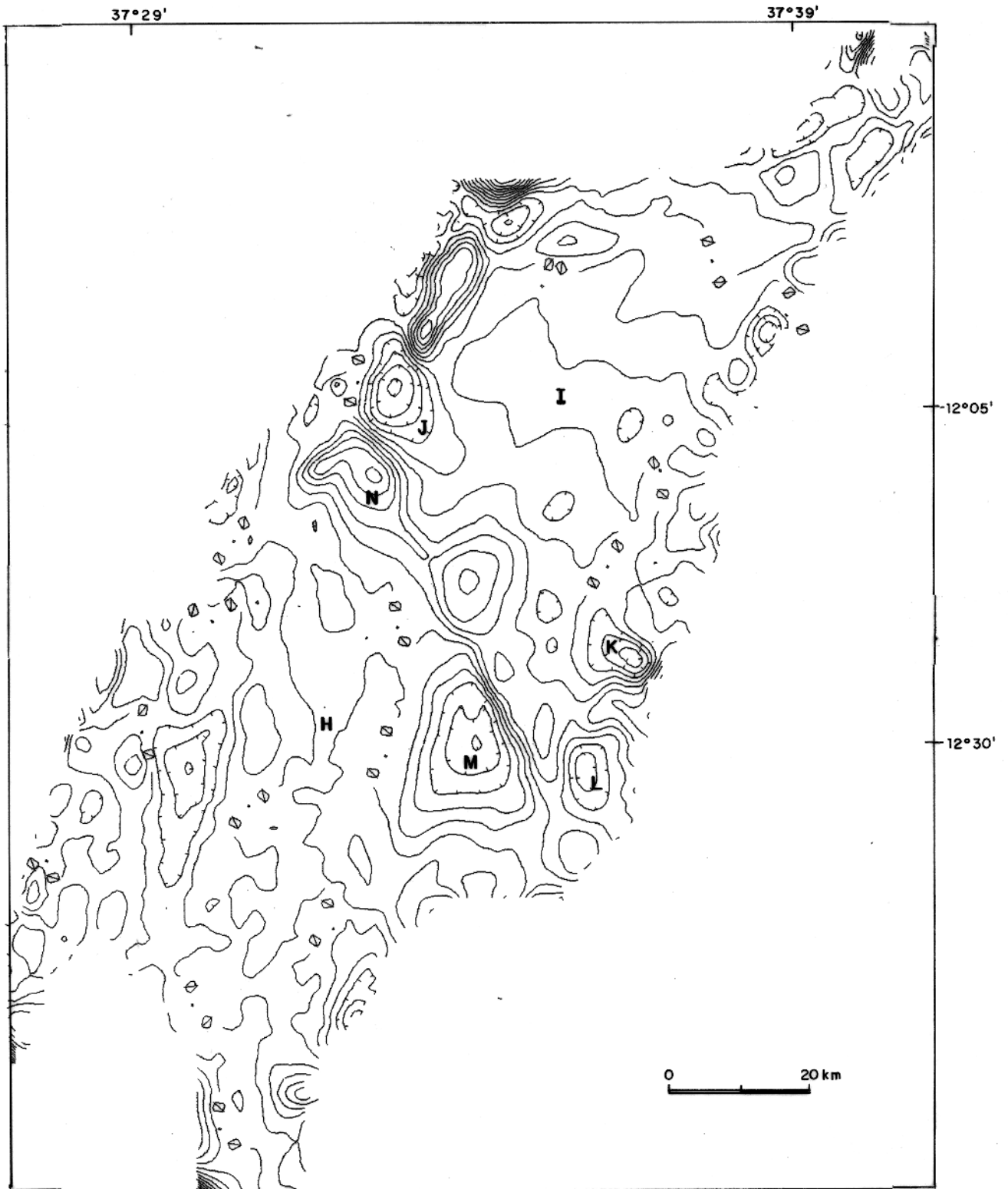
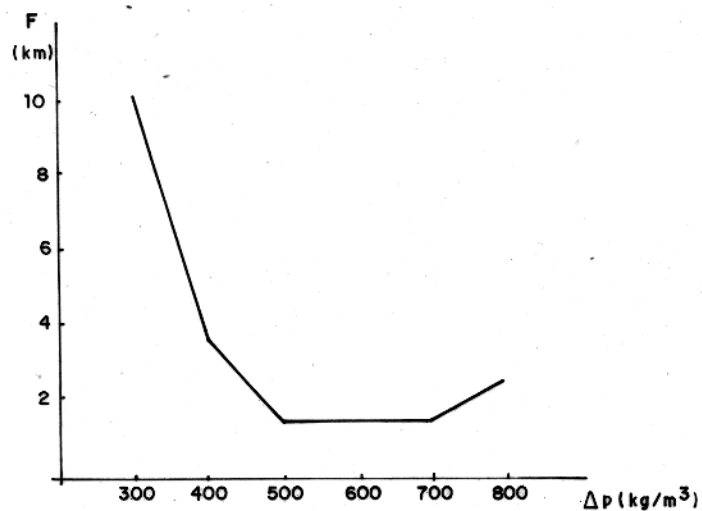
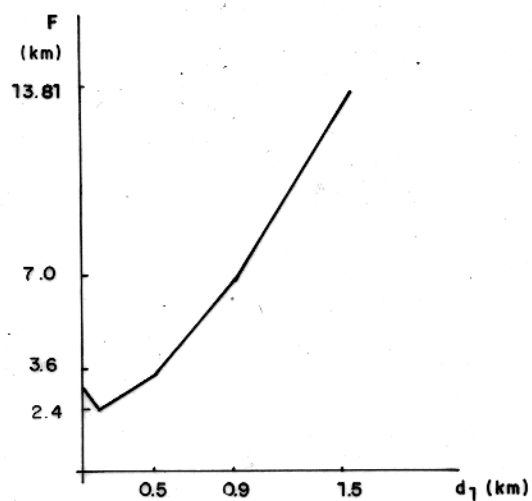


Fig. 6.6— Mapa do campo residual da área estudada, obtido pela subtração do regional ordem 13 da Figura 6.5 do campo da Figura 6.4. Intervalo de contorno  $2 \times 10^4$ .





( a )



( b )

Fig. 6.8- Gráficos da mínima função objeto versus (a) contraste densidade, (b) nível de continuação.

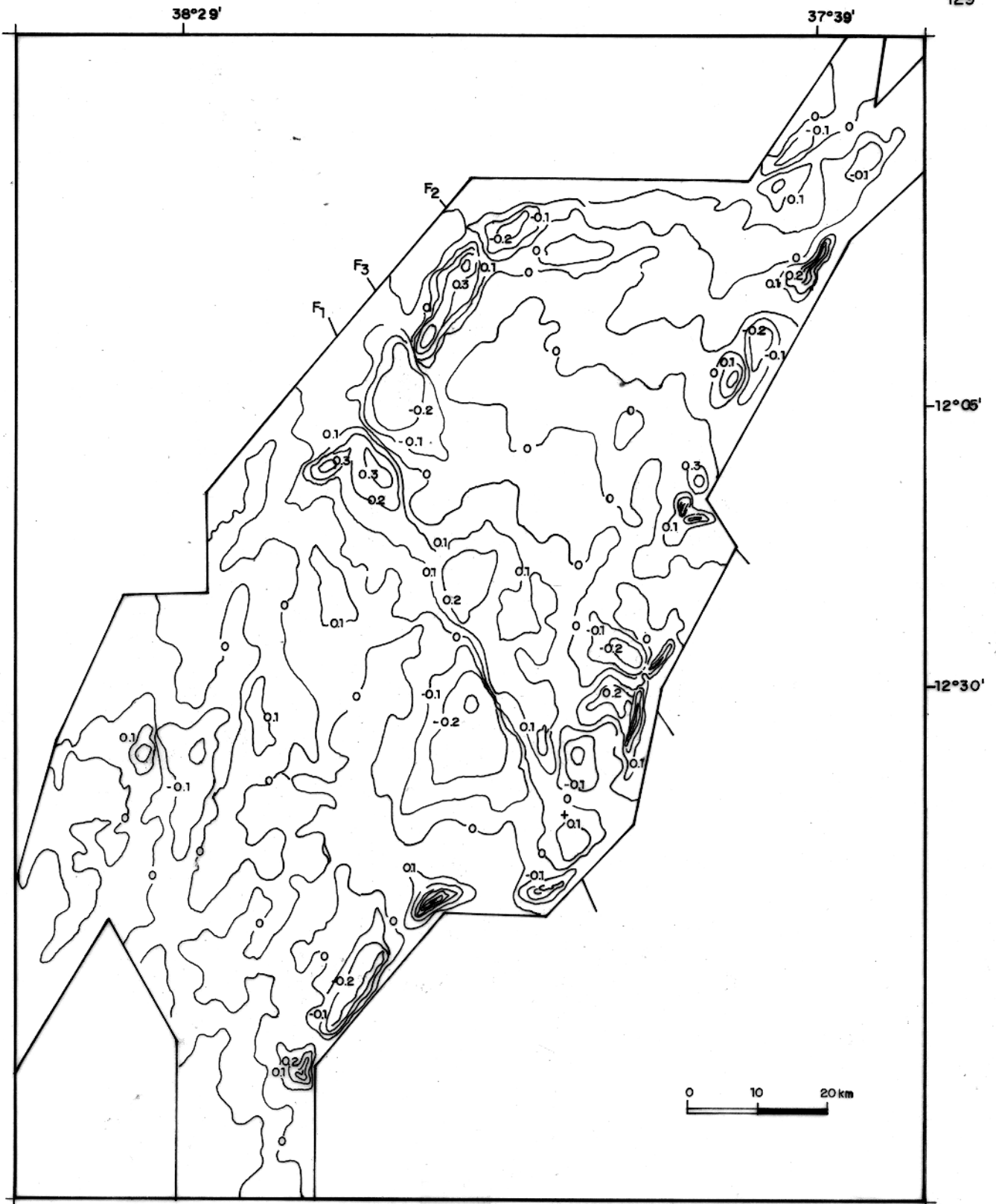


Fig. 6.9— Mapa de contraste de densidade aparente para a área estudada, obtido pela transformação do campo residual da Figura 6.6, discretizando-se a placa que presumivelmente contém as fontes, em prismas com espessura de 1,0 km e profundidade do topo de 0,5 km e empregando-se  $k=0,2$ . Intervalo de contorno  $0,1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

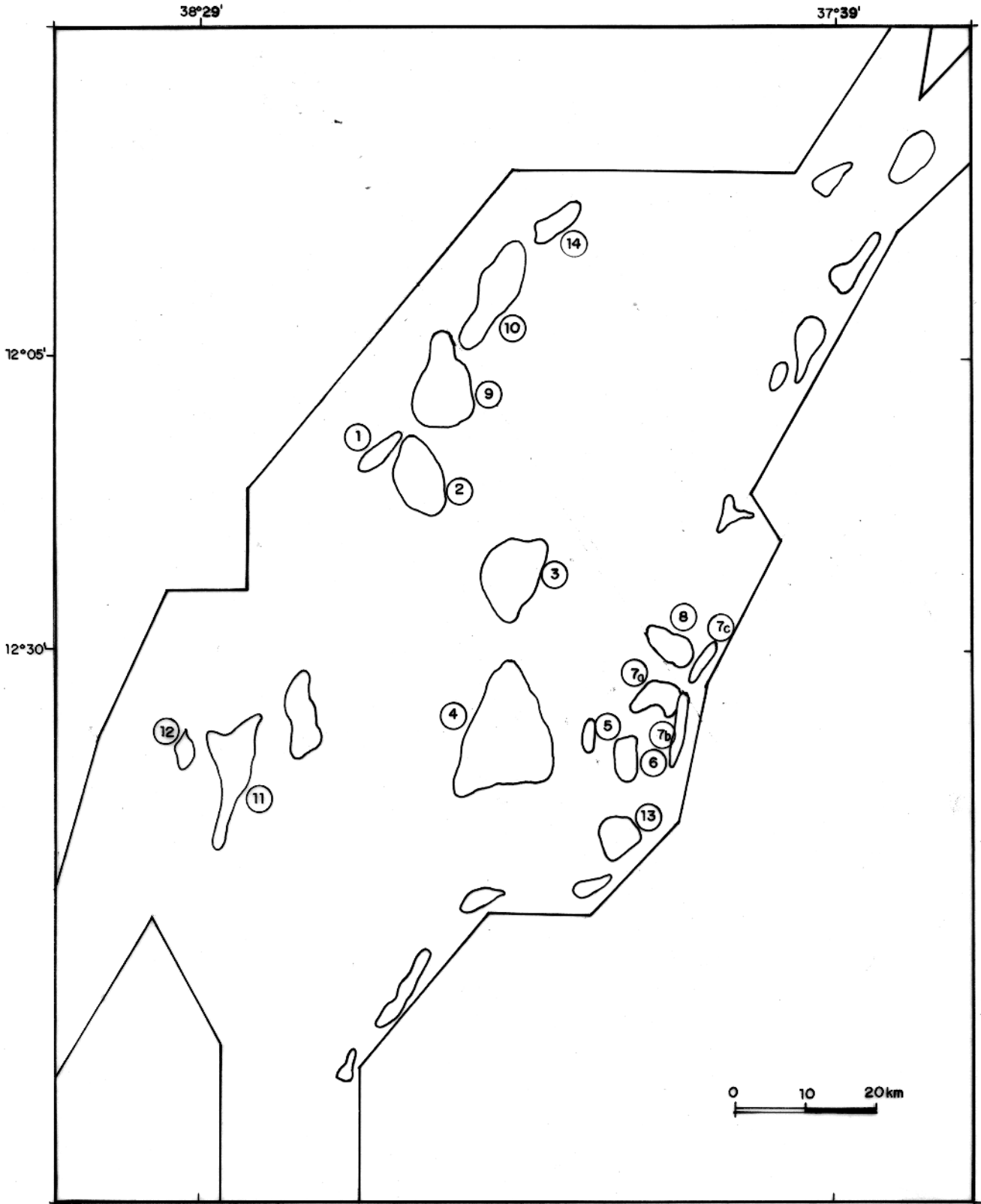
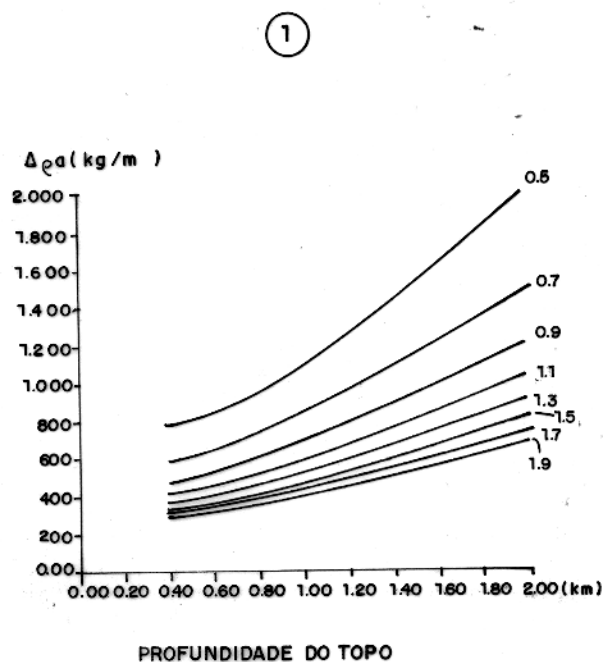
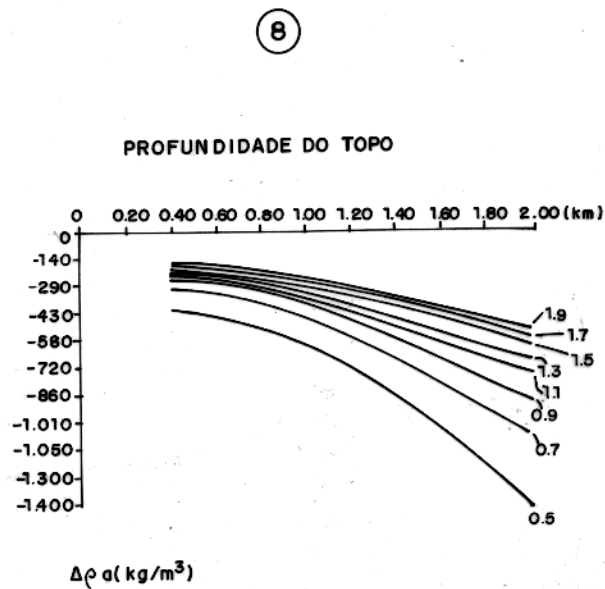


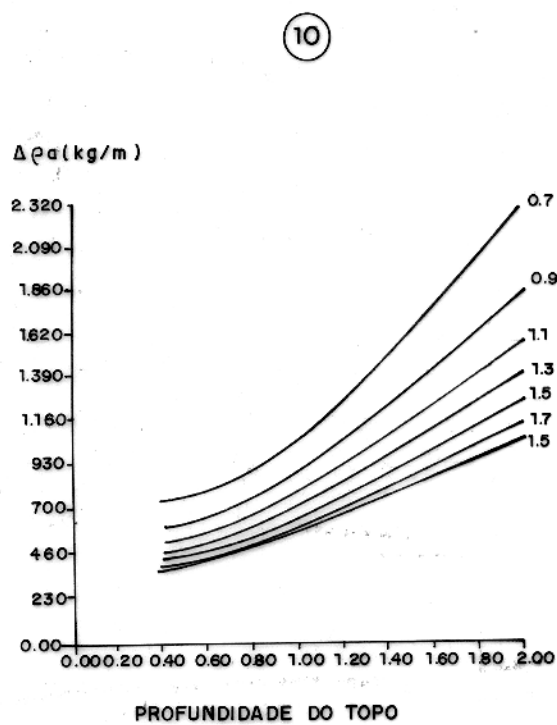
Fig. 6.10— Contornos laterais dos corpos causadores da anomalia residual, delineados no mapa de contrastes de densidade aparente (Figura 6.9).



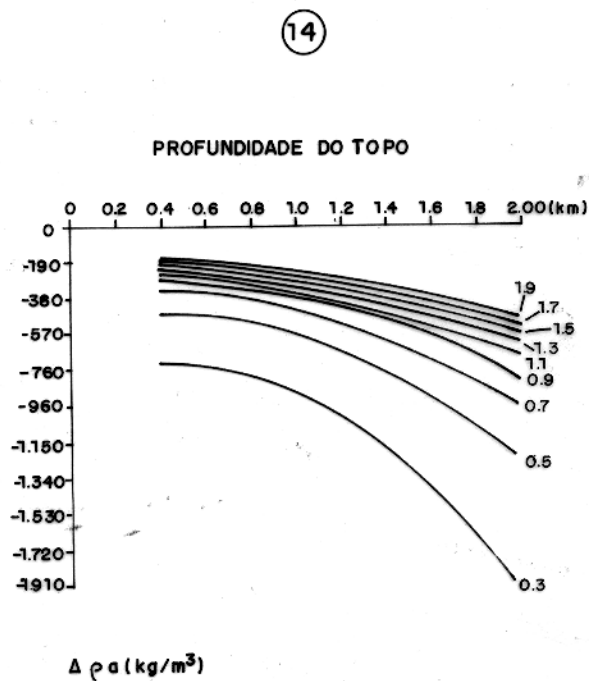
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.6.11— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 1, (b) 8, (c) 10, (d) 14. Espessura em km.

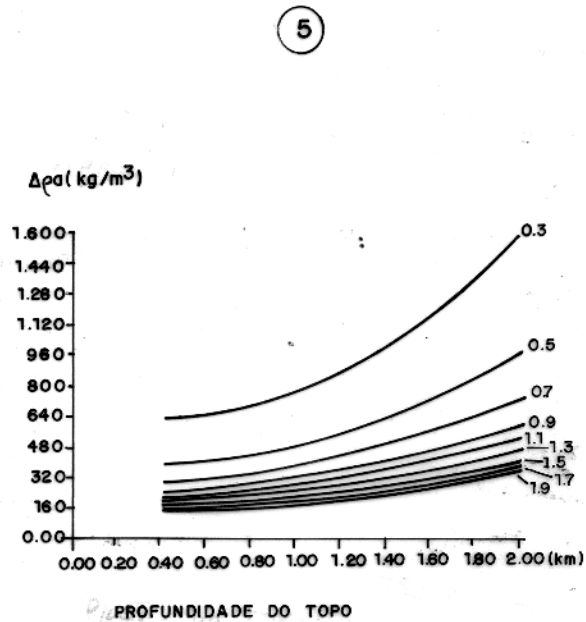
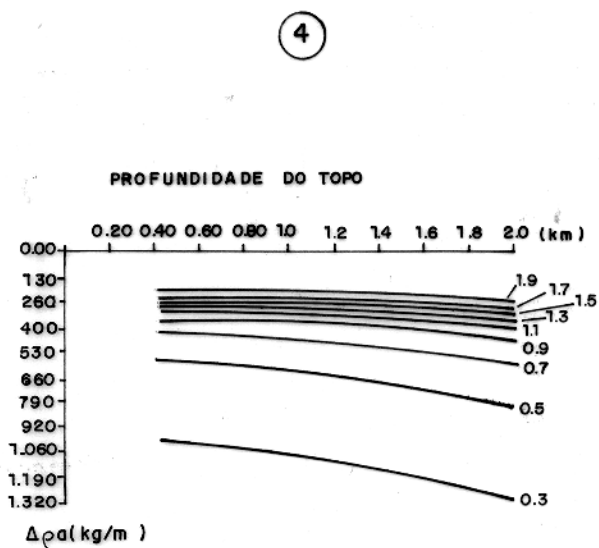
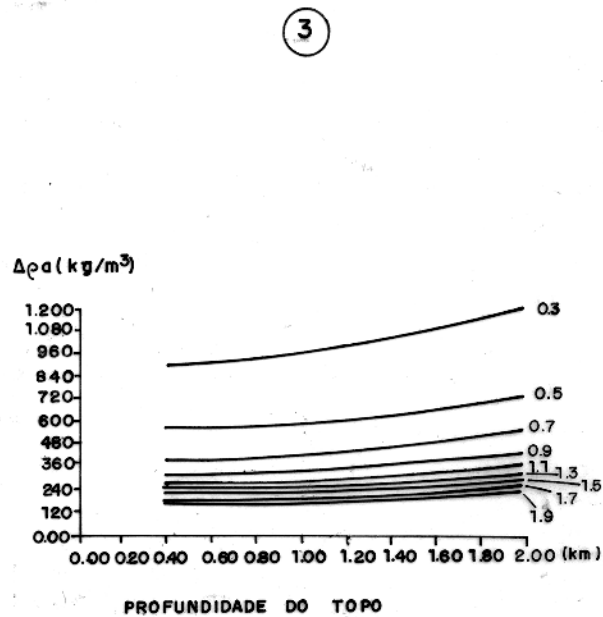
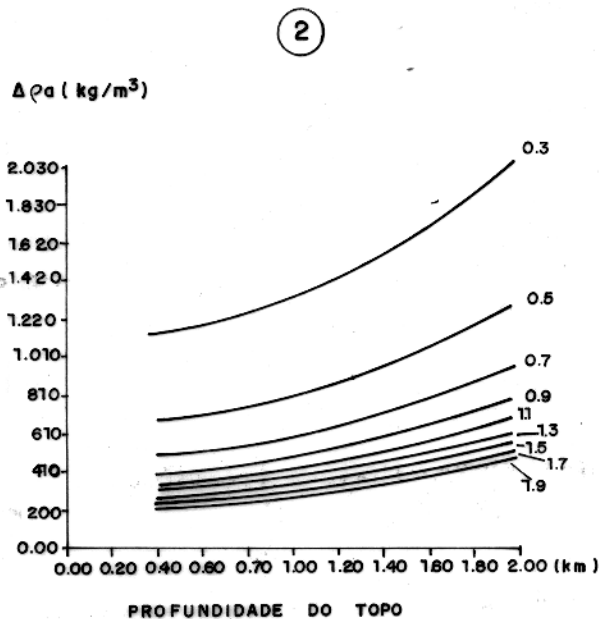
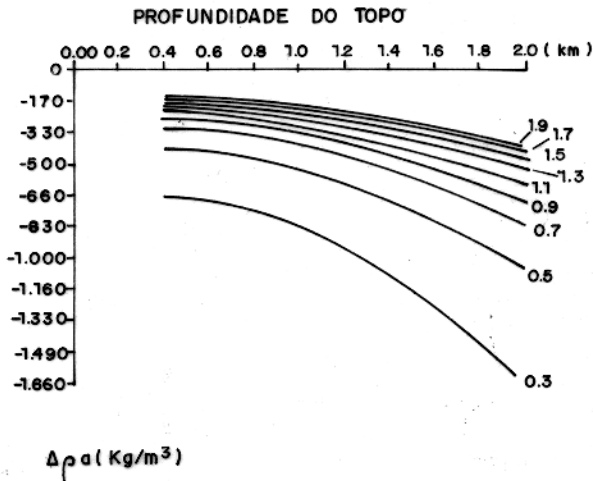


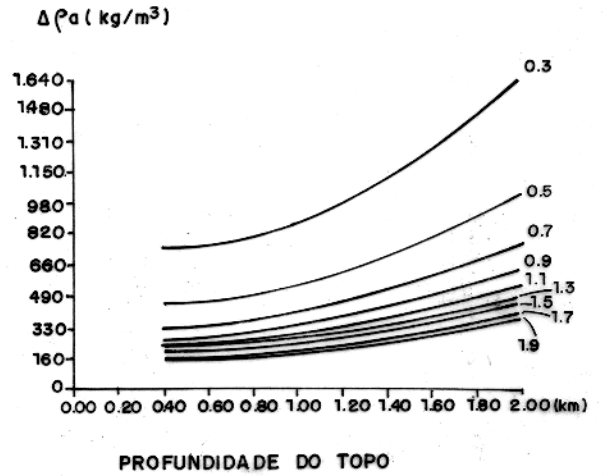
Fig.6.12— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 2, (b) 3, (c) 4, (d) 5. Espessura em km.

6



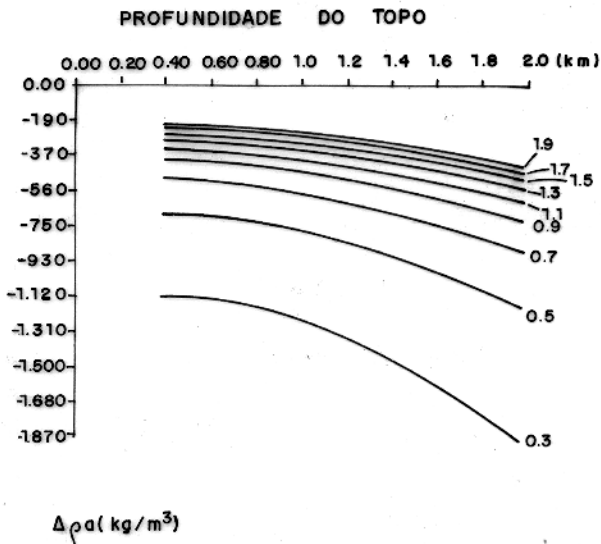
(a)

7



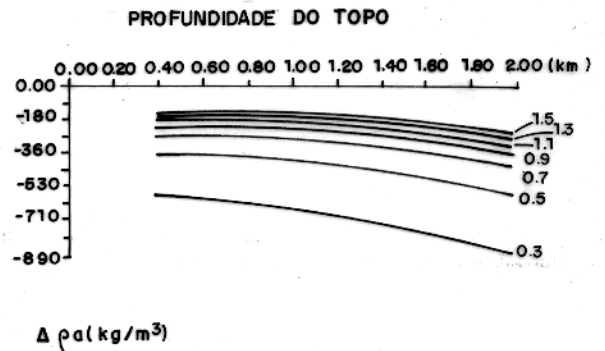
(b)

9



(c)

11



(d)

Fig.6.13- Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 6, (b) 7, (c) 9, (d) 11. Espessura em km.

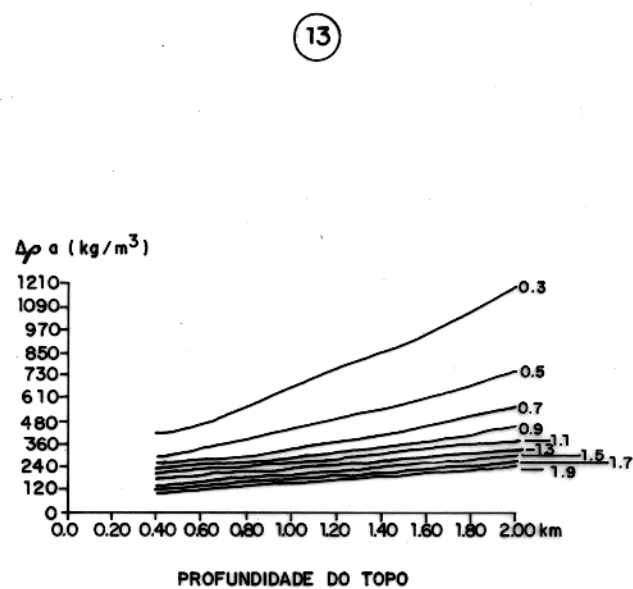
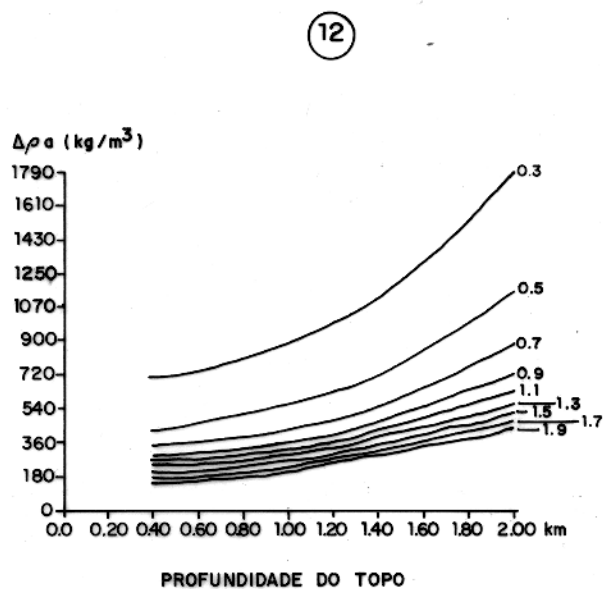


Fig.6.14— Família de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo para diversos valores de espessura para os corpos, (a) 12, (b) 13. Espessura em km.

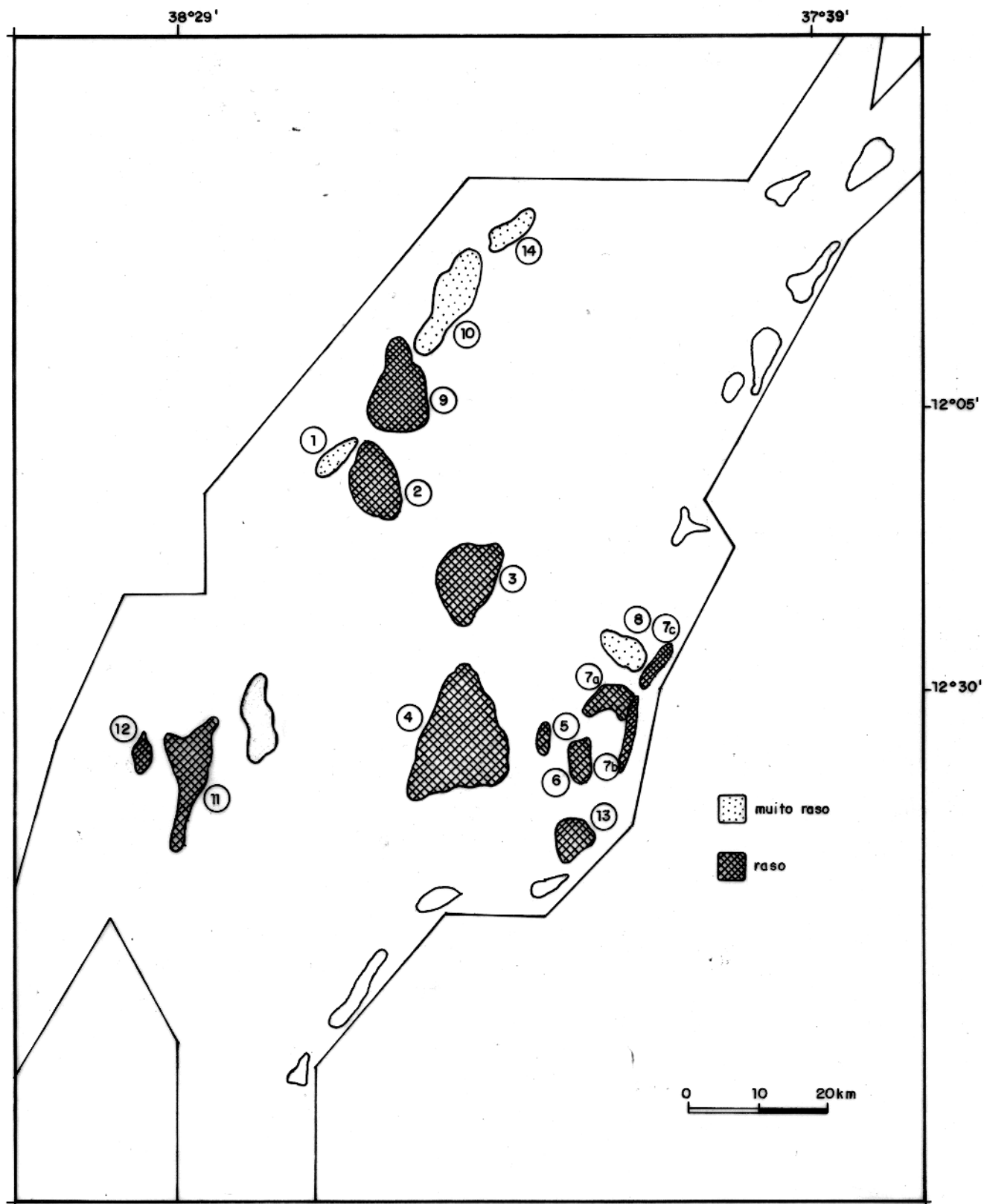


Fig. 6.15— Mapa de profundidades relativas para os corpos mapeados, baseado na interpretação da família de curvas dos corpos numerados.

#### 6.4—Integração

O mapa do relevo do embasamento obtido pelo método proposto (Figura 6.7), mostra feições estruturais de caráter regional. Comparando o mapa da Figura 6.7, com o mapa do arcabouço estrutural da Bacia do Recôncavo (Figura 5.4) fornecido pela PETROBRÁS, percebe-se que as feições mapeadas na Figura 6.7 correspondem aos seguintes elementos estruturais conhecidos da bacia. Baixo de Alagoinhas (baixo CC na Figura 6.7), Patamar de Cassarongongo (patamar subhorizontal CG), Patamar de São Domingos (quasi-alto CA), Blocos Basculados de Fazenda Ipiranga e Santo Amaro (baixo CF), Baixo de Camaçari (baixo CD e quasi-baixo CE), Baixo de Miranga (CB e CH) e Baixo de Quiambina (CI).

De um modo geral, pode-se afirmar que o método de interpretação apresentou excelentes resultados qualitativos, mapeando as principais feições do embasamento da bacia. As estimativas das profundidades do relevo do embasamento obtido pelo método, são comparadas com aquelas obtidas por Milani (1985) (Figuras 6.16 a 6.18), através dos perfis A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', cujas localizações estão assinaladas na Figura 6.7.

As seções A-A', B-B' (Figura 6.16a, b respectivamente) e C-C' (Figura 6.17a), são transversais ao Baixo de Quiambina (CI na Figura 6.7) e mostram que o embasamento mergulha na direção SW, concordando com o mergulho da interface fornecida pelo método. Além disso, percebe-se nas Figuras 6.16 e 6.17 que as profundidades nas referidas seções estão próximas das profundidades obtidas pelo método proposto.

As seções D-D' (Figura 6.17b) e E-E' (Figura 6.18a) são transversais aos Baixos de Alagoinhas (CC na Figura 6.7) e Miranga (CB, CH). Comparando estas seções com as estimativas de profundidade do embasamento produzidas pelo método, percebe-se que, na região do Baixo de Alagoinhas há uma inversão das estimativas das profundidades. Nas seções D-D' e E-E', o referido baixo apresenta profundidades mais rasas (em torno de 3,0 km) do que as fornecidas pela interpretação gravimétrica proposta (em torno de 4,6 km). O ponto coincidente entre as duas interpretações, é a extensão dessa estrutura nas seções, em torno de 40 km, o que demonstra que o Baixo de Alagoinhas e o denominado Patamar Mata-Araçás (Figura 5.4) formam uma única estrutura de caráter regional. Aliás, este fato já foi comentado por Netto et al. (1984) quando da definição do Patamar Mata-Araçás, onde, para os autores, esta é uma feição cujo limite oeste

não é bem definido, passando suavemente, por mergulho, para o Baixo de Alagoinhas. Ainda segundo Netto et al. (1984), na região do Baixo de Alagoinhas, os registros sísmicos possuem baixa qualidade, o que pode explicar a subavaliação das profundidades neste baixo na interpretação de Milani (1985). Para explicar a forte anomalia gravimétrica devida a este baixo (Figura 6.4) com as profundidades determinadas pela sísmica, seria necessário um contraste de densidade extremamente alto, maior do que  $500 \text{ kg/m}^3$ . Por outro lado, na região do Baixo de Miranga e borda leste da bacia, as estimativas de profundidades do embasamento produzidas pelo método proposto, estão próximas das profundidades fornecidas por Milani (1985).

Percebe-se que as feições CB e CH na Figura 6.7 são pequenas, estando quase no limite da resolução do campo gravimétrico, devido ao fato do Baixo de Miranga ser uma feição estreita, conforme evidenciado na Figura 5.4, onde a porção norte desta estrutura apresenta extensão de 22 km, enquanto na porção sul a extensão é de apenas 9 km. O reflexo deste estreitamento pode ser visualizado na Figura 6.7. Na parte norte, onde a feição é mais larga, aparece o quasi-baixo CH. Na parte sul, onde esta é mais estreita, surge um pequeno quasi-alto (CB), em função da presença de porções adjacentes mais rasas do embasamento. A passagem do quasi-baixo CH para o quasi-alto CB, se dá na região da falha, possivelmente transcorrente, aqui denominada Falha Miranga-Alagoinhas. Dessa forma, ao norte da Falha Miranga-Alagoinhas o Baixo de Miranga é mais largo, enquanto ao sul, este é mais estreito.

A seção F-F' (Figura 6.18b) é longitudinal ao longo da Bacia do Recôncavo (Figura 6.7), atravessando os Baixos de Miranga, Quiambina e a porção mais noroeste do Baixo de Camaçari. Verifica-se que de um modo geral, as estimativas de profundidades do embasamento obtidas pelo método proposto, estão próximas das estimativas da seção F-F'. A maior discrepância ocorre no Baixo de Camaçari, onde a profundidade do embasamento segundo Milani (1985) atinge 6,0 km, enquanto pelo método as estimativas estão em torno de 3,8 km. Isto ocorre, porque a faixa de máxima profundidade é muito estreita com cerca de 6,0 km no perfil da Figura 6.18b, de modo que o campo gravimétrico não apresenta resolução para isolar esta feição.

Analisando o mapa da Figura 6.7, percebe-se que os mergulhos do embasamento variam dentro da Bacia do Recôncavo, apresentando diferentes direções em cada uma das três sub-bacias mostradas na Figura 5.4. No Recôncavo Nordeste, a direção do mergulho é SW definida pela

direção principal do quasi-baixo CI (Figura 6.7); no Recôncavo Central, há duas direções principais para o mergulho do embasamento, na borda oeste, o mergulho tem direção SE e gradiente alto, já na borda leste o mergulho tem direção NW e gradiente mais suave; no Recôncavo Sul, a direção do mergulho é NNE.

De um modo geral, pode-se concluir que o método proposto apresentou bons resultados, tanto qualitativos quanto quantitativos, identificando as principais estruturas do embasamento da Bacia do Recôncavo. Além disso, as estimativas das profundidades obtidas estão próximas das verdadeiras (onde há informação de poços) e das fornecidas por outras interpretações. É importante ressaltar que a premissa de que a interface representando o embasamento é suave, é parcialmente violada na área estudada, mas mesmo assim, os resultados são bons.

Através do mapa de contrastes de densidade aparente (Figura 6.9), conseguiu-se, um modelo interpretativo para as fontes residuais da borda leste da bacia (Formação Salvador), e a identificação dos principais falhamentos que afetaram a bacia.

A Formação Salvador ocorre somente em uma faixa estreita com largura média de 10 km, acompanhando toda a extensão do limite leste da Bacia do Recôncavo. Esta formação é composta exclusivamente por conglomerados e arenitos. O mapa de isópacas da Formação Salvador (Figura 6.19) mostra que, nas proximidades da Falha de Salvador (Figura 5.4) o gradiente de espessamento ou adelgaçamento da Formação Salvador é muito mais acentuado, tornando-se mais suave para oeste à medida que se aproxima da isópaca zero, configurando portanto, como um todo, uma geometria em cunha para esta sequência. A interpretação dada por Netto et al. (1984) para estes sedimentos, é a de um sistema de leques subaquosos coalescentes (Figura 6.20), provindos da borda leste da bacia, com os sedimentos grosseiros sendo depositados por diversos processos gravitacionais tais como, fluxo de lama, fluxo de detritos, fluxo de grãos e correntes de turbidez. Todos esses processos, estiveram intimamente relacionados com o rompimento por falha da borda leste da Bacia do Recôncavo.

Comparando o mapa de contrastes de densidade aparentes (Figura 6.9) com o mapa de isópacas da Formação Salvador (Figura 6.19), percebe-se que as fontes estreitas e alongadas da borda leste da bacia, são bem semelhantes à configuração das isópacas dos conglomerados (espessamentos e adelgaçamentos). Desse modo, o modelo interpretativo de Netto et al. (1984) explicitado

acima, pode ser invocado para explicar as fontes residuais da borda leste mapeadas pelo método de interpretação utilizado. Por este modelo, as fontes estreitas e alongadas com contrastes de densidade positivo, representam os locais onde a cunha conglomerática é mais espessa. O corpo 7a (Figura 6.10) ilustra uma dessas fontes, e de acordo com a interpretação semi-quantitativa, feita na seção 6.3, com base nas famílias de curvas de contraste de densidade aparente versus profundidade do topo da placa (Figura 6.13b), este foi classificado como raso (Figura 6.15) e espesso, possuindo no mínimo 0,7 km de espessura. As fontes com contraste de densidade negativo, são explicadas dentro deste modelo, como sendo lentes de material menos denso, aprisionadas entre os leques de conglomerados. Essas lentes, seriam porções distais de turbiditos (siltitos e folhelhos) provindos da borda oeste (Figura 6.20).

O mapa de contrastes de densidade aparentes (Figura 6.9), permite ainda caracterizar três falhamentos transversais à Bacia do Recôncavo. O mais proeminente, está situado na porção central da bacia (F1 na Figura 6.9), e correspondente à Falha Transcorrente de Mata-Catu. Este falhamento é evidenciado no mapa de contrastes de densidade aparentes, pela forma alongadas dos corpos 2 e 4 (Figura 6.10) e pelo alinhamento, ao longo de toda extensão da falha, das curvas de contorno (Figura 6.9). O falhamento menos proeminente no mapa da Figura 6.9 é o situado na porção norte da bacia (F2 na Figura 6.9), correspondendo à Falha Transcorrente de Itanagra-Araçás. Os indícios de sua existência aparecem somente na porção NW da área, entre os corpos 10 e 14 (Figura 6.10). O terceiro falhamento (F3 na Figura 6.9), ainda não descrito na literatura e aqui denominado de Falha Miranga-Alagoinhas, situa-se entre os dois falhamentos mencionados acima. Sua presença pode ser detectada no mapa da Figura 6.9, através do alongamento do corpo 8 (Figura 6.10) na direção da falha, do deslocamento horizontal do corpo 7b em relação ao 7c (Figura 6.10) e através da descontinuidade no contraste de densidade aparente entre os corpos 9-10 e 7a-8 (Figura 6.10), de cada lado da falha. As evidências geológicas são dadas pelo mapa estrutural (Netto et al., 1984) da Figura 6.21. Neste mapa percebe-se, na região da Falha Miranga-Alagoinhas, a inversão dos mergulhos das camadas sedimentares. Além disso, percebe-se que todas as estruturas de direção NE (falhas e charneiras) apresentam inflexão na região da falha. Dessa maneira, com base no mapa de contrastes de densidade aparentes e evidências geológicas, interpreta-se a Falha de Miranga-Alagoinhas (F3 na Figura 6.9) como sendo uma falha transcorrente sinistral, ligando os Baixos de Miranga e Alagoinhas.

Através da análise semi-quantitativa feita para a profundidade do topo para os corpos da Figura 6.10 e interpretação de falhas no mapa de contrastes de densidade aparentes (Figura 6.9), foi possível a construção de um arcabouço estrutural simplificado (Figura 6.22), onde estão representados os falhamentos, com os respectivos movimentos verticais relativos.

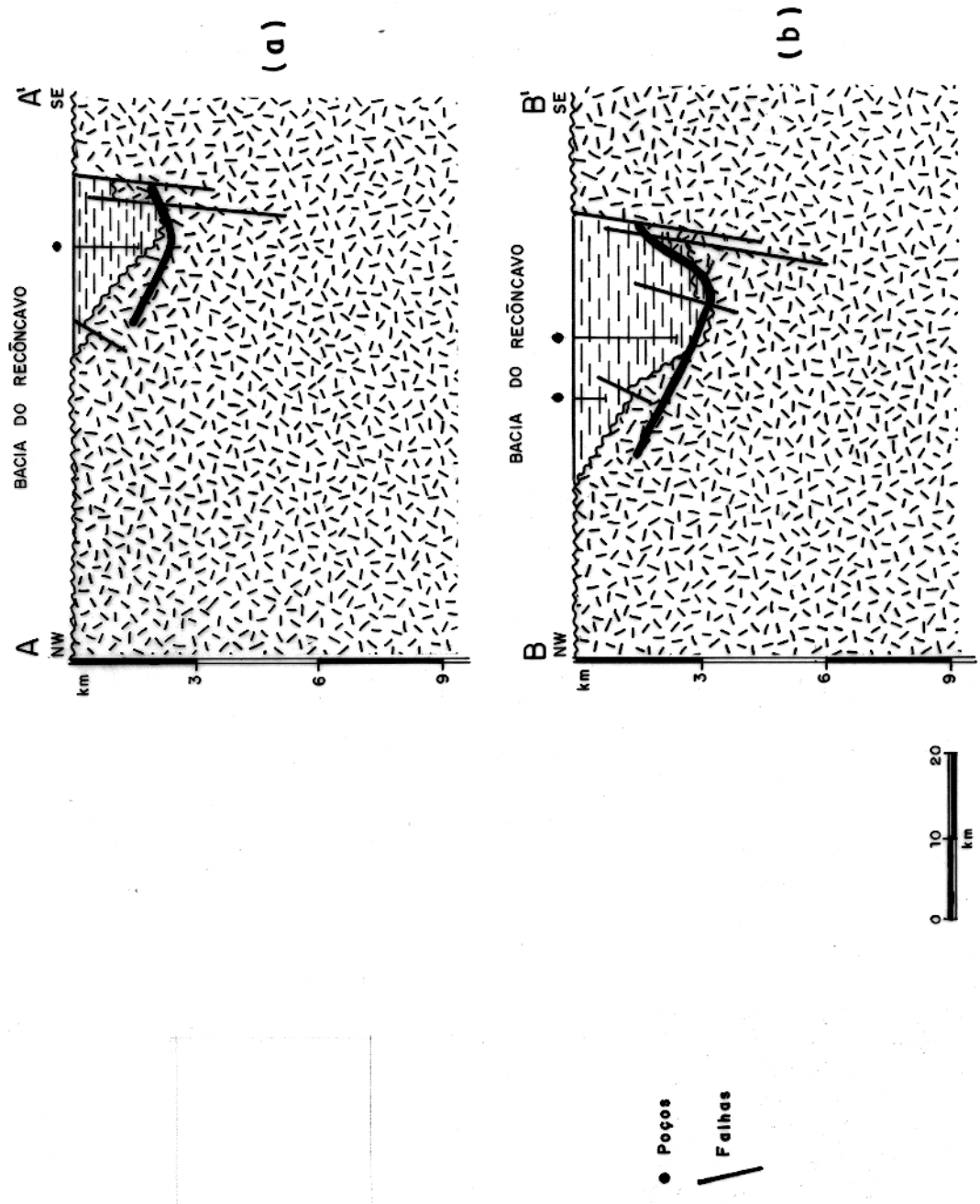


Figura 6.16—Seções geológicas (a) A—A' e (b) B—B', transversais à Bacia Recôncavo (modificado de Milani, 1985).

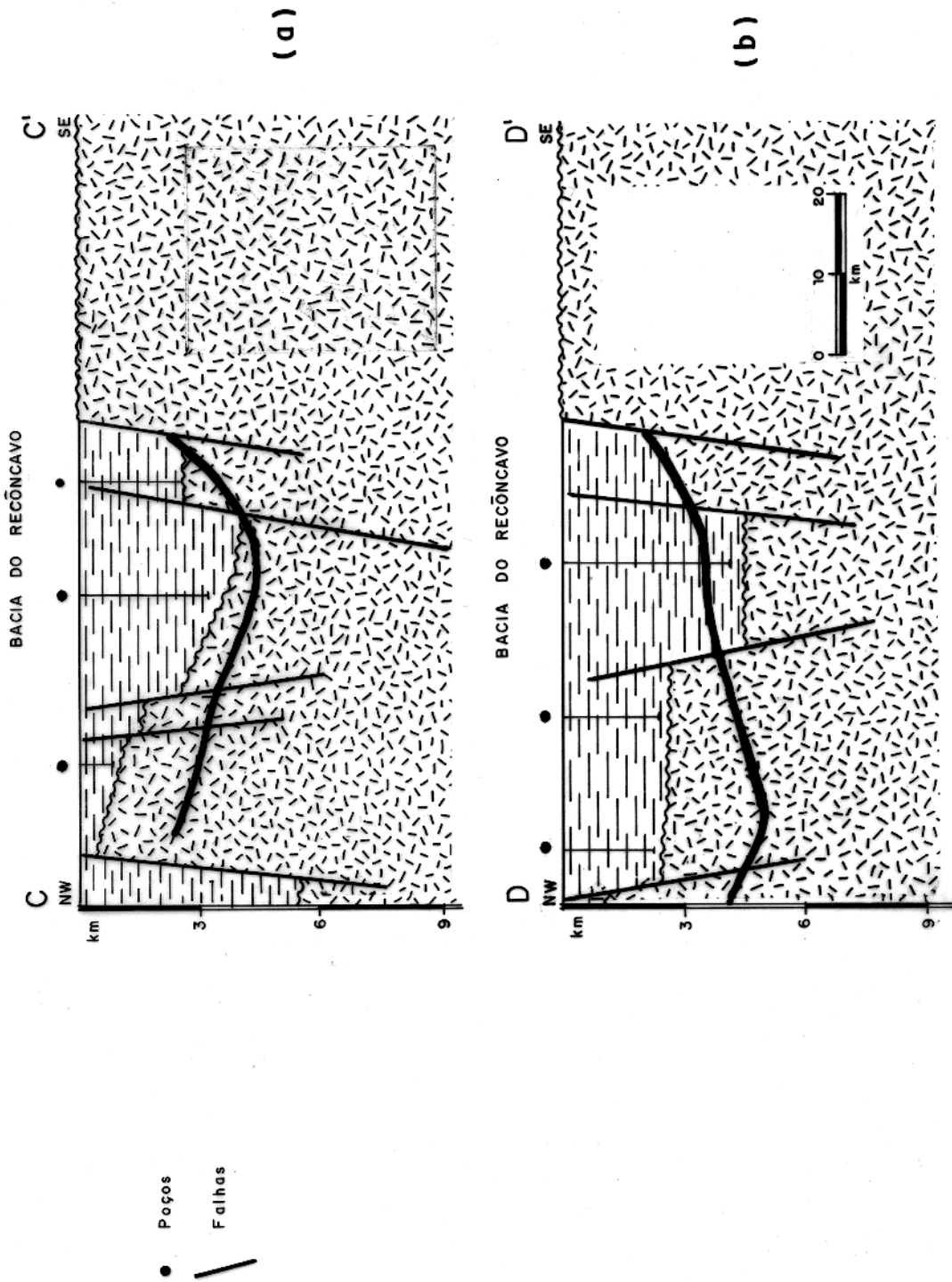


Figura 6.17—Seções geológicas (a) C-C' e (b) D-D', transversais à Bacia do Recôncavo. (modificado de Milani, 1985).

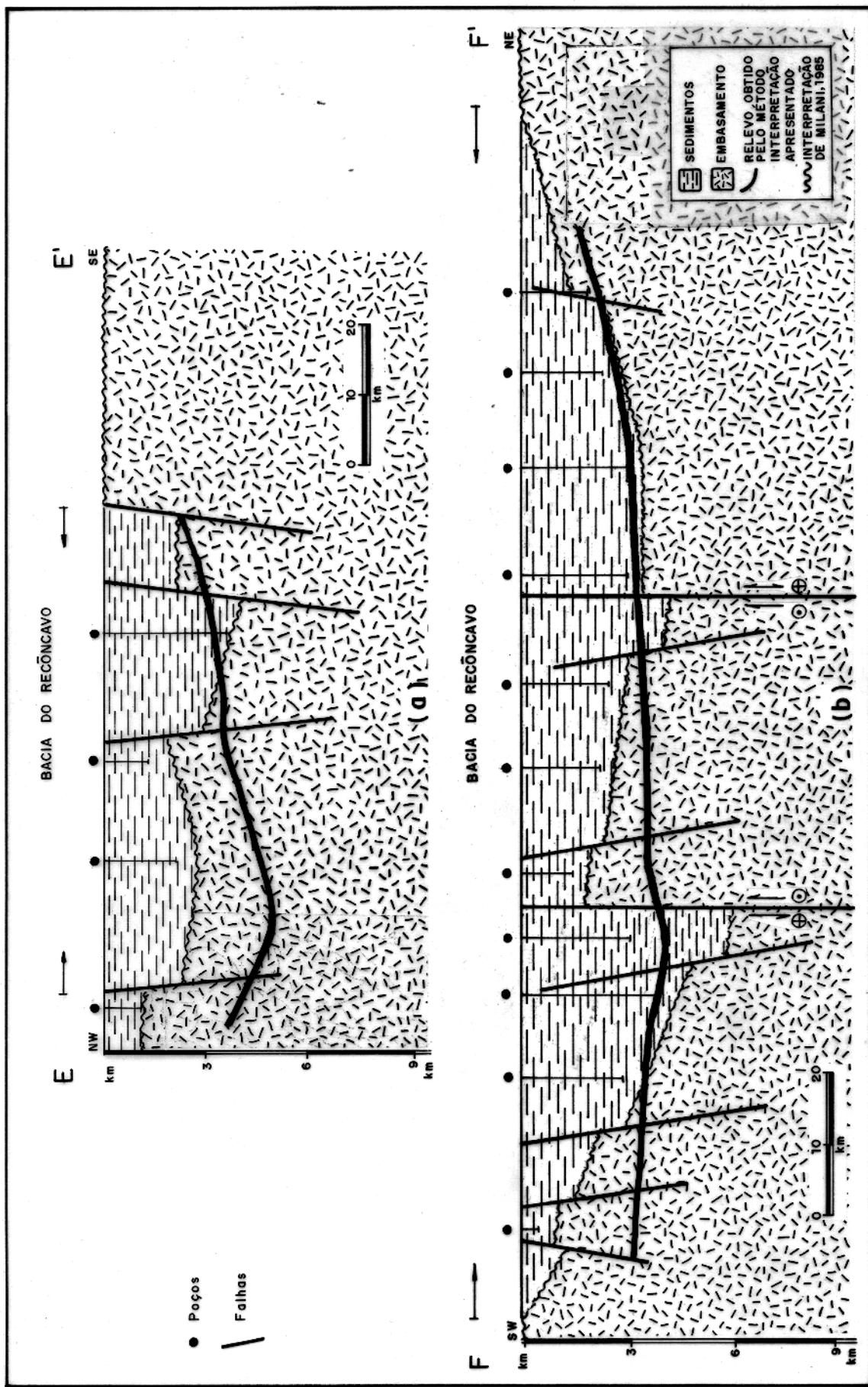


Figura 6.18 — Seções geológicas (a) E—E' e (b) F—F', respectivamente transversal e longitudinal à Bacia do recôncavo (modificado de Milani, 1965).

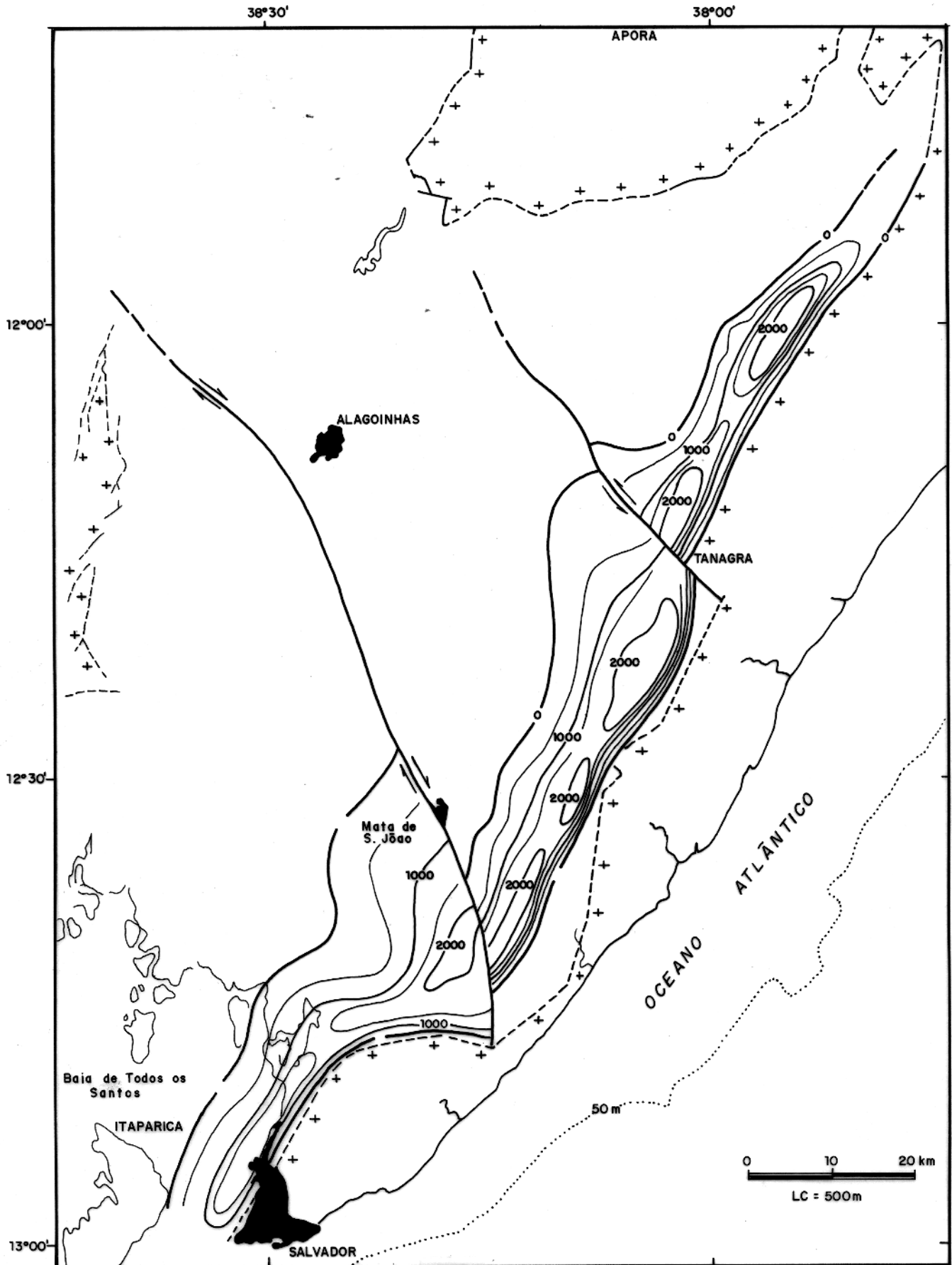


Fig. 6.19— Mapa de isópacas. Fanglomerados da borda leste da Bacia do Recôncavo (segundo Netto et al., 1984).

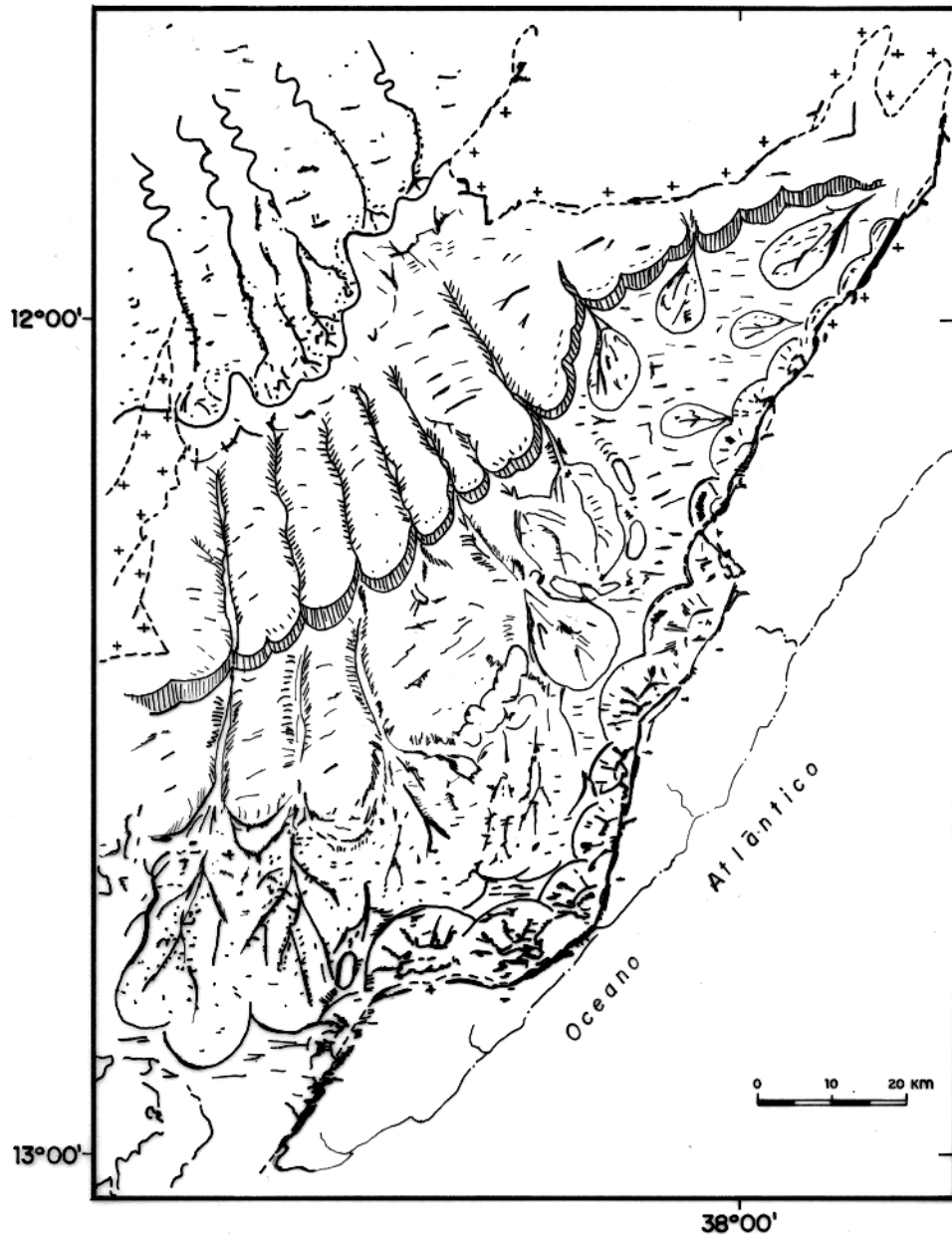


Fig. 6.20— Modelo deposicional esquemático da Formação Salvador (segundo Netto et al., 1984).



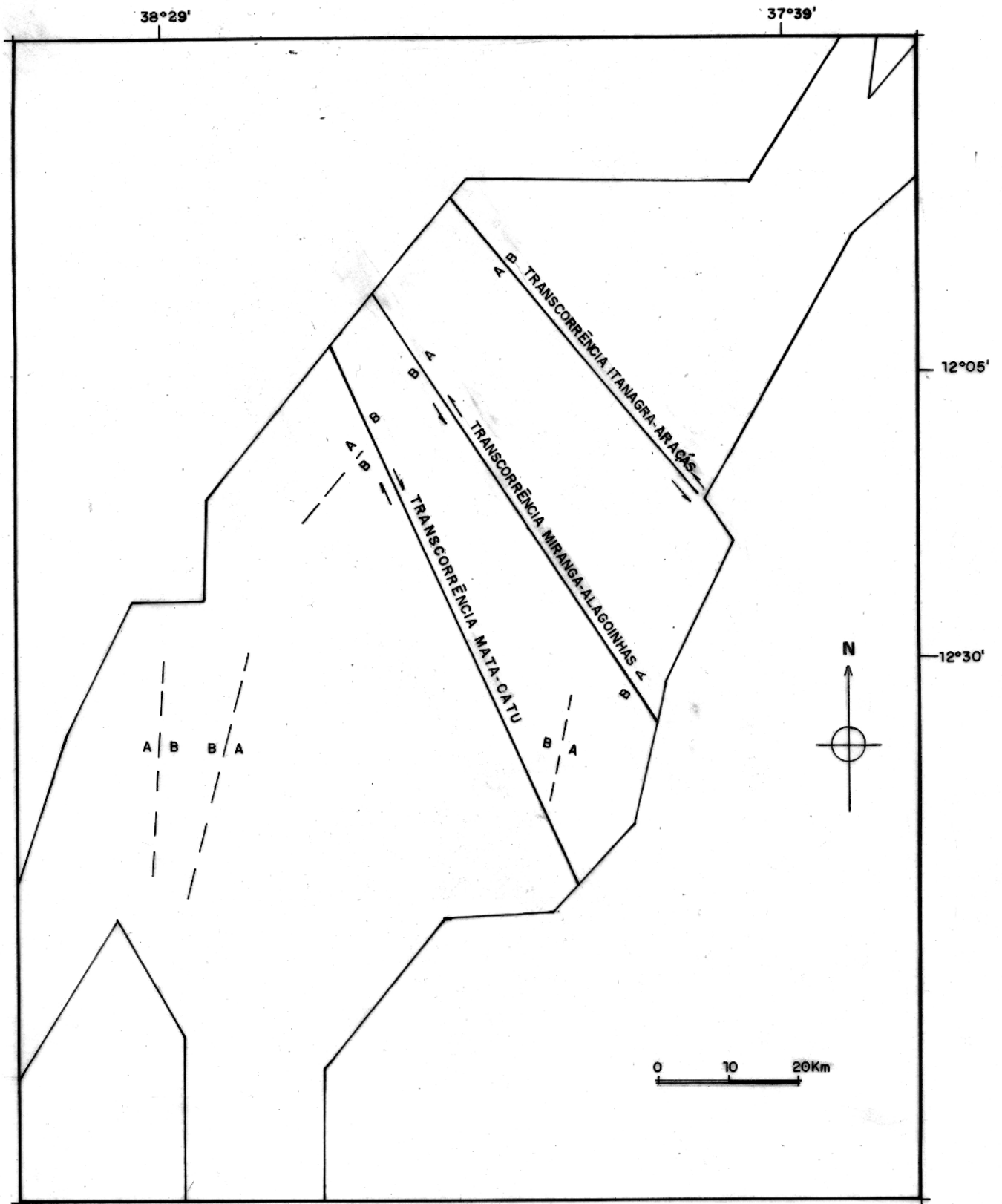


Fig. 6.22 – Arcabouço estrutural simplificado, construído com base na interpretação do mapa de contraste de densidade aparente.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma nova metodologia na interpretação de dados gravimétricos em bacias sedimentares, que consiste na separação regional-residual da anomalia Bouguer, seguida da interpretação das componentes, regional e residual. A separação regional-residual é feita através de método de ajuste polinomial robusto. A componente regional é interpretada como sendo causada por uma interface separando dois meios homogêneos. Através da introdução de informação sobre a profundidade da interface em um número de pontos conhecidos, é obtido um mapa de profundidades absolutas da interface. A interpretação da componente residual é efetuada através da metodologia do mapeamento de contrastes de densidade aparente e da construção dos gráficos contrastes de densidade aparentes versus profundidade do topo da placa para diversos valores de espessura da placa.

O método de separação regional-residual foi testado com dados sintéticos. Os resultados mostraram que o método minimiza a introdução de anomalias espúrias de sinais contrários aos verdadeiros, o que permite aproximar campos regionais complexos, os quais podem ser modelados quantitativamente de modo confiável. Além disso, o campo residual produzido pelo método, apresenta anomalias com amplitude, forma e gradiente muito próximos dos valores reais.

O método de interpretação da componente regional foi aplicado em dados sintéticos, onde as premissas necessárias para a aplicação do método foram parcialmente violadas. Mesmo assim, foram produzidos mapeamentos de interfaces bem próximas das estruturas reais. Além disso, os testes mostram, que não é crítica a necessidade de se conhecer a priori os parâmetros contraste de densidade entre os dois meios e a profundidade média da interface. Ambos podem ser estimados quando se conhecem as profundidades do embasamento em alguns pontos.

Na interpretação do campo residual, para valores fixos de profundidade do topo e espessura, o mapa de contraste de densidade aparente fornece estimativas confiáveis para os limites laterais dos corpos causadores da anomalia, com o mínimo de informação a priori sobre as fontes. As estimativas dos limites laterais das fontes e o mapeamento de estruturas ainda permanecem próximas aos valores reais, mesmo quando são presumidos valores, de profundidade do topo e espessura da

placa, diferentes dos verdadeiros. Dependendo da quantidade e qualidade da informação a priori independente disponível sobre o contraste de densidade, a profundidade do topo e a espessura da placa que supostamente contém as fontes, é possível fazer interpretações semi-quantitativas ou quantitativas, através de gráficos contraste de densidade aparente contra profundidade do topo da placa.

Esta nova metodologia no estudo de bacias sedimentares, foi aplicada em dados gravimétricos da Bacia do Recôncavo com o objetivo de mapear a geometria do relevo do embasamento desta bacia e detectar contrastes abruptos de densidade intra-sedimentares, possivelmente causados por falhamentos.

De um modo geral, o método de interpretação da componente regional, apresentou bons resultados não só qualitativos, mapeando as principais feições estruturais do embasamento da Bacia do Recôncavo, como também quantitativos, produzindo estimativas próximas da interface verdadeira (nos pontos onde ela é conhecida) e consistentes com interpretações anteriores. A principal feição de caráter regional detectada pela interpretação, é o denominado Baixo de Alagoinhas. No entanto, feições tidas como os principais depocentros da bacia em interpretações anteriores, os Baixos de Camaçari (6,0 km) e Miranga (4,5 km), foram subavaliadas (3,8 e 3,4 km respectivamente) devido ao limite da resolução do método gravimétrico na determinação de feições estreitas como estas. Foi detectado também, que o Baixo de Miranga sofre um estreitamento para sul na região da Falha de Miranga-Alagoinhas. Finalmente foi verificado que, sob as premissas estabelecidas para a interpretação do campo regional, os mergulhos do embasamento variam dentro da Bacia do Recôncavo; no Recôncavo Sul, este tem direção NNE; no Recôncavo Central, há duas direções principais, a primeira, SE com gradiente alto e a segunda, NW com gradiente mais suave; enquanto no Recôncavo Nordeste a direção é SW.

A interpretação da anomalia residual forneceu evidências para a identificação de falhamentos levando à construção de um arcabouço estrutural simplificado e à reafirmação de um modelo geológico propondo a existência dos conglomerados da Formação Salvador. Foram identificados dois conjuntos de falhas. O primeiro, de direção NNE é provavelmente constituído por falhas normais. O segundo tem direção NW, e é constituído por falhas transcorrentes. Duas das três falhas identificadas neste último conjunto, já são conhecidas na literatura: Mata-Catu e Itanagra-Araçás. A

terceira, identificada neste trabalho e denominada de Falha de Miranga—Alagoinhas, foi interpretada através do mapa de contrastes de densidade aparente e evidências geológicas.

É importante ressaltar, que o modelo para o relevo do embasamento e a descoberta de falhamentos que afetaram a Bacia do Recôncavo, obtidos pela metodologia desenvolvida neste trabalho, dificilmente teriam sido alcançados ao se interpretar a mapa de anomalia Bouguer original, ou mesmo o mapa Bouguer corrigido (retirado somente o efeito gravimétrico devido à interface crosta—manto).

No campo da geofísica, as principais extensões deste trabalho são:

- (a) Mapeamento da interface crosta—manto importante nos estudos estruturais e tectônicos da região. Para tal, é necessário a extensão dos dados gravimétricos para leste (Oceano Atlântico), de modo a conseguir uma melhor definição do comportamento da interface na região. É necessário também, introduzir informação sobre a profundidade desta interface em um número de pontos conhecidos, para a aplicação da metodologia de interpretação do campo regional apresentada, o que pode ser feito através da sismologia.
- (b) Interpretação quantitativa para fontes residuais, com utilização de informação vinda de furos de sondagem.

No campo da geologia, as principais sugestões para futuros trabalhos são:

- (a) Re—exame do conhecimento sobre a feição denominada Baixo de Alagoinhas, antes considerada rasa (3,0 km) e estreita (16,0 km na sua porção mais larga). Entretanto, os resultados mostram que esta é mais profunda e larga, do que o admitido atualmente.
- (b) Direcionamento de estudos na Falha de Miranga—Alagoinhas, uma vez que, este é um dado novo na Bacia do Recôncavo, além de ser uma área interessante para a pesquisa petrolífera.

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. João Batista C. da Silva, pelo estímulo, sugestões, discussões, amizade e principalmente pela orientação deste trabalho.

À Dra. Jacira F. Beltrão pelas discussões, sugestões e correções do texto.

Ao Dr. Marco Polo P. da Boahora pelas sugestões e correções do texto.

Ao Msc Jorge Jorge W. D. Leão pelo auxílio na otimização de programas, sugestões e correções do texto.

Ao geofísico Julio C. Lírio pela ajuda na coleta de material sobre à Bacia do Recôncavo.

Aos funcionários e a administração da Geofísica Aplicada à Exploração de Petróleo.

Ao Dr. Carlos A. Dias pelas excelentes condições de trabalho do projeto UFPA/PETROBRÁS.

Aos colegas de percurso, pelo excelente convívio durante esses dois anos e meio.

A meus pais, pelo constante estímulo ao longo dessa árdua jornada.

À Eliani, minha esposa, companheira nesta caminhada, por seu estímulo, compreensão e apoio durante as diferentes etapas do desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELRAHMAN, E.M.; RIAD, S.; REFAI, E.; AMIN, Y., 1985, On the least-squares residual anomaly determination. *Geophysics*, 50, 473-480.
- AGOCS, W.B., 1951, Least-squares residual anomaly determination. *Geophysics*, 16, 686-696.
- AMEELY, L., 1956, Description of results of gravimetric survey in Recôncavo of residual values derivatives. PETROBRÁS, rel. 503.
- AMEELY, L.; ROSENFELD, D., 1953, First interim report of gravity meter survey in the Recôncavo Basin. PETROBRÁS rel. 353.
- ASMUS, H.E.; PORTO, R., 1972, Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. *Anais do XXVI Cong. Bras. Geol.*, v. 2, 67-90.
- BELTRÃO, J.F., 1989, Uma nova abordagem para interpretação de anomalias regionais e residuais aplicada ao estudo da organização crustal-exemplo da região norte do Piauí e noroeste do Ceará. Tese de Doutorado, Univ. Fed. Pará.
- BOTT, M.H.P., 1960, The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 3, 63-67.
- DEBEGLIA, N.; WEBER, C., 1985, Geologic mapping of the basement of the Paris Basin (France) by gravity- and magnetic-data interpretation. In: Hinze, W.J. (Ed.) *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*. Tulsa. SEG, 154-163.
- DELLA FÁVERA, J.C., 1970, Análise estratigráfica preliminar da formação Candeias-Bacia do Tucano Sul, Salvador. PETROBRÁS/RPBA/DIREX, rel int., 24p.
- EL-BATROUK, S.I.; ZENTANI, A.S., 1980, Gravity interpretation of Raguba Field, Sirte Basin, Libya. *Geophysics*, 45, 1153-1163.
- ELKINS, T.A., 1951, The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16 (1), 29-50.
- FACHETTI, H.A., 1962, Gravidade regional da Bacia do Recôncavo. PETROBRÁS, rel. 1676.

- FAIRHEAD, J.D.; OKEREKE, C.S., 1987, A regional gravity study of the West African rift system in Nigeria and Cameroon and its tectonic interpretation. *Tectonophysics*, 143, 141–159.
- FRISK, F.K., 1948, Gravity report on the southern part of the Recôncavo Basin. PETROBRÁS, rel. 42.
- GAMA Jr, E.; FONSECA, J.R., 1971, Evolução tecto-sedimentar da Bacia do Recôncavo. Projeto Modelo Sedimentar, Salvador. PETROBRÁS/RPBA/SERSTRA, rel. int., 23p.
- GERARD, A.; DEBEGLIA, N., 1975, Automatic three-dimensional modeling for the interpretation of gravity or magnetic anomalies. *Geophysics*, 40 (6), 1014–1034.
- GHIGNONE, J.I., 1970, A sedimentação Ilhas Inferior, Salvador. PETROBRÁS/RPBA/SERSTRA, rel. int., 23p.
- GHIGNONE, J.I., 1979, Geologia dos sedimentos fanerozóicos do Estado da Bahia. In: INDA, H.A.V. (Ed.). *Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia. Textos básicos*, v. 1, Salvador, Sec. Minas e Energia, 24–117.
- GUPTA, V.K.; GRANT, F.S., 1985, Mineral exploration aspects of gravity and aeromagnetic surveys in the Sudbury Cobalt area, Ontario: In Hinze (Ed.), *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*. Tulsa, SEG, 392–412.
- GUPTA, V.K.; RAMANI, N., 1980, Some aspects of regional-residual separation of gravity anomalies in a Precambrian terrain. *Geophysics*, 45, 1412–1426.
- HOERL, A.E.; KENNARD, R.W., 1970a, Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometric*, 12, 55–67.
- HOERL, A.E.; KENNARD, R.W., 1970b, Ridge regression: applications to nonorthogonal problems. *Technometric*, 12, 69–82
- HUBER, P.J., 1981, *Robust statistics*. New York, John Wiley & Sons, 308p.
- JACOBSEN, B.H., 1987, A case for upward continuation as a standard separation filter for potential-fields maps. *Geophysics*, 52, 1138–1148.

- LEÃO, J.W.D.; SILVA, J.B.C., 1989, Discrete linear transformations of potential field data. *Geophysics*, 54 (4), 497-507.
- LINSER, H., 1956, Gravity survey—Recôncavo, Bahia. PETROBRÁS, rel. 832.
- LINSER, H., 1962, Interpretação da gravimetria e da sísmica de refração no horst de Boipeba, Bacia do Recôncavo. PETROBRÁS, rel. 1577.
- MILANI, E.J., 1984, Modelo evolutivo do *rift* Recôncavo—Tucano—Jatobá. PETROBRÁS/CENPES, rel. int., 32 p.
- MILANI, E.J., 1985, Aspectos da evolução tectônica das Bacias do Recôncavo e Tucano Sul, Bahia, Brasil. Tese de mestrado, Univ. Fed. Ouro Preto.
- MILANI, E.J.; DAVIDSON, I., 1988, Basement control and transfer tectonics in the Recôncavo—Tucano—Jatobá rift, Northeast Brazil. *Tectonophysics*, 154, 41-70.
- MOTTA, A.C., 1984, Sistemática dos trabalhos do projeto levantamento gravimétrico no Estado da Bahia. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Mesa Redonda de Gravimetria
- MUKHOPADHYAY, M.; VERMA, R.K.; ASHRAF, M.H., 1986, Gravity field and structures of the Rajmahal Hills: examples of the Paleo-Mesozoic continental margin in Eastern India. *Tectonophysics*, 131, 353-367.
- NELDER, J.A.; MEAD, R., 1964, A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, 7, 308-313
- NETTLETON, L.L., 1954, Regionals, residuals and structures. *Geophysics*, 19 (4), 1-22.
- NETTLETON, L.L., 1976, Gravity and magnetics in oil prospecting. New York, McGraw-Hill Book, 464 p.
- NETTO, A.S.T.; BRAGA, J.A.E.; BRUHN, C.H.L.; MAGNAVITA, L.P.; OLIVEIRA, J.J.; AGLE, H.M.; RIBEIRO, J.C., 1984, Prospectos estratigráficos do Recôncavo. Salvador, PETROBRÁS/DEXBA, rel. int.

- NETTO, A.S.T.; BRAGA, J.A.E.; SANTOS, C.; CUPERTINO, J.A.; RIBEIRO, J.C., 1985, Revisão estrutural—estratigráfica da Bacia do Tucano Sul. Salvador, PETROBRÁS/DEXBA, rel. int.
- OLDENBURG, D.W., 1974, The inversion and interpretation of gravity anomalies. *Geophysics*, 39 (4), 526—536.
- OLIVEIRA, E., 1985, Estudo sobre a representação gravimétrica dos conglomerados—borda leste do Recôncavo. PETROBRÁS, rel. int.
- PARKER, R.L., 1973, The rapid calculation of potential anomalies. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 31, 447—455.
- PAUL, M.K., 1967, A method of computing residual anomalies from Bouguer gravity map by applying relaxation technique. *Geophysics*, 32, 708—719.
- PATERSON, N.R.; REEVES, C.V, 1985, Applications of gravity and magnetic surveys: the state-of-art in 1985. *Geophysics*, 50 (12), 2558—2594.
- PETROBRÁS/DEXBA/DINTER, 1985, Arcabouço estrutural das Bacias do Recôncavo e Tucano Sul; escala 1:250.000. Salvador.
- PETROBRÁS/RPBA/DIREX, 1970, Mapa Bouguer Bacias do Recôncavo e Tucano Sul; escala 1:100.000. Salvador.
- PONTES, F.C; MEDEIROS, R.A., 1981, Sistemas deposicionais na Bacia do Recôncavo, Estado da Bahia. *Ciências da Terra*, 1, 14—18.
- RAO, B.S.R.; RADHAKRISHNA MURTHY, I.V; VIESWESWARA RAO, C., 1975, A successive approximation method of deriving residual gravity. *Geoexploration*, 13, 129—135.
- SILVA, J.B.C.; HOHMANN, G.W., 1984, Airborne magnetic susceptibility mapping. *Exploration Geophysics*, 15, 1—13.
- SIMPSON JR., S.M, 1954, Least squares polynomial fitting to gravitational data and density plotting by digital computers. *Geophysics*, 19,255—269.

- SKEELS, D.C., 1967, What is residual gravity? *Geophysics*, 32, 872–876.
- SOUZA FILHO, A.F., 1960, Re-interpretação gravimétrica da Bacia do Recôncavo. PETROBRÁS, rel. 1321.
- SYBERG, F.J.R., 1972, A Fourier method for the regional–residual problem of potential fields. *Geophys. Prosp.*, 20, 47–75.
- TALWANI, M.; WORZEL, J.L; LANDISMAN, M., 1959, Rapid gravity computation for two-dimensional bodies with applications to the Mendocino submarine fracture zone. *J. Geophys. Res.*, 64 (1), 49–59.
- ULRYCH, T.J., 1968, Effect of wavelength filtering on the shape of the residual anomaly. *Geophysics*, 33, 1015–1018.
- USSAMI, N., 1986, Interpretation of the gravity anomalies of Bahia State, Brazil. Ph. D. thesis, Univ. of Durham
- VIANNA, I.X., 1970, Redução de dados gravimétricos de detalhe com densidade variáveis. Resultados da aplicação na área do campo de Água Grande. PETROBRÁS, rel. 1298.
- VIANNA, C.F.; GAMA JR., E.; SIMÕES, I.A; MOURA, J.A.; FONSECA, J.R.; ALVES, R.J, 1970, Revisão estratigráfica da Bacia do Recôncavo/Tucano. Salvador, PETROBRÁS/RP-BA/DIREX, rel. int.