

**APLICAÇÃO DO GRAVÍMETRO DE POÇO
EM PROBLEMAS DE AVALIAÇÃO DE
FORMAÇÃO NO BRASIL**

por

CARLOS AUGUSTO GONÇALVES

Geólogo (Universidade Federal do Rio de Janeiro - 1989)

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. Hilton Bernard Evans (Orientador)



Dr. Douglas Patrick O'Brien



Dr. Edson Emanuel Starteri Sampaio



Data da Homologação : 27/02/1992

T.380 G 635 GONÇALVES, Carlos Augusto. **Aplicação do gravímetro de poço em problemas de avaliação de formação no Brasil.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1992. 108p. il.
Tese (Mestrado em Geofísica) – Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, UFPa., 1992.

1. GRAVIMETRIA DE POÇO. 2. AVALIAÇÃO DE FORMAÇÃO GEOFÍSICA. 3. PERFILAGEM DE POÇO. I. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências–Departamento de Geofísica. II. Título

T.380/G 635 - 0391/558 - 16.12.91

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iii
RESUMO	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	3
CAPÍTULO 2 - AS MEDIDAS DE GRAVIDADE	5
2.1 - Base teórica para as medidas de gravidade	5
2.2 - Base teórica para as medidas de gravidade em poço	7
2.3 - Variações na geometria do modelo	9
CAPÍTULO 3 - O GRAVÍMETRO DE POÇO	17
3.1 - Princípios básicos do funcionamento	17
3.2 - Características do equipamento	19
3.2.1 - Profundidade de investigação	19
3.2.2 - Resolução das leituras	20
3.3 - Fatores que afetam as medidas de gravidade	20
3.3.1 - Correção na calibração	21
3.3.2 - Correção para o efeito de maré	21
3.3.3 - Correção de deriva	23
3.3.4 - Correção para os efeitos de poço	23
3.3.5 - Correção para os efeitos de terreno	23

3.3.6 - Correção para os efeitos de desvio no poço	24
CAPÍTULO 4 - O LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO DE POÇO NO BRASIL	30
4.1 - A calibração do equipamento	30
4.2 - A seleção da área e dos poços	31
4.3 - A seleção das estações de leitura	33
4.4 - A perfilagem gravimétrica de poço	33
4.5 - A realização das leituras	36
CAPÍTULO 5 - A REDUÇÃO DOS DADOS OBSERVADOS	41
CAPÍTULO 6 - INTERPRETAÇÃO	54
6.1 - Aspectos geológicos	55
6.2 - A determinação das unidades litológicas	56
6.3 - A comparação com o perfil densidade (CDL)	58
6.4 - O cálculo da porosidade	61
6.4.1 - Determinação da densidade de fluido (ρ_f)	61
6.4.2 - Determinação da densidade de matriz (ρ_m)	61
6.4.3 - A comparação dos dados de porosidade	62
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO	81
AGRADECIMENTOS	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICE I	89
APÊNDICE II	95
APÊNDICE III	107

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELAS

Tabela 3.1	Tabela de calibração do gravímetro LaCoste & Romberg 6	22
Tabela 4.1	Tabela de calibração de campo	32
Tabela 4.2	Tabela de determinação da leitura final em unidades de contagem	37
Tabela 5.1	Tabela apresentando o exemplo do cálculo da deriva instrumental em trecho do poço CP-508	44
Tabela 6.1	Tabela apresentando a sequência estratigráfica encontrada nos poços CP-508, CP-658 e CP-810	56
Tabela 6.2	Tabela com os critérios utilizados na separação das litologias nos poços CP-508, CP-658 e CP-810	57
Tabela 6.3	Tabela apresentando os valores de densidade de matriz (ρ_m) para as litologias dos poços CP-508, CP-658 e CP-810	62
Tabela 6.4	Tabela de comparação dos dados de porosidade ϕ_{CDL} (PETROBRÁS) e ϕ_{BHGM} para os poços CP-508, CP-658 e CP-810	64

LISTA DE ILUSTRAÇÕES FIGURAS

Figura 2.1	Atração gravitacional exercida sobre um gravímetro em superfície	12
Figura 2.2	Atração gravitacional exercida sobre um gravímetro em poço	13
Figura 2.3	Atração gravitacional a partir de um intervalo infinito e uniforme	14
Figura 2.4	Modelo bidimensional de camada inclinada com o poço na vertical	15
Figura 2.5	Modelo bidimensional de camada inclinada com o poço inclinado na direção de inclinação da camada	15
Figura 2.6	Modelo tridimensional de camada inclinada com o poço inclinado em direção diferente da inclinação da camada	16
Figura 3.1	Diagrama do elemento sensor dos gravímetros de poço LaCoste & Romberg ..	25
Figura 3.2	Comparação da profundidade de investigação de diversos tipos de perfis	26
Figura 3.3	Diagrama mostrando a relação entre a profundidade de investigação e a espessura de um intervalo infinito e uniforme	27
Figura 3.4	Seção esquemática lateral mostrando a distância radial de investigação a partir do poço	27
Figura 3.5	Histograma geral apresentando a resolução das leituras executadas com o gravímetro L & R 6	28
Figura 3.6	Variação temporal do efeito produzido pelas marés	29
Figura 4.1	Mapa da área do levantamento com o gravímetro de poço	38
Figura 4.2	Processo de ocupação das estações de leitura no levantamento com o gravímetro de poço	39
Figura 4.3	Histograma com o tempo médio de leitura em cada estação	40
Figura 5.1	Fluxograma apresentando a sequência utilizada na redução dos dados gravimétricos de poço	46
Figura 5.2	Curvas dos gradientes obtidos para os dados de campo observados através do critério de mínimos quadrados para os poços CP-508, CP-658 e CP-810	47

Figura 5.3	Curvas de gravidade reduzida para as diferentes corridas do gravímetro nos poços CP-508, CP-658 e CP-810(sem correção para o salto na contagem) ...	48
Figura 5.4	Curvas de gravidade reduzida para as diferentes corridas do gravímetro nos poços CP-508, CP-658 e CP-810 (com correção para o salto na contagem) ..	49
Figura 5.5	Curva de gravidade reduzida para as tres corridas do gravímetro no poço CP-508 (após ajuste nas estações 18 e 25)	50
Figura 5.6	Perfil de densidade final ρ_B (BHGM) para o poço CP-508	51
Figura 5.7	Perfil de densidade final ρ_B (BHGM) para o poço CP-658	52
Figura 5.8	Perfil de densidade final ρ_B (BHGM) para o poço CP-810	53
Figura 6.1	Coluna estratigráfica da bacia SE/AL	65
Figura 6.2	Seção transversal WSW-ENE ao Campo de Carmópolis apresentando suas áreas de produção com indicação da área investigada	66
Figura 6.3	Superposição dos perfis ϕ_D e ϕ_N e perfil raio-gama para o poço CP-658	67
Figura 6.4	"Cross-plots" $\rho_B \times \phi_N$ e $\rho_B \times \phi_{ND}$ para o poço CP-658	68
Figura 6.5	Seção transversal aos poços CP-508, CP-658 e CP-810 apresentando a caracterização litológica	69
Figura 6.6	Figura apresentando os perfis de densidade compensada (CDL) para os poços CP-508, CP-658 e CP-810	70
Figura 6.7	Figura apresentando os perfis de densidade compensada (CDL) quadratizados para os poços CP-508, CP-658 e CP-810	71
Figura 6.8	Comparação entre os perfis CDL e gravimétrico para o poço CP-508	72
Figura 6.9	Comparação entre os perfis CDL e gravimétrico para o poço CP-658	73
Figura 6.10	Comparação entre os perfis CDL e gravimétrico para o poço CP-810	74
Figura 6.11	"Cross-plots" $\rho_B(CDL) \times \rho_B(BHGM)$ para os poços CP-508 e CP-658 para intervalo sedimentar e embasamento	75
Figura 6.12a	"Cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias do poço CP-508	76

Figura 6.12b	"Cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias do poço CP-658	77
Figura 6.12c	"Cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias do poço CP-810	78
Figura 6.13	Perfis de porosidade (ϕ_{CDL}) para os poços CP-508, CP-658 e CP-810 com indicação dos intervalos de produção	79
Figura 6.14	Comparação dos perfis de porosidade (ϕ_{BHGM}) e (ϕ_{CDL}) para os poços CP-508, CP-658 e CP-810	80

APLICAÇÃO DO GRAVÍMETRO DE POÇO EM PROBLEMAS DE AVALIAÇÃO DE FORMAÇÃO NO BRASIL

(TESE DE MESTRADO : Fev/92)

CARLOS AUGUSTO GONÇALVES

Orientador : Dr. Hilton Bernard Evans

Departamento de Geofísica – Centro de Geociências/UFPA

Caixa Postal 309 – Belém, PA, Brasil

RESUMO

No período de outubro a novembro de 1990, foi realizado na Bacia Sergipe-Alagoas o primeiro levantamento gravimétrico de poço no Brasil, através de um programa com a participação da Universidade Federal do Pará, a PETROBRÁS e o U.S.G.S. (United States Geological Survey). Este levantamento teve como objetivos o teste do equipamento, a resposta dos perfis gravimétricos em relação aos problemas encontrados nas bacias sedimentares brasileiras e a comparação com os dados de densidade obtidos com o perfil de densidade compensada (CDL).

Os levantamentos foram realizados em três poços e os dados obtidos passaram por um processo de redução, onde os valores foram transformados para miligals e corrigidos dos efeitos de maré, deriva e terreno, para obter as densidades preliminares. Porém, a região onde foram realizados os levantamentos apresenta além do embasamento muito raso, uma seqüência evaporítica com contraste de densidade grande em relação ao resto do pacote sedimentar, gerando gradientes verticais anômalos. Estes efeitos foram então corrigidos e obtidos os valores finais de densidade.

Com base em uma caracterização litológica prévia, os valores de densidade foram então comparados com o perfil CDL. Verificou-se a boa qualidade dos dados, o que permitiu o cálculo de valores de porosidade, mostrando assim possíveis intervalos de interesse à exploração de hidrocarbonetos, tanto no embasamento, reservatório mais importante, quanto no intervalo sedimentar.

APPLICATION OF BOREHOLE GRAVIMETER IN FORMATION EVALUATION PROBLEMS IN BRAZIL

(MASTER THESIS : Feb/92)

CARLOS AUGUSTO GONÇALVES

Adviser : Dr. Hilton Bernard Evans

Departamento de Geofísica – Centro de Geociências/UFPa

Caixa Postal 309 – Belém, PA, Brazil

ABSTRACT

The first borehole gravity survey in Brazil was carried out during October and November of 1990 in Sergipe-Alagoas basin through a joint program between the Federal University of Pará, PETROBRAS and United States Geological Survey. The principal purpose of the survey was to test the applicability of this tool in Brazilian sedimentary basins. Another purpose was to compare the borehole gravimeter (BHGM) data with existing open-hole density log (CDL).

The survey was conducted in three wells in Carmópolis field and the data were transformed to miligals, corrected for tide, drift and terrain effects and preliminary density values calculated. The region in which the surveys were carried out consists of an evaporite sequence overlying basement rock occurring relatively near the surface. The large contrast between these units and the rest of sedimentary section results in vertical gravity anomalies. It is necessary to correct the BHGM density data for these anomalies.

The resulting BHGM density data were then compared to that obtained from the CDL. Furthermore, lithology parameters defined from well log data were used to calculate porosities from both the BHGM and CDL density data, showing possible new oil intervals that can be tested.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Considerando a importância de conhecer de maneira segura e precisa os parâmetros relacionados com a avaliação de formação na exploração de hidrocarbonetos, e tendo conhecimento do sucesso alcançado com o uso de gravímetros em poços de petróleo, este trabalho de Tese de Mestrado descreve todas as características desse equipamento e os aspectos referentes à rotina dos levantamentos gravimétricos em poço, a redução dos dados e sua interpretação. Além disso, com a participação de um técnico do U.S.G.S. (United States Geological Survey) e infra-estrutura da PETROBRÁS S.A., promoveu e executou o primeiro teste com um gravímetro de poço (L & R 6) em bacias sedimentares brasileiras, no caso a Bacia Sergipe/Alagoas. A obtenção dos dados em campo permitiu a comparação entre os perfis de densidade (CDL) e os perfis gravimétricos, realizando uma nova interpretação entre os parâmetros de formação calculados através dos perfis convencionais e os calculados agora, através da combinação destes com o perfil gravimétrico.

Medidas de gravidade em subsuperfície têm sido realizadas desde meados do século passado até metade deste século (Lorenz, 1938), através da operação manual de gravímetros de superfície em galerias de minas subterrâneas. O sucesso dos testes realizados fizeram com que surgisse a idéia da utilização de gravímetros em poços de petróleo para obtenção da densidade "in situ" das formações. Começou então a ser desenvolvido um equipamento que pudesse obter as mesmas respostas dos gravímetros de superfície e que operasse em condições adversas como o pequeno diâmetro dos poços e as grandes variações de temperatura neles existentes.

Foi mostrado por Smith (1950), Hammer (1950), Rogers (1952), McCulloch (1965 e 1966), McCulloch et al. (1967a), Rasmussen (1975), LaFehr (1983), Black (1986) e outros, que as leituras de gravidade em subsuperfície podem apresentar uma alta precisão, como também abranger um grande volume de rocha investigado a partir do poço, gerando como resultado final seguras medidas de densidade para determinados intervalos de profundidade.

Gilbert (1952) descreveu o primeiro teste com um gravímetro de poço realizado na Inglaterra. Tratava-se de um projeto pioneiro e logo foram observados muitos problemas durante a realização dos testes, como o grande diâmetro e a pouca precisão das leituras. Goodell & Fay (1964)

descreveram um gravímetro de poço baseado no princípio do filamento vibrador, assim como o de Gilbert, porém de melhor precisão e menor diâmetro. Howell et al. (1966) descreveram o primeiro gravímetro de poço a obter sucesso, baseado ainda no princípio do filamento vibrador. Apesar da necessidade de longos períodos de leitura, este gravímetro foi usado durante muitos anos devido à sua alta precisão, grande tolerância às variações de temperatura no poço e pequeno diâmetro.

McCulloch et al. (1967b, 1968) definiram as características dos primeiros gravímetros de poço LaCoste & Romberg e também sua aplicação na prospecção de petróleo. Beyer (1968), LaFehr et al. (1979) e Black & Herring (1983) atestaram as considerações de McCulloch e comentaram sobre a dependência das leituras obtidas em relação às mudanças de temperatura com a profundidade, ao tempo de observação, ao intervalo entre as estações de observação e ao número de observações efetuadas.

Jones (1972) mostrou o uso do perfil gravimétrico na obtenção de novos valores de porosidade em zonas fraturadas ou com porosidade secundária e a identificação do tipo de hidrocarboneto através da medida precisa de densidade dos fluidos. Bradley (1975) e Rasmussen (1975) abordaram o uso do perfil gravimétrico na separação de zonas com óleo e gás em reservatórios carbonáticos. Devido à sua grande precisão e ao grande volume de rocha investigado foi também possível a identificação de estruturas remotas ao poço (Hearst & McKague, 1976 e Black & Herring, 1983).

Beyer (1979), Hearst et al. (1980), Schmoker (1980) e Pennybaker (1988) mostraram a influência dos efeitos de maré, terreno e deriva sobre as leituras de gravidade e a maneira como os dados obtidos devem ser corrigidos.

As muitas aplicações geológicas nas quais o gravímetro de poço vem sendo usado tem sido desenvolvidas com o aprimoramento das características do equipamento e o desenvolvimento dos meios de transmissão dos dados à superfície. Empresas de mineração tem usado o gravímetro de poço para a determinação precisa da densidade de corpos de sulfeto e outros minerais de interesse econômico (Schmoker, 1978 e Robbins, 1979). O U.S.G.S. tem realizado levantamentos gravimétricos de poço com o objetivo da investigação das condições geológicas e hidrogeológicas para exploração de água subterrânea (Head & Kososki, 1979 e Robbins, 1986) e em localidades propostas como depósito de lixo atômico (LaFehr & Dean, 1983).

CAPÍTULO 2

AS MEDIDAS DE GRAVIDADE

2.1 – Base teórica para as medidas de gravidade

As medidas de gravidade estão baseadas na lei de atração gravitacional de Newton,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1)$$

ou seja, entre duas partículas distintas existe uma força, a qual é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r) entre as mesmas.

Luther e Towler (1981) mostram que o valor da constante gravitacional universal de Newton (G) pode ser dado por

$$G = (6,6726 \pm 0,0005) \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{seg}^2 \cdot \text{Kg}).$$

Tomando a equação (1) e fazendo m_1 ser a massa da terra e m_2 a massa do elemento sensor de um gravímetro, a força que age em m_2 pode também ser considerada a partir da segunda lei de Newton, como

$$F = m_2 a \quad (2)$$

sendo a a aceleração experimentada por m_2 .

Então, a partir das equações (1) e (2) pode-se obter uma expressão para a gravidade g

$$g = \frac{F}{m_2} = G \frac{m_1}{r^2} \quad (3)$$

sendo g expressa em unidades de força por unidades de massa ou aceleração. Comumente, em exploração geofísica esta unidade é o miligalileu (mgal), onde

$$1 \text{ miligal} = 10^{-3} \text{ cm/seg}^2 = 10^{-6} g.$$

Como os gravímetros são sensíveis à componente total da aceleração gravitacional, a aceleração experimentada pela massa m_2 é dada por (Fig. 2.1)

$$\sum_{i=1}^n g_i = G \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{r_i^2} \cdot \cos \theta \quad (4)$$

Numa exploração gravimétrica, geralmente tem-se dificuldade em conhecer a distribuição das massas em subsuperfície, porém suas densidades e volumes podem ser inferidos, apesar de que o problema com essas ser muito maior do que com as massas. Logo, voltando a equação (4), podemos reescrevê-la da seguinte forma

$$\sum_{i=1}^n g_i = G \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i v_i}{r_i^2} \cdot \cos \theta \quad (5)$$

e fazendo ρ_i e v_i os elementos de densidade e volume respectivamente, temos

$$g = G \int_v \frac{\rho}{r^2} \cdot \cos \theta \, dv \quad (6)$$

onde dv é o elemento de volume e \int_v representa a soma de todos os elementos de volume sobre o volume total do corpo.

Na Figura 2.1, pode ainda ser observado o exemplo da aceleração gravitacional g , experimentada pela massa do elemento sensor de um gravímetro devido a uma massa esférica de raio R e densidade constante ρ a uma distância r do gravímetro, logo

$$g = G \rho \frac{4\pi R^3}{3} \frac{1}{r^2} \cdot \cos \theta .$$

Como a massa da esfera é dada por

$$m = \frac{4}{3} \pi \rho R^3$$

então,

$$g = \frac{Gm}{r^2} \cos \theta .$$

Basicamente, a gravimetria é usada na exploração de petróleo para definir grandes estruturas em subsuperfície (distribuição de massa) e para selecionar zonas com potencial de serem armadilhas estruturais de hidrocarbonetos.

2.2 – Base teórica para as medidas de gravidade em poço

No caso da gravimetria de poço, pode-se observar que a aceleração gravitacional experimentada pela massa m_2 do elemento sensor de um gravímetro, localizada ao longo do eixo vertical de um cilindro (Fig. 2.2), e acima deste, é

$$g = 2\pi G\rho \{H + (R^2 + z)^{1/2} - (R^2 + (z + H)^2)^{1/2}\}, \quad (7)$$

sendo H a espessura do cilindro, z a profundidade de leitura e R o raio do cilindro. Possuindo o perfil gravimétrico raio de investigação muito grande comparado com os perfis usuais, R do cilindro torna-se muito grande e a expressão

$$(R^2 + z)^{1/2} - (R^2 + (z + H)^2)^{1/2} \Rightarrow 0.$$

Logo, a equação (7) fica da forma

$$g = 2\pi G\rho H. \quad (8)$$

Analogamente, quando o gravímetro se encontra ao longo do eixo do cilindro, porém abaixo deste, o valor de g é definido como

$$g = -2\pi G\rho H. \quad (9)$$

De acordo com as duas equações anteriores, observa-se que a aceleração gravitacional devido a uma camada horizontal com extensão infinita depende somente da densidade ρ e da espessura H desta camada, e não da distância acima e abaixo desta.

Como a gravimetria de poço envolve valores finitos de gravidade, esta técnica leva a uma série de leituras de diferença de gravidade Δg e profundidade Δz entre estações de observação (Fig. 2.3), daí que

$$\Delta g = (g_{z=H} - g_{z=0}) = -4\pi G\rho \Delta z, \quad (10)$$

ou seja,

$$\rho = -\frac{1}{4\pi G} \frac{\Delta g}{\Delta z}. \quad (11)$$

Portanto, pode-se observar que há um problema de resolução no cálculo de ρ , que depende da espessura do estrato homogêneo (H) versus espaçamento entre os pontos consecutivos de medida (Δz), quando este não é muito menor do que aquele. Logo,

$$\frac{\Delta g}{\Delta z} = \begin{cases} 0, & z < 0 \\ 2\pi G \rho, & z = 0 \\ -4\pi G \rho, & 0 < z < H \\ -2\pi G \rho, & z = H \\ 0, & z > H \end{cases}$$

Variações a partir da geometria inicial serão vistas na seção 2.3.

No caso de ser a Terra homogênea em densidade e esférica, o valor da gravidade g decresceria como função da profundidade. Como as camadas mais externas da Terra apresentam valores relativamente menores em densidade que as camadas internas perto da superfície, o valor da gravidade aumenta com a profundidade. Este fenômeno é conhecido como efeito de ar-livre, e devido a este efeito a equação (11) pode ser reescrita da seguinte forma

$$\rho = \frac{F'}{4\pi G} - \frac{1}{4\pi G} \left(\frac{\Delta g}{\Delta z} \right), \quad (12)$$

onde F' é o gradiente de ar-livre.

Sem se considerar outros tipos de correção, como por exemplo, desvios na direção do poço ou inclinação de camadas, a equação (12) se constitui na expressão mais comum usada na gravimetria de poço, relacionando as leituras de gravidade obtidas no campo com a densidade.

O gradiente de ar-livre teórico para dada latitude e elevação de uma estação de observação no poço (Heiskanen e Mortitz, 1967) é

$$F' = 0,308768 - 0,000440 \sin^2(\theta) - 1,442 \times 10^{-7} h,$$

onde θ é a latitude e h é a elevação (metros) da estação de leitura.

Segundo Robbins (1981), a variação do valor de F' com a latitude é menor que 0,2% e com a elevação em torno de 0,01% para 330 m. Como essas variações são geralmente desprezíveis para trabalhos em poço, o valor usual assumido para F' é de 0,30859 mgal/m. Logo, a partir da equação

(12) e substituindo os valores de F' , π e G tem-se

$$\rho = 3,680 - 11,926 \left(\frac{\Delta g}{\Delta z} \right), \quad (13)$$

onde ρ é a densidade média ou intervalar (g/cm^3) para o intervalo de profundidade Δz (m) entre as estações de observação.

Quando a densidade da camada infinita e horizontal aumenta, a diferença de gravidade Δg diminui e vice-versa. Voltando à equação (12) e reescrevendo-a na forma

$$\frac{\Delta g}{\Delta z} = F' - 4\pi G\rho, \quad (14)$$

observamos que um aumento na densidade da camada corresponderia a uma diminuição no gradiente vertical de gravidade $\Delta g/\Delta z$, e vice-versa. Esta relação simples entre o gradiente vertical de gravidade observado e a densidade da camada infinita e horizontal é válida para diversas situações geológicas. Dessa forma é sempre possível a determinação de pequenas variações de densidade das rochas investigadas por este método.

2.3 – Variações na geometria do modelo

Como visto no início deste capítulo, quando o campo gravitacional terrestre é medido para um modelo de camada infinita e horizontal em um poço vertical, temos de acordo com equação (14) que

$$\frac{\Delta g}{\Delta z} = F' - 4\pi G\rho.$$

Para um modelo de camada infinita e inclinada, ou seja, a camada mergulhando com certo ângulo ϕ a partir da horizontal, temos a atração gravitacional reduzida pelo cosseno do ângulo de mergulho (Fig. 2.4). Como a correção de ar-livre depende somente da distância vertical no poço, nenhuma correção para o mergulho é necessária (Snyder e Merkel, 1977), logo

$$\Delta g = (F' - 4\pi G\rho \cos \phi \cos \phi) \Delta z, \quad (15)$$

e a densidade pode ser calculada por

$$\rho = \frac{3,680}{\cos^2 \phi} - \frac{11,926}{\cos^2 \phi} \left(\frac{\Delta g}{\Delta z} \right). \quad (16)$$

Normalmente, em camadas inclinadas é muito difícil se manter um poço na direção vertical. Geralmente este se inclina na direção da camada mergulhante. Considerando um modelo em duas dimensões, onde a inclinação α do poço com a vertical está no mesmo plano da inclinação da camada (Fig. 2.5), pode-se observar que a espessura da camada apresenta um erro de $\cos(\alpha + \phi)$. E como o poço está inclinado de α , a diferença Δz entre as estações de observação não é mais a distância vertical verdadeira. Logo, deve-se também fazer a correção para o efeito de ar-livre. Assim,

$$\Delta g = \{F' \cos \alpha - 4\pi G\rho \cos \phi \cos(\alpha + \phi)\} \Delta z, \quad (17)$$

e a densidade pode ser calculada por

$$\rho = \frac{3,680 \cos \alpha}{\cos \phi \cos(\alpha + \phi)} - \frac{11,926}{\cos \phi \cos(\alpha + \phi)} \left(\frac{\Delta g}{\Delta z} \right). \quad (18)$$

Para o problema em três dimensões, ou seja, quando a inclinação da camada e a inclinação do poço não se encontram no mesmo plano, a geometria do modelo se torna mais complicada (Fig. 2.6). Sendo o ângulo α a inclinação do poço com a vertical, na direção determinada por δ , o "strike" da camada dado por β , o ângulo de mergulho da camada dado por ϕ , a espessura aparente da camada designada por Δz e assumindo que não há nenhum efeito anômalo de gravidade devido por exemplo a presença de outros corpos nas proximidades do poço, os efeitos devidos ao gradiente de ar-livre e a camada podem ser dados, respectivamente, por

$$\Delta g_{F'} = F' \Delta z \cos \alpha, \quad (19)$$

$$\Delta g_{cam} = -4\pi\rho H \cos \phi, \quad (20)$$

onde H é a espessura verdadeira da camada.

A partir da equação (17) temos que

$$\Delta g = \Delta g_{F'} + \Delta g_{cam} \quad (21)$$

logo,

$$\Delta g = F' \Delta z \cos \alpha - 4\pi G\rho H \cos \phi. \quad (22)$$

Através de uma simples análise geométrica, vemos que o termo H , a espessura verdadeira, é dada por

$$H = \Delta z \cos(\alpha + \phi) \sin(\delta - \beta). \quad (23)$$

Tomando agora as equações (22) e (23) podemos escrever que

$$\Delta g = F' \Delta z \cos \alpha - 4\pi G \rho \Delta z \cos(\alpha + \beta) \sin(\delta - \beta) \cos \phi, \quad (24)$$

e

$$\Delta g = \{F' \cos \alpha - 4\pi G \rho \cos(\alpha + \beta) \sin(\delta - \beta) \cos \phi\} \Delta z. \quad (25)$$

Resolvendo a equação (25) para F' , G e π , temos que

$$\rho = \frac{1}{\cos(\alpha + \beta) \sin(\delta - \beta) \cos \phi} \left\{ 3,680 \cos \alpha - 11,926 \left(\frac{\Delta g}{\Delta z} \right) \right\}. \quad (26)$$

Deve-se notar que quando conhecemos a densidade intervalar ρ e desconhecemos o mergulho da camada ϕ , este pode ser identificado em poços verticais e não verticais se conhecermos δ e β .

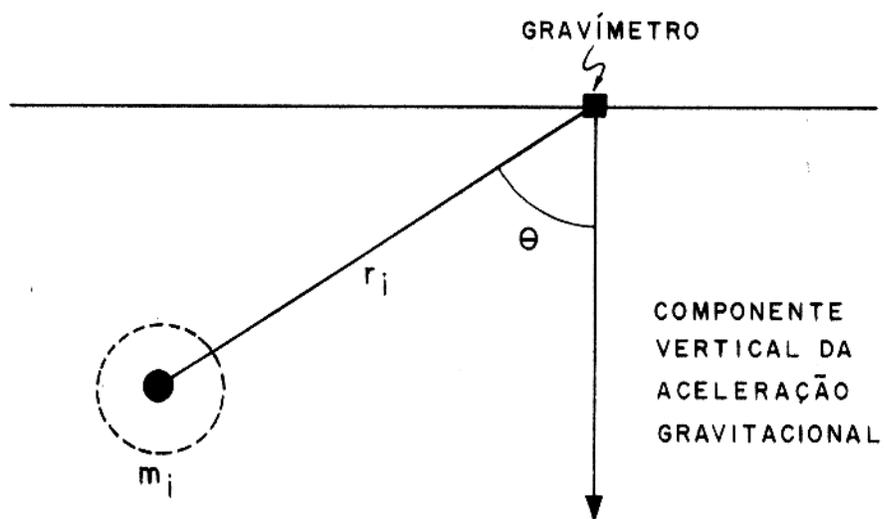


Figura 2.1 - Atração gravitacional exercida por uma massa m_i a uma distância r sobre o elemento sensor de um gravímetro (modificado a partir de Beyer, 1982).

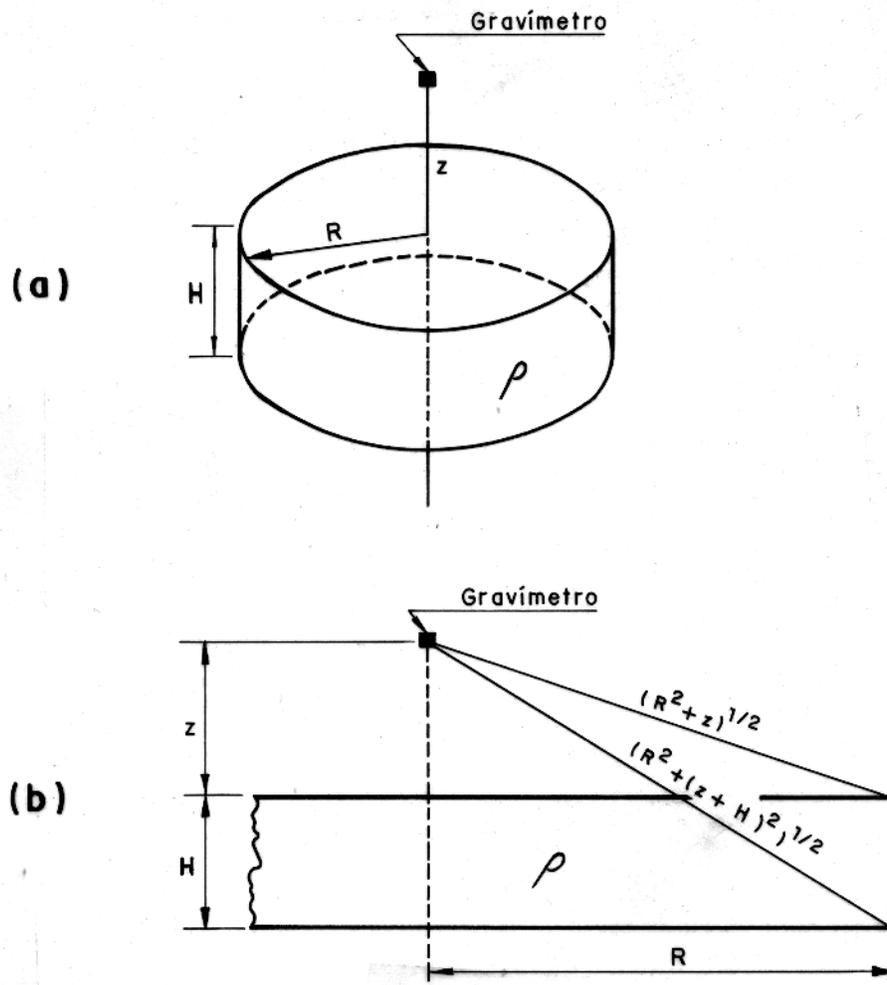


Figura 2.2 - a) Atração gravitacional sobre o gravímetro a uma distância z ao longo do eixo vertical do cilindro de raio R e espessura H . b) Seção lateral do cilindro (modificado a partir de Beyer, 1982).

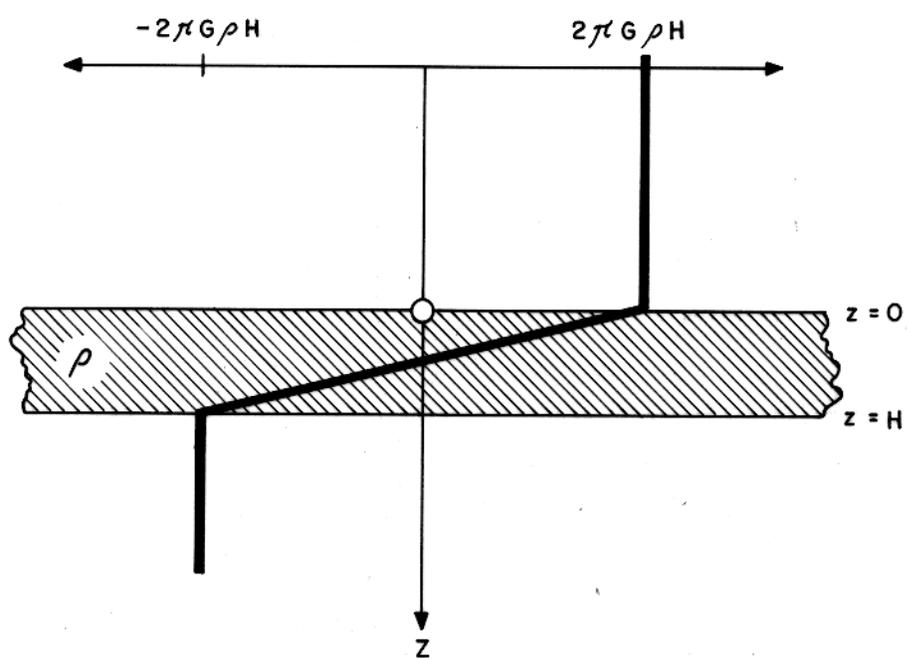


Figura 2.3 - Atração gravitacional a partir de um intervalo infinito (modificado a partir de EDCON, 1977).

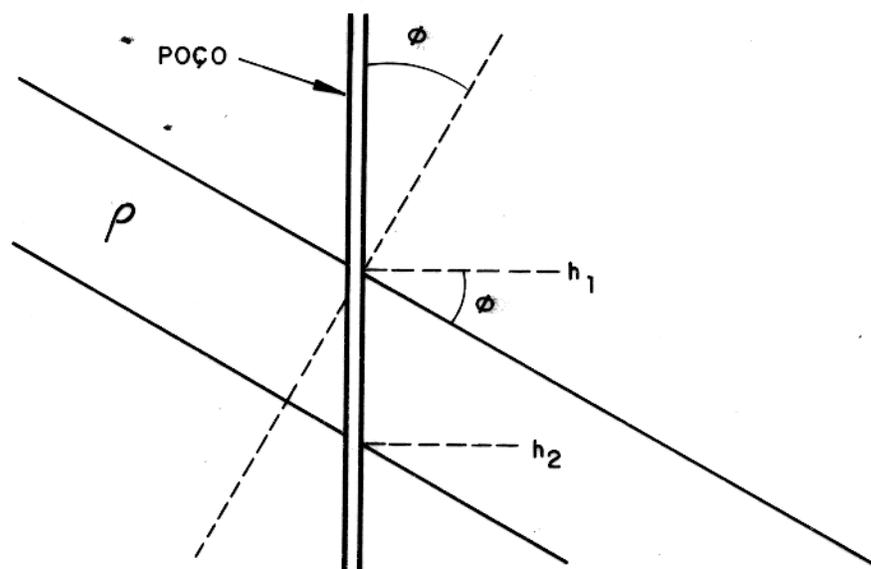


Figura 2.4 - Modelo bidimensional de camada inclinada com poço vertical (modificado a partir de Snyder & Merckel, 1977).

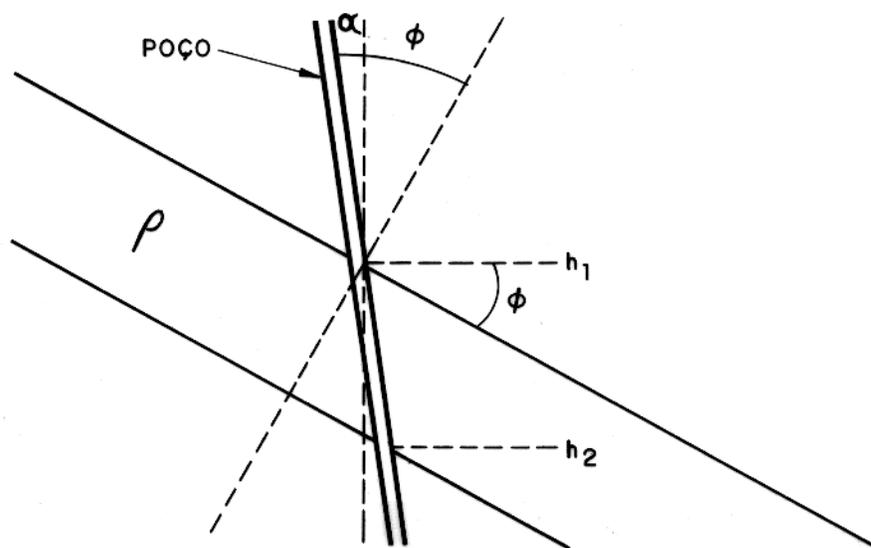


Figura 2.5 - Modelo bidimensional de camada inclinada com poço inclinado na direção de inclinação da camada (modificado a partir de Snyder & Merckel, 1977).

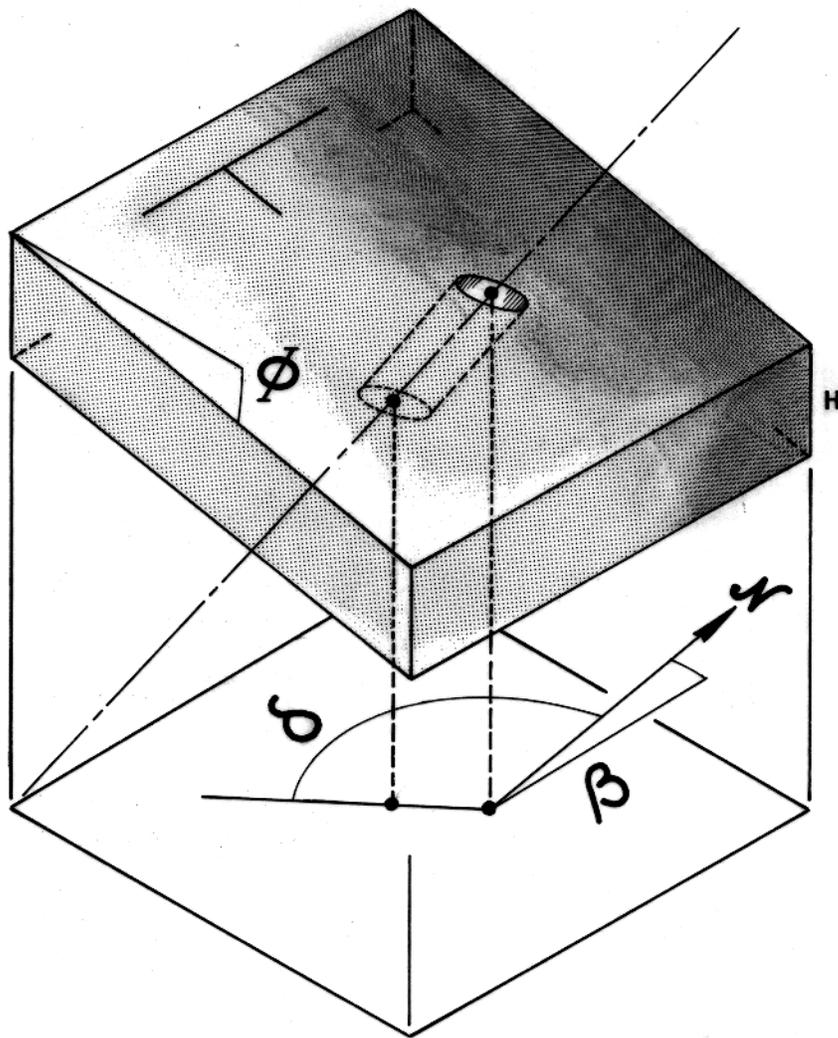


Figura 2.6 - Modelo tridimensional de camada inclinada com poço inclinado em direção diferente da inclinação da camada. (modificado a partir de Snyder & Merckel, 1977).

CAPÍTULO 3

O GRAVÍMETRO DE POÇO

O desenvolvimento do gravímetro de poço LaCoste & Romberg se deu a partir de meados dos anos 60, através de um acordo entre o U.S.G.S. e esta empresa norte-americana já fabricante de gravímetros de superfície (Beyer, 1982). A partir daí, os modelos de superfície foram modificados para operar sob condições de temperatura interna de até 100° C e em condições de poço. Posteriormente, sistemas eletrônicos de controle remoto e transmissão de dados à superfície foram desenvolvidos, possibilitando assim a operação do gravímetro em poços de até 4000 m. Com o passar dos anos e o sucesso no uso do gravímetro, foram desenvolvidos equipamentos de melhor qualidade e até cerca de três anos atrás, quinze gravímetros de poço encontravam-se em atividade em todo o mundo, trabalhando para companhias de petróleo ou órgãos governamentais.

3.1 – Princípios básicos de funcionamento

Os gravímetros de poço LaCoste & Romberg são constituídos de componentes eletrônicos e mecânicos responsáveis pela transmissão dos dados à superfície e de seu elemento sensor, responsável pela realização das leituras de gravidade.

O elemento sensor de um gravímetro de poço L & R consiste de uma haste horizontal com uma pequena massa fixa à sua extremidade livre. Variações no valor da gravidade provocam variações no peso da massa, movendo assim a haste para cima ou para baixo. Uma mola muito sensível é presa à superfície superior da haste e quando esta se move para cima ou para baixo um ajuste na mola faz com que a haste volte a posição horizontal. Este ajuste é realizado através do giro de um parafuso micrométrico o qual está conectado ao topo da mola através de um sistema de braçadeiras (Fig. 3.1). Todo sistema mecânico se encontra dentro de uma câmara de vácuo e a dimensão do elemento sensor do gravímetro de poço é cerca de uma vez e meia menor que a do gravímetro de superfície.

A obtenção dos dados de gravidade, a partir do levantamento gravimétrico de poço, é feito através de um processo diferente em relação aos perfis convencionais. O procedimento para aquisição dos dados pode ser grosseiramente dividido em três etapas: a) a seleção das estações de

leitura dentro do poço; b) a operação mecânica do gravímetro durante a realização das leituras, e c) a redução dos dados obtidos.

A localização das estações deve estar baseada no objetivo do levantamento a ser executado, e é com este fim que são selecionados intervalos entre as estações em geral litologicamente homogêneos. Na identificação dos limites dos intervalos a serem selecionados devem ser usados: a) todos os perfis disponíveis no poço para uma primeira seleção das estações de leitura, e b) o perfil correlação raio-gama—CCL ("Casing Collar Locator"), corrido antes de cada levantamento, com o gravímetro de poço já ajustado ao novo "datum", que comparado ao perfil raio-gama anterior, verifica se alguma diferença de profundidade ou alguma outra informação litológica evidente são encontradas. Então, as estações selecionadas no item "a" do parágrafo anterior são relocadas e assim definidas as profundidades das estações finais.

Na operação mecânica do gravímetro durante a realização do levantamento estão incluídas: a) a colocação do gravímetro dentro da sonda de pressão e a estabilização do mesmo às condições de temperatura do poço durante doze horas; b) teste da sensibilidade dos níveis longitudinais e transversais do gravímetro antes do início das leituras; c) velocidade máxima entre as estações de leitura em torno de 15 m/min para que sejam mínimos os efeitos de "tare"¹ e temperatura, e d) máximo cuidado na reocupação das estações de leitura, se possível marcando o cabo de perfilagem com sinais magnéticos ou fitas.

A tomada das leituras é realizada através de sinais eletrônicos recebidos ou enviados ao gravímetro por um "console" de superfície que converte os sinais em unidades de contagem. Através do uso de chaves no "console" que controlam os motores no gravímetro, é possível nivelar, rotacionar, travar e destravar a haste e posicioná-la à maneira que se desejar. Os sinais podem ser observados no "console" através de mostradores analógicos, que além dos sinais citados anteriormente, mostram ainda a temperatura do gravímetro. São realizadas em média quatro a cinco leituras por estação, e a partir destas leituras obtida a leitura final em unidades de contagem.

A redução dos dados é o processo que consiste na determinação da contagem obtida através dos mostradores analógicos, conversão desta contagem para valores em miligals através das

¹Termo em inglês usado para designar microdistensões da mola do elemento sensor do gravímetro que introduzem um desnível nos valores de leitura.

tabelas de calibração de cada gravímetro, e daí a determinação das correções de maré, de deriva do instrumento, de terreno e outras correções como desvios e alargamento do diâmetro do poço. A partir do valor obtido é calculado o gradiente vertical de gravidade ($\Delta g/\Delta z$) e então se chega ao valor final da densidade para o intervalo. As correções a serem aplicadas aos dados obtidos nas leituras se encontram com mais detalhe na seção 3.3.

3.2 – Características do equipamento

3.2.1 – Profundidade de Investigação

Como já descrito na introdução deste trabalho, uma das principais características do perfil gravimétrico é a possibilidade de investigação de um grande volume de rocha a partir do poço, em contraste com os perfis usuais corridos à poço aberto. A Figura 3.2 mostra a profundidade de investigação de alguns perfis usuais (sônico, neutrão e indução) com relação ao perfil gravimétrico.

Apesar da contribuição do campo gravitacional se originar de distâncias infinitas a partir do poço, na prática as contribuições dentro do modelo da camada infinita e horizontal são dominadas por fontes próximas a este. A profundidade de investigação de um perfil gravimétrico foi primeiramente estudada por McCulloch et al. (1968). Considerando uma densidade média causada por uma camada infinita e horizontal de espessura t e espaçamento entre as estações de observação Δz , e fazendo $t = \Delta z$, este autor estipulou o raio de investigação R em função de Δz (Fig. 3.3). Ainda na Figura 3.3 observamos que 90% do efeito é causado por uma distância de aproximadamente $5\Delta z$, e que para um maior valor de Δz , maior seria o raio de investigação R responsável por 90% do efeito. Outro exemplo pode ser observado na Figura 3.4, onde se mostra uma seção esquemática da parte de um intervalo horizontal infinito de espessura Δz com as distâncias a partir do poço em função de Δz . Além do efeito mostrado na Figura 3.3, pode-se observar também que 95% do efeito é causado por $10\Delta z$ e 99% do efeito por $50\Delta z$.

Basicamente, a profundidade de investigação do perfil gravimétrico é de extrema validade na avaliação de zonas fraturadas ou com porosidade secundária, e também em situações onde o poço se encontra próximo a uma zona com densidade anômala que não pode ser identificada a partir do perfil CDL, corrido a poço aberto.

3.2.2 – Resolução das leituras

A resolução das leituras com o gravímetro de poço, que é análoga à menor unidade de leitura possível de ser obtida por esta ferramenta, por vezes não é indicativa de sua precisão, porém possibilita uma boa idéia à respeito da sua sensibilidade. Condições de poço com ruído e grandes variações termais no equipamento e em seu sistema de transmissão de dados à superfície podem baixar a qualidade dos dados.

Robbins (1989) mostra que na maioria dos levantamentos onde uma única leitura é obtida a cada estação, a precisão varia entre $\pm 0,014$ a $\pm 0,020$ mgals. No caso de múltiplas repetições das leituras, uma precisão de até $\pm 0,006$ mgals pode ser obtida. A Figura 3.5 mostra a estimativa da resolução de algumas leituras realizadas com o gravímetro de poço L & R 6. As diferenças nas leituras de gravidade mostram que 86% das determinações se situam na faixa de $\pm 0,002$ mgals.

3.3 – Fatores que afetam as medidas de gravidade

Abaixo da superfície terrestre, o gradiente vertical de gravidade $\Delta g/\Delta z$ é função do gradiente de ar-livre F' , das irregularidades topográficas de superfície e das irregularidades geológicas de subsuperfície. Ainda é influenciado muito fortemente pela densidade do intervalo de rocha investigado entre duas estações de observação e também pode sofrer localmente significativa influência do tamanho e forma de um corpo próximo de onde o levantamento é executado (McCulloch, 1966). Logo, reescrevendo a equação fundamental da gravimetria de poço para os efeitos acima mencionados, temos

$$\Delta g = (F' - 4\pi G\rho) \Delta z + \Delta g_p + \Delta g_t + \Delta g_g,$$

onde como visto anteriormente, Δg é a diferença de gravidade, Δz o intervalo entre duas estações de observação consecutivas e F' o gradiente de ar-livre. Δg_p é a parte relativa ao gradiente vertical de gravidade observado, devido a distribuição irregular de massa causada por variações no diâmetro do poço, variações na espessura do revestimento ou presença de fluidos no poço; Δg_t é a parte relativa ao gradiente vertical de gravidade observado, devido a variações na topografia da superfície referente a um "datum", geralmente o topo do poço; e Δg_g é a parte relativa ao gradiente vertical de gravidade observado, devido a variação de densidade lateral tanto local como regionalmente. É o equivalente em subsuperfície a anomalia Bouguer observada em superfície (Smith, 1950).

Correções para os efeitos de superfície e poço são geralmente determinadas e aplicadas às leituras individuais de gravidade. Logo, a equação anterior pode ser escrita da forma

$$\frac{\Delta g}{\Delta z} = F' - 4\pi G\rho + \Delta g_g .$$

O efeito de Δg_g é sempre muito pequeno, tanto que valores precisos de densidade podem ser calculados a partir da equação anterior fazendo $\Delta g_g = 0$. Uma avaliação segura de Δg_g requer valores independentes de densidade que podem, por exemplo, ser obtidos através de um perfil de densidade ou através de análise de testemunho. Mesmo quando Δg_g apresenta valores mensuráveis, freqüentemente eles variam pouco em relação aos intervalos de interesse e, mesmo neste caso, valores confiáveis de densidade podem ser obtidos ignorando-se Δg_g .

Partindo-se da premissa de que os valores de densidade obtidos com o gravímetro de poço requerem grande precisão, existem algumas correções que devem ser aplicadas às leituras de gravidade. Algumas dessas correções, comuns nos levantamentos de superfície, podem ser realizadas durante a obtenção das leituras, através de uma rotina de manobras executadas durante o levantamento, enquanto outras correções são aplicadas aos dados após o levantamento.

3.3.1 – Correção na calibração

Como os valores de gravidade obtidos a partir dos gravímetros de poço são geralmente dados em unidades de contagem, cada equipamento possui uma tabela na qual as contagens obtidas pelo elemento sensor são convertidas em miligals através de uma escala de fatores de correção. A Tabela 3.1 mostra a calibração para o gravímetro de poço L & R 6, bem como uma descrição da conversão das unidades de contagem em termos de miligals.

3.3.2 – Correção para o efeito de maré

O efeito das forças de maré se resume na variação com o tempo da atração gravitacional da Lua (principalmente) e do Sol sobre um ponto na Terra e ocorre devido à posição relativa desses corpos celestes.

Este efeito se dá sobre um período de seis horas e pode chegar a 300 microgals ou 0,3 mgal, o que leva a uma taxa aproximada de 1 microgal/minuto (Fig. 3.6). Ou seja, em alguns minutos temos uma variação que pode ser maior que a precisão do equipamento. Logo, uma correção para

o efeito de maré deve ser aplicada para se manter uma precisão desejada nas leituras de gravidade.

TABELA 3.1
TABELA DE CALIBRAÇÃO
 (Gravímetro de poço L & R 6)

contador	valor em mgals	fator de correção	contador	valor em mgals	fator de correção
000	000,00	0,86674	1500	1296,9480	0,86534
050	43,3370	0,86619	1550	1340,2150	0,86549
100	86,6465	0,86570	1600	1383,4895	0,86564
150	129,9315	0,86532	1650	1426,7715	0,86579
200	173,1975	0,86496	1700	1470,0610	0,86593
250	216,4455	0,86469	1750	1513,3575	0,86604
300	259,6800	0,86447	1800	1556,6595	0,86617
350	302,9035	0,86430	1850	1599,9680	0,86627
400	346,1185	0,86418	1900	1643,2815	0,86636
450	389,3275	0,86410	1950	1686,5995	0,86644
500	432,5325	0,86403	2000	1729,9215	0,86648
550	475,7340	0,86399	2050	1773,2455	0,86651
600	518,9355	0,86397	2100	1816,5710	0,86650
650	562,1320	0,86399	2150	1859,8960	0,86643
700	605,3315	0,86402	2200	1903,2175	0,86606
750	648,5325	0,86405	2250	1946,5405	0,86662
800	691,7350	0,86412	2300	1989,8715	0,86672
850	734,9410	0,86420	2350	2033,2075	0,86674
900	778,1510	0,86426	2400	2076,5445	0,86670
950	821,3640	0,86428	2450	2119,8715	0,86666
1000	864,5780	0,86431	2500	2163,2075	0,86664
1050	907,7935	0,86436	2550	2206,5445	0,86662
1100	951,0115	0,86446	2600	2249,8795	0,86662
1150	994,2345	0,86462	2650	2293,2125	0,86660
1200	1037,4665	0,86475	2700	2336,5445	0,86653
1250	1080,7030	0,86480	2750	2379,8755	0,86642
1300	1123,9430	0,86487	2800	2423,1840	0,86625
1350	1167,1865	0,86496	2850	2466,4965	0,86604
1400	1210,4345	0,86508	2900	2509,7985	0,86579
1450	1253,6885	0,86519	2950	2553,0880	0,86555
			3000	2596,3655	

Conversão das unidades de contagem em mgals

Seja uma leitura de 1676,910 u.c.

- 1) Subtrai-se da leitura obtida, o valor inferior a contagem mais próximo na tabela 3.1
 $1676,910 - 1650,000 = 26,910$
- 2) Multiplica-se o resultado pelo fator de correção correspondente na tabela 3.1
 $26,910 \times 0,86579 = 23,292$, e
- 3) Adiciona-se o resultado ao valor em miligals correspondente na tabela 3.1
 $1650,000 + 23,292 = 1673,292$.

Tabela 3.1 – Tabela de calibração para o gravímetro de poço LaCoste & Romberg 6 e cálculo para conversão das unidades de contagem em miligals (modificada a partir de Beyer, 1982).

3.3.3 – Correção de deriva

Todo gravímetro, seja ele de superfície ou de poço, está sujeito a sofrer variações nas suas leituras de gravidade, que são causadas por trocas nas características do instrumento durante o seu uso. Essas mudanças, ou deriva do instrumento, resultam principalmente a partir de variações na temperatura do poço, erros no cálculo da profundidade, desvios a partir da vertical, choques físicos ou histerese da mola do elemento sensor (Pennybaker, 1988). A magnitude destes componentes varia com o tipo de gravímetro usado e as condições do poço. As correções de deriva são realizadas durante o levantamento, através da reocupação de estações base.

3.3.4 – Correção para os efeitos de poço (ΔG_p)

Os efeitos de desabamento são negligíveis na maioria dos casos. Somente quando o poço atinge valores extremos da ordem de 50 cm de diâmetro estes efeitos devem ser considerados. Com o uso do perfil "caliper" é possível se calcular esses efeitos no campo, porém o processo é muito tedioso. Geralmente é mais interessante se evitar as zonas de desabamento, planejando estações de observação afastadas de 30 cm a 1 m acima e abaixo destas zonas. Desta maneira, nenhuma correção será necessária. Beyer (1982) cita outras zonas dentro do poço que devem ser evitadas, tais como

- a) O topo do poço, neste caso a estação mais próxima deve estar afastada no mínimo 6,5 m;
- b) O fundo do poço, da mesma maneira deve a estação mais próxima estar afastada no mínimo 6,5 m;
- c) O contato fluido-ar no poço, neste caso a distância mínima da estação mais próxima deve ser 30 cm, e
- d) O fim da seqüência de revestimento, as estações acima e abaixo devem estar afastadas no mínimo 60 cm.

3.3.5 – Correção para os efeitos de terreno (ΔG_t)

De maneira diferente dos levantamentos de superfície, os levantamentos com gravímetro de poço estão interessados na obtenção do gradiente vertical de gravidade $\Delta g/\Delta z$ ao contrário de valores absolutos de gravidade. Daí que, as correções de terreno não são tão rígidas quanto nos levantamentos de superfície. Contudo, para profundidades menores que 1200 m e em regiões onde a

topografia se apresenta acidentada, é necessária a correção adequada para estes efeitos. Os efeitos de terreno a grandes profundidades produzem gradientes lineares e assim levam a erros constantes nos valores de densidade calculados.

Levantamentos a pequenas profundidades podem ser influenciados por problemas como escavações e construções nas proximidades do poço, afetando consideravelmente os valores de densidade calculados (Schmoker, 1980). Estes efeitos são insignificantes para leituras abaixo de algumas dezenas de metros.

3.3.6 – Correção para efeitos de desvio no poço

Geralmente as correções para desvio na direção dos poços a partir da vertical são feitas simplesmente através da correção de profundidade das estações, ou seja,

$$\Delta z_{verd} = (\Delta z_{med}) \cos \theta ,$$

onde Δz_{verd} é a profundidade real, Δz_{med} é a profundidade medida e θ o ângulo de inclinação com a vertical (Beyer, 1982).

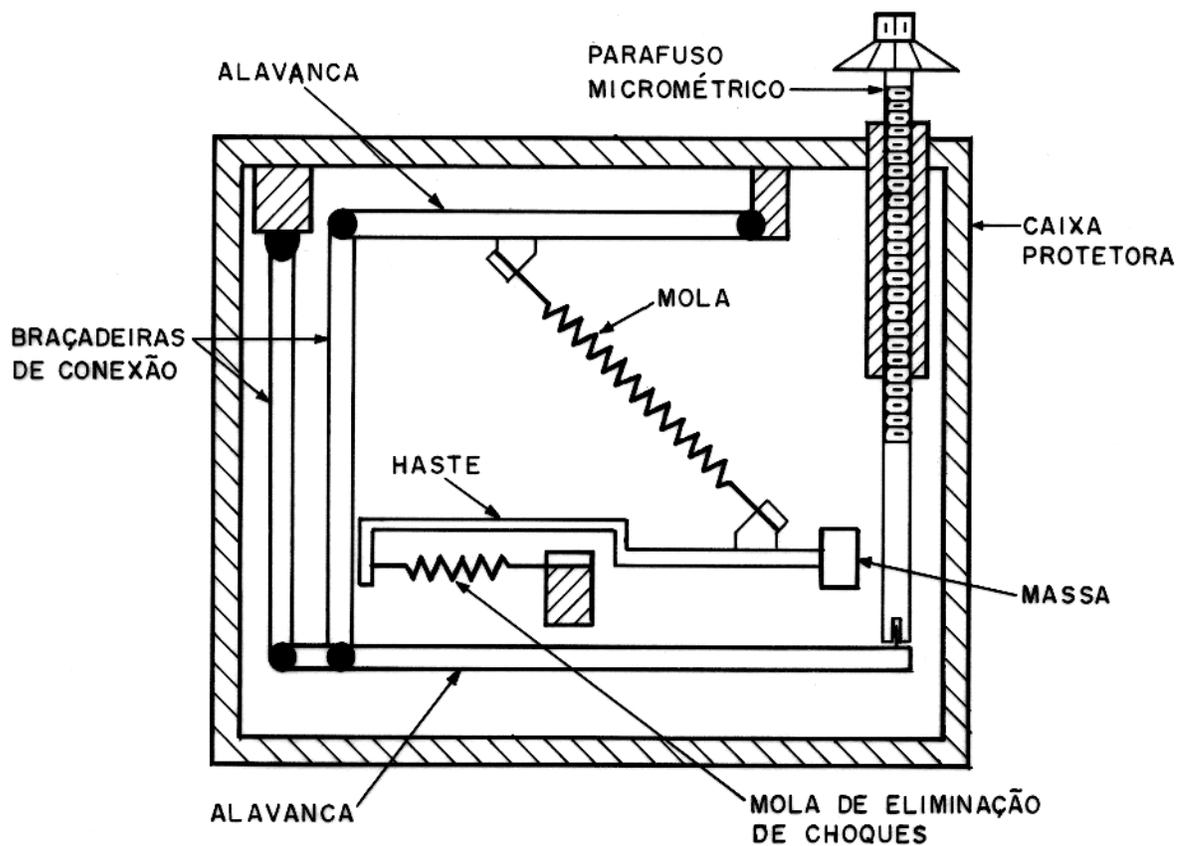


Figura 3.1 - Diagrama do elemento sensor dos gravímetros de poço LaCoste & Romberg (modificado a partir de Nettleton, 1976).

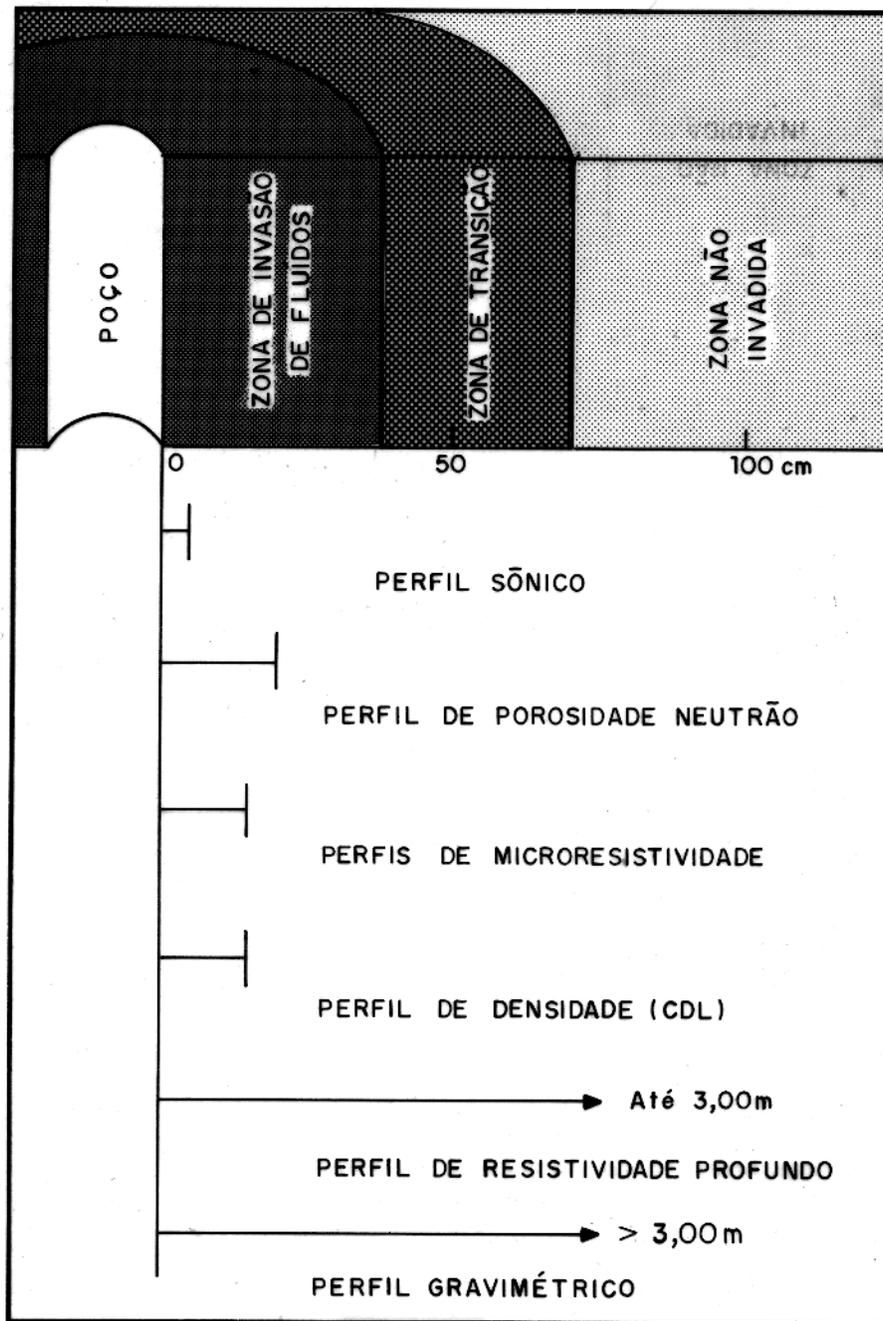


Figura 3.2 - Comparação da profundidade de investigação de diversos tipos de perfis (modificado a partir de Black & Herring, 1983).

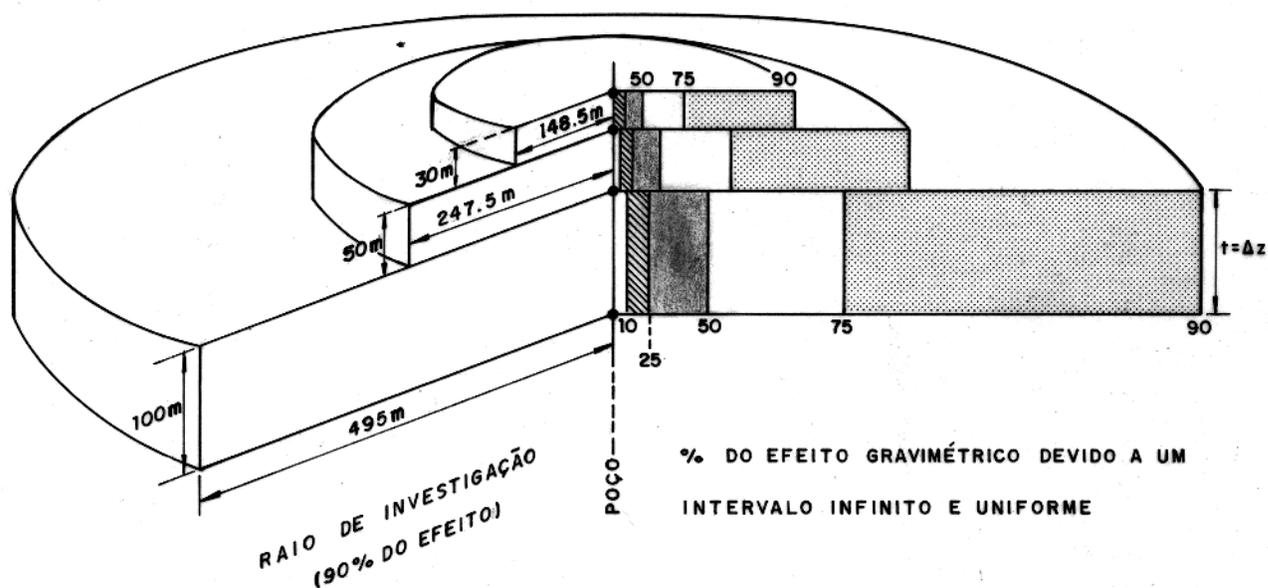


Figura 3.3 - Diagrama mostrando a relação entre profundidade de investigação e a espessura de um intervalo infinito e uniforme (modificado a partir de McCulloh et al., 1968)

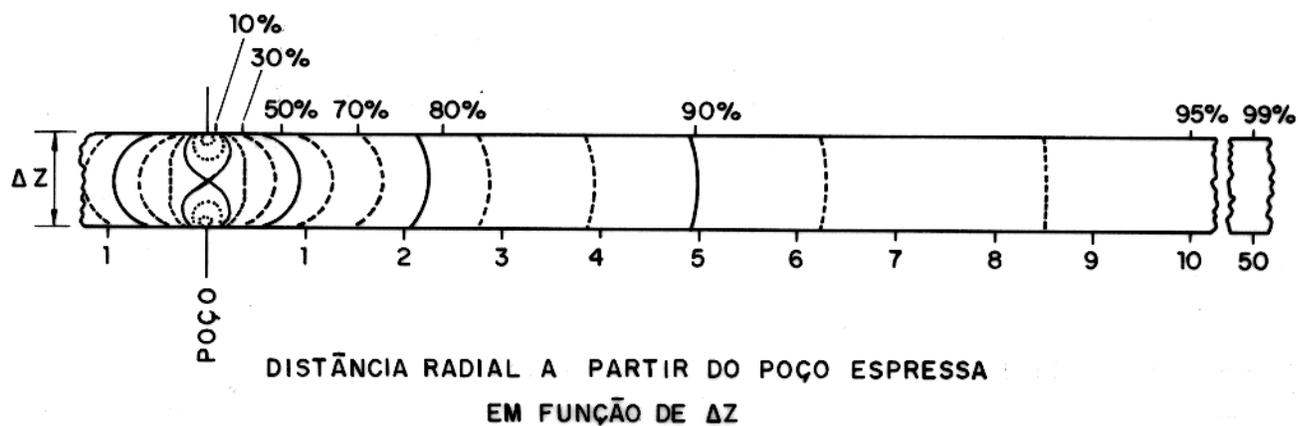


Figura 3.4 - Seção esquemática mostrando a distância radial de investigação a partir do poço, em termos de Δz , para 50%, 70%, 80%, 90%, 95% e 99% da atração de um intervalo infinito e uniforme (modificado a partir de Beyer, 1982).

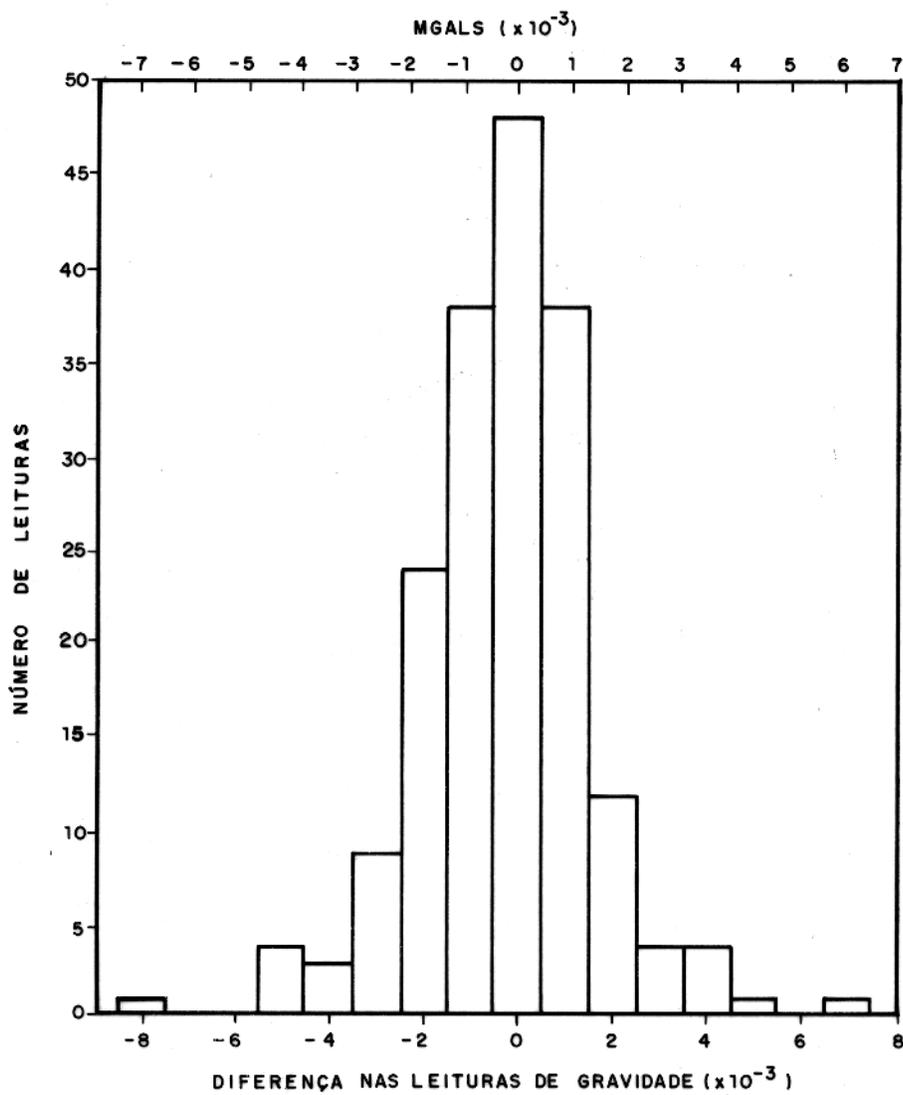


Figura 3.5 - Histograma mostrando a resolução das leituras executadas com o gravímetro de poço L & R 6 durante levantamento em 2 poços na Califórnia em 1981 (modificado a partir de Beyer, 1982).

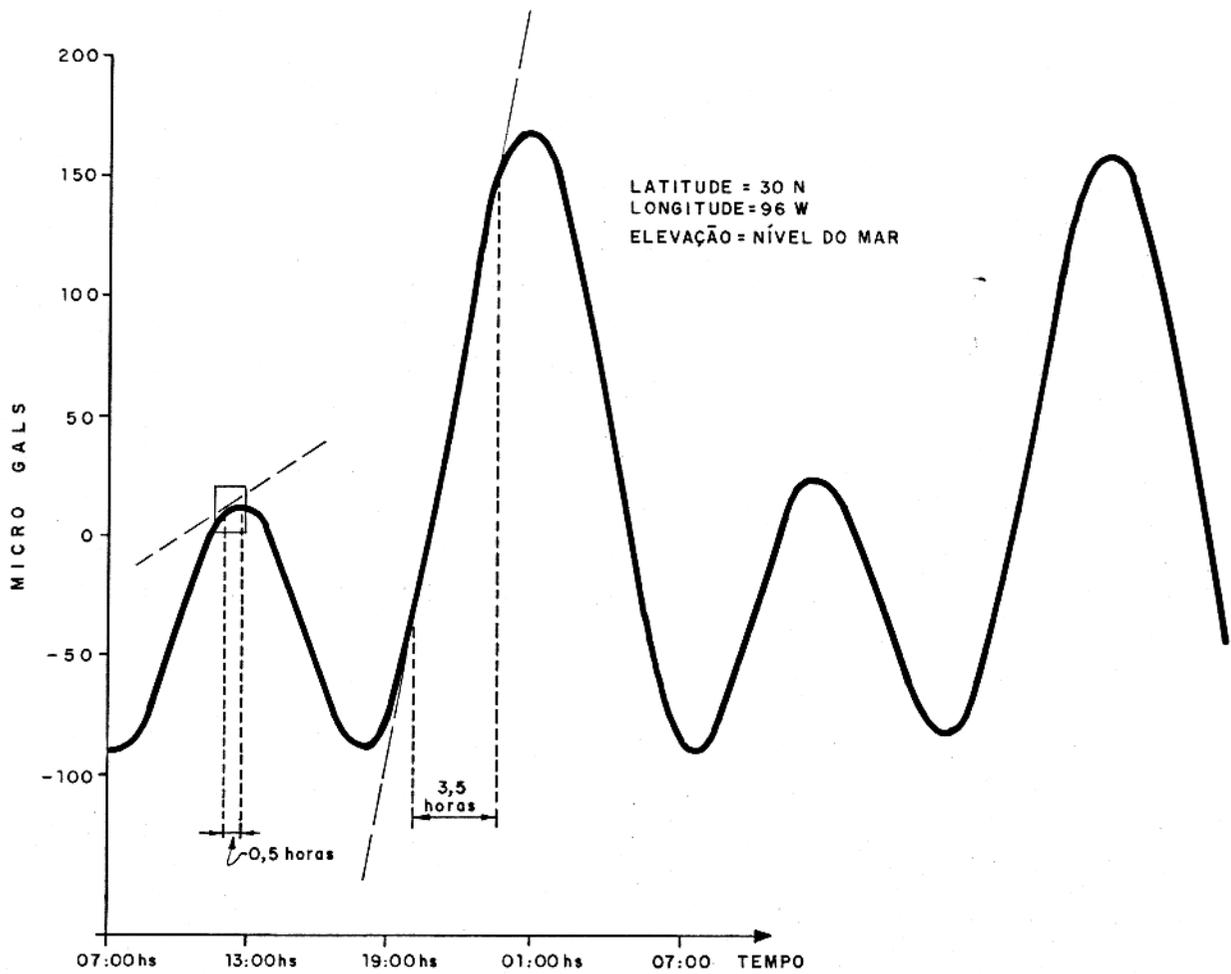


Figura 3.6 - Variação temporal do efeito produzido pelas marés (modificado a partir de EDCON, 1977).

CAPÍTULO 4

O LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO DE POÇO NO BRASIL

O levantamento gravimétrico de poço no Brasil, realizado no período de outubro a novembro de 1990, teve como objetivos principais o teste do equipamento em bacias sedimentares brasileiras, sua capacidade na caracterização de unidades litológicas, a comparação com os perfis densidade (CDL) e a reinterpretação de parâmetros de formação calculados anteriormente.

O equipamento utilizado foi o gravímetro de poço LaCoste & Romberg 6, de propriedade do U.S.G.S., que o emprestou à Petrobrás S.A. para os levantamentos no Brasil, juntamente com o técnico Frederick G. Clutsom, responsável pela operação do equipamento. O projeto resultou de uma proposta de trabalho de Tese de Mestrado executada por Evans (1989) depois modificada por Evans & O'Brien (1989) e desenvolvida pelo Departamento de Geofísica da UFPa em cooperação com o U.S.G.S. e a PETROBRÁS S.A..

A região escolhida para a realização do levantamento foi a Bacia Sergipe-Alagoas, a princípio por ser uma bacia que vem sendo explorada há algum tempo e é bastante conhecida, logo, facilitando uma avaliação dos resultados a serem obtidos com o gravímetro de poço. Também por apresentar um problema estrutural de grande interesse, como a presença de zonas fraturadas no topo do embasamento com boa produção de óleo. O terceiro motivo da escolha desta região foram as facilidades operacionais da EPP-1 (Equipe de Perfilagem da Petrobrás - 1), que possui sua base em Aracaju/SE.

A partir da definição da Bacia Sergipe-Alagoas, passou-se então à identificação de uma área nas proximidades da base da EPP-1 que possuísse características geológicas que possibilitassem o teste com o gravímetro de poço. Em seguida, faz-se uma discussão das etapas do levantamento, desde a calibração na cidade do Rio de Janeiro/RJ até a perfilagem gravimétrica propriamente dita.

4.1 - A calibração do equipamento

Em virtude da realização do levantamento no Brasil, o gravímetro de poço L & R 6 necessitou de um primeiro ajuste no seu elemento sensor, executado na própria empresa fabricante

do equipamento, LaCoste & Romberg Inc., Austin, Texas, USA. Este ajuste tornou-se necessário devido à diferença de latitude entre a área de realização do levantamento (Bacia SE/AL) e a cidade de Denver, Colorado (USA), onde se encontra a base do U.S.G.S..

Após o ajuste no elemento sensor do gravímetro, o que possibilitava a realização de levantamentos entre 0° e 26° de latitude, tornou-se necessário uma calibração do equipamento no Brasil, envolvendo uma variação de aproximadamente 300 mgals no valor absoluto de g . Esta variação no valor de g poderia ser obtida através de leituras sucessivas com espaçamento na elevação de 2000 m, ou por leituras sucessivas com variação de 500 km na latitude.

Primeiramente foi executada uma tentativa de calibração do equipamento em um circuito de estações gravimétricas do Observatório Nacional / IBGE localizadas na Serra de Itatiaia/RJ, porém, problemas operacionais de transporte fizeram com que o gravímetro não mantivesse a repetibilidade esperada nas leituras durante a reocupação das estações. Em virtude dos problemas encontrados na primeira tentativa, decidiu-se realizar a calibração entre as cidades do Rio de Janeiro e Aracaju, que apresentam distância N-S de 1400 Km aproximadamente e uma variação de 592,54 mgals no valor absoluto de g . Foi então realizada uma leitura na estação gravimétrica do Observatório Nacional e outra leitura na estação gravimétrica da Estação Ferroviária de Aracaju. A partir daí obteve-se a diferença das leituras observadas, que comparada com a diferença computada pelo Observatório Nacional para o valor absoluto de g , forneceu o fator de correção a ser aplicado às leituras com o gravímetro de poço LaCoste & Romberg 6 durante os levantamentos. Os dados referentes a localização das estações e as leituras obtidas bem como o valor final do fator de correção encontrado podem ser observados na Tabela 4.1.

4.2 – A seleção da área e dos poços

O processo de escolha da área e dos poços onde seriam realizados os levantamentos com o gravímetro de poço seguiu alguns critérios de ordem técnica e operacional exigidos pelo equipamento. Dentro dos objetivos do levantamento, a tentativa da identificação de estruturas "off-hole", ou seja, afastadas do poço, e o teste do equipamento, a seleção da área baseou-se em regiões com baixos gradientes verticais Bouguer (Moraes, 1991) e com boa densidade de poços relativamente próximos, com distância entre si menor que 1000 m. A avaliação individual dos poços, baseada em relatórios técnicos da Petrobrás visava aspectos como:

1. operacionalidade – era necessário que o poço possuísse diâmetro de revestimento acima de 15 centímetros, inclinação máxima de 12° , que apresentasse boas condições mecânicas dentro do intervalo não-revestido e que dentro do intervalo de produção as condições de limpeza fossem adequadas, ou seja, pouca ou nenhuma presença de parafina, resíduos do período em que o poço esteve em produção, e
2. interpretação – era necessário que o poço possuísse características favoráveis a interpretação dos dados, incluindo tipos de perfis corridos a poço aberto dentro do intervalo de interesse, resultado dos testes de formação e análises do setor de geologia.

Após avaliação final realizada em conjunto com a equipe do setor de produção da RPNE / DENEST / PETROBRÁS, foram escolhidos os poços CP-508, CP-658 e CP-810, próximo a cidade de Rosário do Catete/SE (Fig. 4.1).

TABELA 4.1
CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

	BASE RIO 31/10/90 - 15:06hs	BASE ARACAJU 03/11/90 - 13:40hs
latitude	22°53'42" S	10°54'12" S
longitude	43°13'30" W	37°4'54" W
elevação	18,00 m	8,99 m
leitura (u.c.)	2306,886	1620,407
leitura (mgals)	1995,840	1401,155
leitura corrigida (mgals) *	1995,837	1401,286
valor base do O.N. (mgals)	8791,710	8199,160

diferença das leituras = 594,551 mgals
diferença das bases = 592,540 mgals
fator de correção das leituras = 1,003461
(*) correção para o efeito de maré

Tabela 4.1 - Tabela apresentando as leituras observadas durante a calibração do gravímetro de poço L & R 6 e o cálculo do fator de correção a ser aplicado as leituras.

4.3 – A seleção das estações de leitura

A seleção das estações de leitura em cada poço teve como objetivo principal a caracterização de possíveis zonas anômalas dentro do embasamento produtor e também em intervalos produtores acima deste, onde se pudesse melhor identificar os conjuntos litológicos e obter melhores informações com relação aos parâmetros de formação, calculados a partir dos perfis convencionais e os calculados a partir do perfil gravimétrico. Com estes objetivos, procurou-se fazer uso dos perfis raio-gama e densidade corridos a poço aberto, dos perfis de correlação raio-gama–CCL e dos testes de formação disponíveis em cada poço para se determinar os intervalos a serem perfilados.

Com base nas informações já descritas, foram selecionadas nos três poços estações de leitura dentro do embasamento produtor e num intervalo médio de 150 m acima deste, com variações de poço para poço. Além das zonas de interesse já descritas, foram também selecionadas estações de leitura até a superfície, baseadas apenas nos perfis de correlação raio-gama, como suporte à integração gravimétrica superfície/poço (Moraes, 1991). Ainda foram selecionadas dentro do conjunto de estações aquelas que se comportariam como estações base, usadas para correção do efeito de deriva do instrumento. Os critérios para a escolha das estações base foram primeiramente a posição das estações em relação aos principais conjuntos litológicos, verificados através dos perfis raio-gama, neutrão e densidade e em seguida a quantidade de estações entre cada estação base, nunca superando a cinco estações, para que não se perdesse o controle da deriva instrumental.

4.4 – A perfilagem gravimétrica de poço

Como descrito no Capítulo 3.1, a realização do levantamento gravimétrico de subsuperfície, ou perfil gravimétrico de poço, é precedido de uma série de detalhes não comuns nas operações de perfilagem usuais. Antes da execução de cada levantamento gravimétrico nos três poços escolhidos, foram realizados perfis de correlação raio-gama–CCL, obtidos através da unidade de perfilagem da Petrobrás/EPP-1. Os perfis de correlação nos três poços foram executados com o objetivo de ajustar as profundidades entre os perfis convencionais corridos a poço aberto já existentes com o perfil gravimétrico, a fim de se estabelecer os intervalos e profundidades das estações de leitura previamente escolhidas através dos perfis densidade e raio-gama.

Durante a execução dos perfis de correlação, foi também observado que as profundidades

de fundo nos três poços investigados não se encontravam como na época da realização dos perfis a poço aberto. Possivelmente desmoronamentos da parede do poço, em intervalos próximos ao topo do embasamento, fizeram com que a profundidade final destes poços estivesse acima do que o apresentado nos perfis a poço aberto.

Como a sonda usada durante os levantamentos com gravímetro de poço apresentava características bastante diferentes da sonda usada durante a realização dos perfis convencionais a poço aberto, foi necessário a determinação de um novo "datum" para a realização dos levantamentos. Este novo "datum" foi considerado como o topo do BOP ("Blow-out Preventer") para os três poços. Já durante a realização dos perfis de correlação raio-gama-CCL este procedimento foi usado e a partir daí, realizado o ajuste das profundidades. Após a execução dos perfis de correlação, e depois de reajustados os intervalos de profundidade das estações de leitura baseados no novo "datum", foi descido no poço a sonda de pressão ("housing") que envolve o gravímetro. O objetivo deste procedimento foi a averiguação de possíveis problemas de obstrução no intervalo revestido devido à presença de parafina ou mesmo estrangulamento do poço em intervalos não-revestidos. Apesar do perfil de correlação não ter detectado este tipo de problema em nenhum dos três poços investigados, ainda assim era necessário a descida da sonda, em função do maior diâmetro da mesma. Ainda foram simuladas neste procedimento as paradas em cada estação de leitura e os eventuais retornos às estações base, como também as velocidades compatíveis com as que seriam usadas durante os levantamentos.

Em seguida à realização dos testes com a sonda de pressão, teve início a instalação do gravímetro e dos componentes eletrônicos na mesma. A instalação deu-se sempre na posição vertical e na boca do poço. O gravímetro foi posicionado na parte inferior da sonda enquanto os componentes eletrônicos do equipamento se posicionam acima deste. Já conectado a unidade de perfilagem da Petrobrás, o equipamento ainda passou por um período de estabilização às condições de operação em cada poço até o início das leituras. Este período variou de poço para poço, mas em média foi de 12 horas.

As condições atmosféricas da região – presença de vento forte durante o transcorrer do dia – aliada à grande sensibilidade do gravímetro, fez com que fosse necessário evitar qualquer tipo de ruído relativo a movimento dos cabos durante a realização das leituras. Logo, ficou decidido que os

levantamentos seriam realizados durante a noite e ainda assim seriam utilizadas barras do tipo "T" para fixação do cabo de perfilagem, dando maior confiabilidade aos dados a serem obtidos, apesar de tornar mais vagaroso o levantamento.

As leituras em cada poço foram iniciadas com a marcação da "profundidade zero" no topo do BOP, de acordo com os perfis de correlação anteriormente realizados. O gravímetro foi então descido às estações previamente selecionadas, onde foram realizadas as leituras. Quando o gravímetro atingia uma estação base, realizava-se as leituras referentes a esta estação e retornava-se com o gravímetro à estação base anterior para nova leitura e cálculo da deriva instrumental. O gravímetro então retornava à estação base de origem onde eram realizadas novas leituras e em seguida prosseguia normalmente às outras estações, até que atingisse uma nova estação base onde o processo descrito se repetia (Fig 4.2). Após a leitura da última estação do poço, retornava-se à primeira estação base, onde era realizada outra leitura novamente para checagem da deriva e, então, estava encerrado o levantamento.

Durante a realização dos levantamentos foram encontrados alguns problemas que fizeram com que a rotina normal de execução das leituras, descrita no parágrafo anterior e ilustrada na Figura 4.2, fosse alterada. Nos poços 658 e 810 houve problemas na realização das leituras nos intervalos entre 195,00 m e 599,00 m e entre 165,00 m e 420,00 m, respectivamente. Nestes intervalos não foi possível obter o nivelamento do gravímetro devido a grande movimentação sofrida por este. A possível causa desta movimentação seria a percolação de gás, formação de bolhas dentro destes intervalos. O procedimento efetuado foi a ocupação uma a uma das profundidades de cada estação previamente escolhida até que se pudesse obter o nivelamento do gravímetro e que as condições de ruído fossem mínimas, ou seja, onde pudesse se considerar o gravímetro estacionário. Devido a estes problemas e também em virtude da realização dos levantamentos somente durante à noite, gerou-se em cada poço dois conjuntos de leitura que posteriormente viriam a ser tratados de forma independente. Também foi observado, após os levantamentos nos poços 508 e 810, que havia uma diferença de 0,1 unidades de contagem (u.c.) entre o contador analógico do gravímetro e o contador no "console" de superfície. Esta diferença e os procedimentos usados para amenizar seus efeitos serão discutidos no Capítulo 5.

4.5 - A realização das leituras

O procedimento para a tomada das leituras em cada estação foi normalmente um processo vagaroso e dependeu muito das condições encontradas em cada estação.

Durante os levantamentos em cada poço, o gravímetro moveu-se com velocidades entre 9 e 12 m/min, tanto subindo quanto descendo. Rasmussen (1973) cita velocidades máximas de 11 m/min para estações com intervalo de profundidade até 30 m e 22 m/min para estações com intervalos maiores que 30 m, sendo o início e o fim de cada movimentação executados de forma gradual, com as velocidades sendo aumentadas e diminuídas lentamente. O motivo deste procedimento se prende a possibilidade da ocorrência de choques físicos entre o equipamento e a parede do poço e também o cuidado com relação a aceleração do instrumento durante os deslocamentos. No caso deste levantamento, mesmo entre estações com intervalo de profundidade maior que 30 m as velocidades de deslocamento nunca superaram os 12 m/min.

O processo usado durante as leituras foi o mais uniforme possível. Após o gravímetro atingir a profundidade desejada foram necessários geralmente dois minutos para estabilização e nivelamento do elemento sensor. O nivelamento era executado através de ajustes nos níveis transversais e longitudinais do gravímetro a partir do "console" de comando instalado dentro da unidade de perfilagem. Após ajuste dos níveis do gravímetro e desde que fossem mínimos os ruídos dentro do poço, o gravímetro era considerado estacionário. Então, o elemento sensor era destravado e não mais que dez minutos eram necessários à obtenção das leituras. O tempo médio gasto para a realização das leituras em cada estação durante todo o levantamento foi de 4,50 minutos (Fig. 4.3). Depois de realizadas as leituras, o elemento sensor do gravímetro era então travado e este encaminhado à nova estação, onde o processo de leitura se repetia. Era importante que durante o tempo em que o elemento sensor do gravímetro se encontrava destravado, as condições de ruído dentro do poço ou fora deste (movimentação dos cabos) fossem mínimas.

A Tabela 4.2 mostra algumas leituras tomadas em três estações do poço CP-508 e também o valor final em unidades de contagem para cada estação. As leituras finais em termos de unidades de contagem para cada estação nos três poços perfilados podem ser observadas nas Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice I.

TABELA 4.2

Poço CP-508

Profundidade (m)	Leituras (u.c.)	Hora	leitura final (u.c.)
109,00	1634,937	01:54	1634,973
	1634,960	01:55	
	1634,977	01:56	
	1634,994	01:57	
294,00 (b)	1658,831	06:58	1658,940
	1658,872	06:59	
	1658,894	07:00	
	1658,910	07:00	
	1658,921	07:01	
	1658,930	07:02	
	1658,940	07:03	
630,00	1700,144	05:19	1700,192
	1700,166	05:20	
	1700,186	05:21	
	1700,218	05:22	
	1700,219	05:23	

Tabela 4.2 - Leituras obtidas em três estações do poço CP-508 com a determinação da leitura final em unidades de contagem. A letra (b) significa que as leituras foram tomadas durante a primeira reocupação da estação.

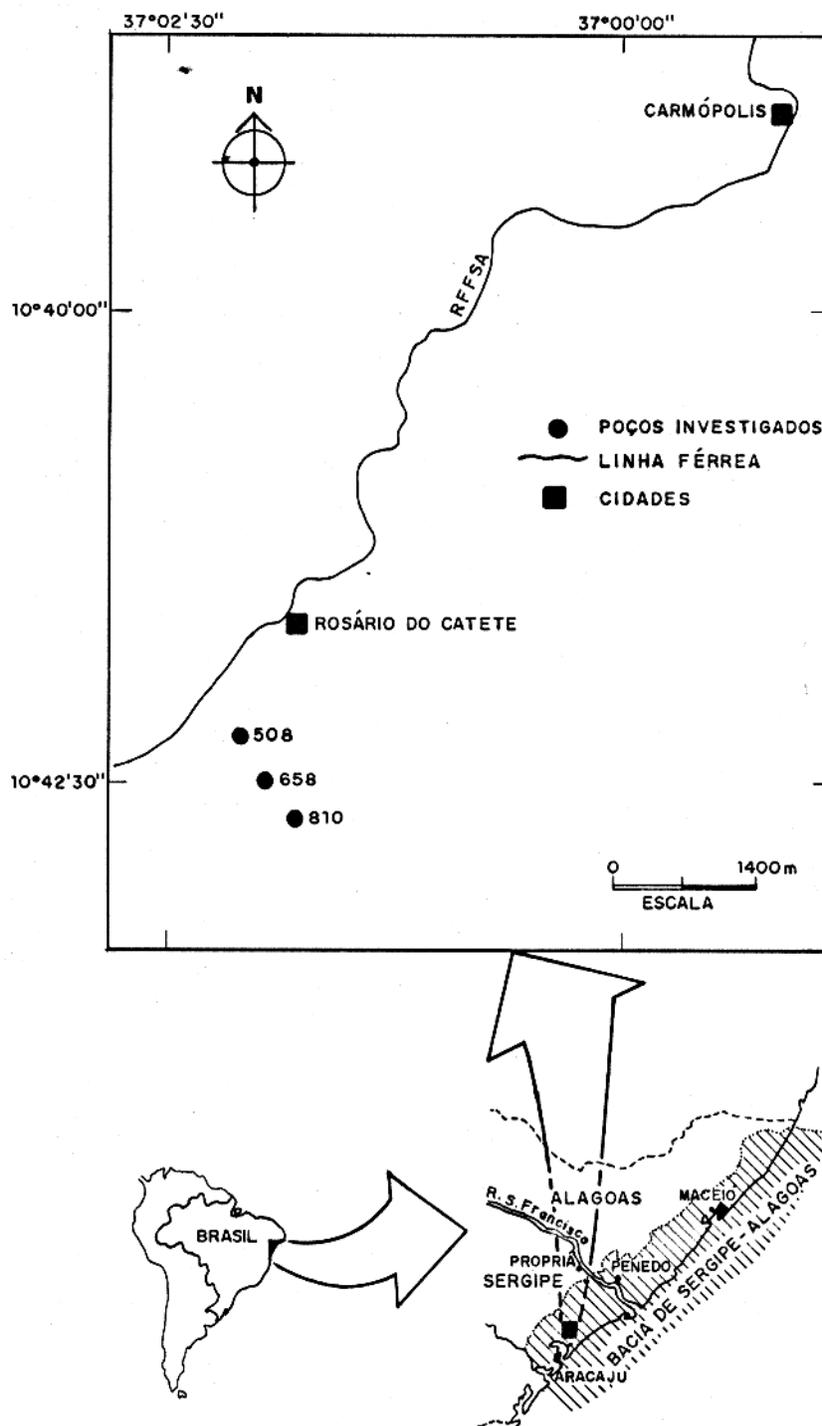


Figura 4.1 - Mapa apresentando a área de realização do levantamento de campo com a indicação dos poços investigados.

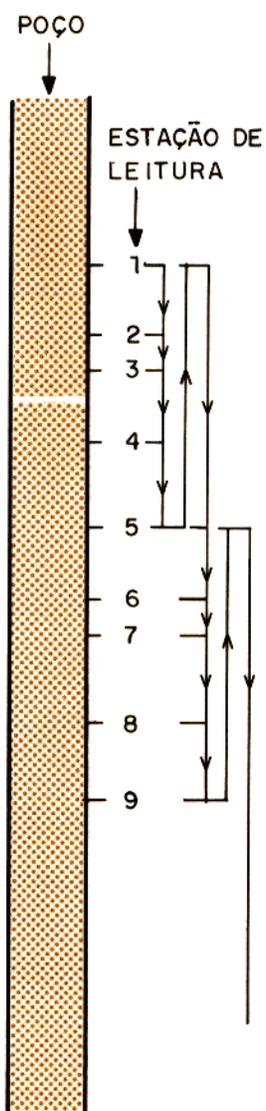


Figura 4.2 - Diagrama mostrando o processo de ocupação das estações para a realização das leituras no levantamento com o gravímetro de poço. As estações 1, 5 e 9 são estações base.

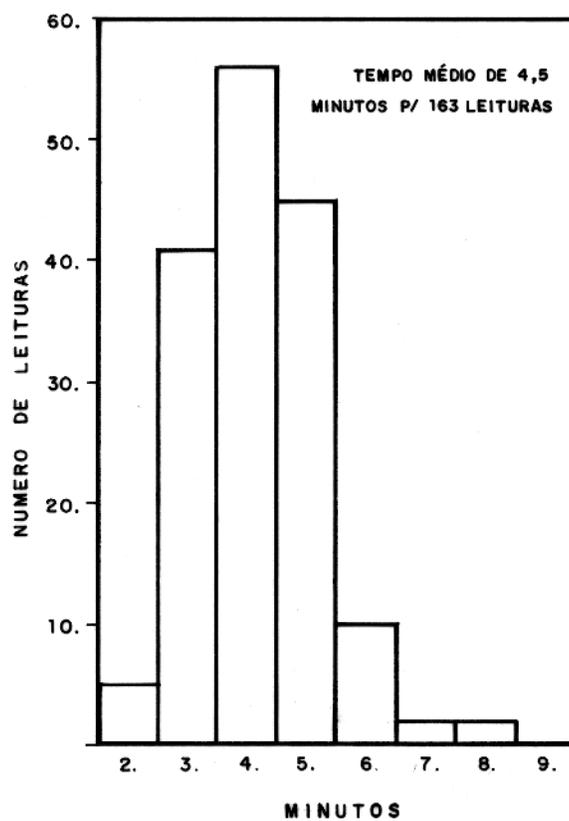


Figura 4.3 - Histograma mostrando o tempo médio de leitura em cada estação no levantamento executado nos tres poços.

CAPÍTULO 5

A REDUÇÃO DOS DADOS OBSERVADOS

O processo de redução dos dados consistiu na transformação dos valores de leitura em unidades de contagem obtidos durante a realização dos levantamentos para valores em miligals, correção dos efeitos de maré, determinação da deriva do equipamento e as possíveis correções de "tare", correção de terreno e o cálculo dos valores de densidade para cada intervalo investigado. Finalmente, foi realizada a inclusão nos valores de densidade dos efeitos referentes à gradientes verticais anômalos presentes na região do levantamento. A seqüência utilizada para redução dos dados de poço pode ser observada no fluxograma da Figura 5.1.

A etapa de transformação dos valores obtidos em unidades de contagem para valores em miligals e a correção dos efeitos de maré foi realizada através do programa de redução de dados gravimétricos (GREduc.FOR) do U.S.G.S., adaptado para as leituras em poço (Moraes, 1991). O programa desenvolveu os mesmos cálculos apresentados na Tabela 3.2, acrescentando ainda o fator de correção (F) para as leituras, obtido durante a fase de calibração do equipamento, ou seja,

$$g_{(mgal)} = (((L - V) \times f) + M) \times F,$$

onde L é a leitura em unidades de contagem, V é o valor em unidades de contagem inferior a L mais próximo na Tabela 3.2, f é o fator de correção na tabela relativo a V, M é o valor em miligals na tabela relativo a V e F é o fator de correção das leituras obtido durante a calibração do instrumento (1,003461). Como o número de leituras foi pequeno, executou-se a transformação de forma manual, com o objetivo de checar os valores encontrados pelo programa.

A etapa seguinte no processo de redução dos dados consistiu na determinação da deriva do instrumento. Esta, sem dúvida, se transformou na etapa mais trabalhosa do processo, em princípio porque os levantamentos em cada poço não foram realizados de forma contínua, existindo sempre um grande intervalo de tempo entre dois conjuntos de leituras, e também porque problemas de ruídos (presença de gás) em determinados intervalos fizeram com que os procedimentos normais de execução das leituras fossem alterados.

Primeiramente foi realizado um teste com o programa do U.S.G.S., porém devido a problemas de saltos na contagem (descritos a seguir) e outros fatores, as correções de deriva do programa apresentavam valores com variações muito grandes e sem sentido. Depois de se tentar sem sucesso uma adaptação do programa às condições do levantamento optou-se pelo processo de correção manual dos dados. Para a execução das correções de deriva foi utilizado o método de gravidade reduzida (Caton, 1981), que permite o acompanhamento detalhado do comportamento do gravímetro durante a execução do levantamento. Com base no levantamento integral de cada poço foi executada a curva do valor de g observado, já corrigido para o efeito de maré, pela profundidade (Fig. 5.2). A seguir, foi realizado um ajuste através de uma reta nos dados observados. Matematicamente este ajuste foi obtido através do critério de mínimos quadrados. Como pode ser observado na figura 5.2, as curvas obtidas para os três poços apresentam dois segmentos, e isto deve-se a inclusão dos efeitos associados a estrutura (embasamento) e topografia, além do efeito de ar-livre. A gravidade reduzida foi obtida através da subtração dos efeitos lineares obtidos pelo ajuste nos dados observados, logo

$$g_r = g_{ob} - g_t ,$$

onde g_r é a gravidade reduzida, g_{ob} o valor observado em campo e g_t o valor obtido no ajuste.

A partir daí foram obtidas as curvas de $g_r \times prof$ para cada poço e então observadas as possíveis causas dos efeitos produzidos nas curvas. A Figura 5.3 mostra as curvas $g_r \times prof$ para cada poço com as respectivas corridas do gravímetro. Estes gráficos foram gerados a partir da reocupação das estações bases (Fig. 4.2), ou seja, a corrida um foi formada pelas primeiras ocupações, a corrida dois pela primeira reocupação destas estações e a corrida tres pela segunda reocupação destas estações. Como mostrado na seção 4.4, foi observado um salto na contagem ("counter skip") de 0,1 u.c. entre o contador dentro do gravímetro e o contador do "console" na superfície para os levantamentos nos poços CP-508 e CP-810. Observando as curvas de $g_r \times prof$ para os dois poços, conclui-se que os saltos teriam origem na estação 18 (corrida 2) no poço CP-508 e na estação 20 (corrida 1) no poço CP-810, devido a existência de um padrão anômalo para a deriva linear. Nestas duas estações foram corrigidos os saltos de 0,1 u.c. (0,0865 mgals) para ajustar o padrão das leituras obtidas a partir destas estações e então reiniciar o processo de redução dos dados nestes dois poços, com a transformação dos valores para miligals, a correção para o efeito de maré e o estudo da deriva do equipamento. As diferenças observadas no poço CP-658 entre a

corrida 3 e as demais, para as estações 24 e 29, são referentes a diferença de tempo muito grande entre a realização das leituras e serão corrigidas adiante no cálculo da deriva instrumental.

Ainda assim, antes da realização da deriva instrumental, foi necessária mais uma análise da curva de $g_r \times prof$, agora com os valores já corrigidos para o salto na contagem (Fig. 5.4). Na curva do poço CP-508, pode-se observar que na corrida três, os valores para as estações 18 e 25 apresentam valores de g_r fora dos padrões das curvas de Caton (1981) e, segundo este autor, o efeito poderia ser devido principalmente a leituras realizadas de forma incorreta ou mesmo reocupação incorreta nas profundidades das estações. Como as correções para o salto na contagem já haviam sido realizadas, certamente o erro estaria na realização incorreta das leituras, pois ao final deste levantamento não se observou nenhum problema com relação a reocupação das estações. A partir daí, decidiu-se utilizar um processo de ajuste das leituras nas estações 18 e 25 (corrida 3) de modo a melhorar as condições de deriva do equipamento sem alterar o valor absoluto das leituras nestas estações, já que o valor final das estações seria dado pelas leituras nas corridas 1 e 2. Neste processo reduz-se os valores de leitura (u.c.) para estas duas estações e o resultado da curva $g_r \times prof$ pode ser observado na Figura 5.5. Nas curvas $g_r \times prof$ para os poços CP-658 e CP-810 (Fig. 5.3) não se observa o mesmo tipo de problema das curvas do poço CP-508, logo não necessitaram do mesmo tipo de ajuste.

Após a realização dos ajustes no poço 508, passou-se ao cálculo dos valores de deriva do instrumento para os levantamentos nos três poços de acordo com os processos usuais. Devido ao grande intervalo de tempo entre os conjuntos de leituras em cada poço foram realizadas correções independentes para cada conjunto, e no caso da presença de uma ou mais estações comuns a dois conjuntos, os valores finais em miligals destas estações obtidas em cada conjunto eram comparadas e, a diferença entre as leituras era adicionada a todas as leituras de um dos conjuntos. No poço CP-508 foi obtido uma diferença de 0,030 mgals a partir da comparação das leituras na estação 15 dos 1º e 2º conjuntos. Esta diferença foi somada às leituras do segundo conjunto de estações que ficaram assim todas acrescidas de 0,030 mgals. No poço CP-658 foram obtidas duas diferenças de 0,236 e 0,232 mgals para as estações 24 e 29, respectivamente, nos 2º e 3º conjuntos de leituras. Como estes valores apresentam diferença entre si muito pequena, foi obtida a média entre estes valores (0,234 mgals), e então somada ao terceiro conjunto de estações (Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice II).

No caso do poço CP-810, os dois conjuntos de leituras não apresentavam estações em comum.

As correções de deriva, executadas manualmente, calculavam o gradiente entre duas estações repetidas, e de acordo com a diferença de tempo entre as estações intermediárias e a estação base, era calculado o valor de deriva para cada estação. Observa-se na Tabela 5.1 o exemplo do cálculo da deriva para um trecho do levantamento no poço CP-508.

TABELA 5.1

estação	leitura	hora	deriva	leitura final
33	1469,527	3:35	0,232	1469,759
34	1470,970	3:50	0,076	1471,046
35	1471,758	4:04	0,100	1471,858
36	1472,451	4:17	0,123	1472,574
37	1472,900	4:27	0,141	1473,041
33	1469,581	4:40	0,178	1469,759
37	1472,920	4:56	0,121	1473,041

Tabela 5.1 – Exemplo do cálculo da deriva em trecho do levantamento no poço CP-508.

A etapa seguinte no processo de redução dos dados foi o cálculo das correções de terreno. Nesta etapa, utilizou-se o método desenvolvido por Hammer (1939) adaptado para as condições de poço e descrito por Hearst et al. (1980). As correções utilizaram a malha de Hammer (1939) englobando os setores C,D,E,F,G e H em base topográfica da Petrobrás na escala 1:25.000, ampliada para 1:15.000 no caso dos setores C, D e E, ou seja, num raio que variava de 50 metros a 2 km ao redor do poço, e como densidade de terreno 2,2 g/cm³ baseado na utilização de perfis de Nettleton (Moraes, 1991).

Após computadas todas as correções de terreno e obtidos os valores finais em miligals para todas as estações perfiladas nos três poços investigados, determinou-se a densidade intervalar através do cálculo do gradiente vertical de gravidade ($\Delta g/\Delta z$). O valor da densidade (ρ) em g/cm³ para o intervalo investigado era calculado através de

$$\rho = 3,680 - 11,926 \left(\frac{\Delta g}{\Delta z} \right) .$$

As Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice II apresentam os valores calculados em cada correção executada durante o processo de redução dos dados, bem como o valor final em miligals utilizado

no cálculo da densidade. Nas Tabelas 4, 5 e 6 do mesmo Apêndice II são apresentados além dos valores finais de g , os valores de Δg , Δz e o valor da densidade obtido para os três poços.

Porém, como a região onde foram realizados os levantamentos é afetada por gradientes verticais anômalos, não previstos pelo modelo interpretativo simplificado, tornou-se necessário a inclusão destes efeitos no modelo interpretativo, a fim de corrigir as distorções nas estimativas de densidade dentro do modelo simplificado.

Estes gradientes foram criados pelo embasamento e por um pacote sedimentar evaporítico depositado sob condições de restrição, que apresenta superfície irregular e muito próxima à superfície do terreno, mostrando também significativo contraste de densidade em relação ao resto do pacote. Esses efeitos anômalos foram então modelados para obtenção de um campo gravimétrico residual, através do qual os novos valores de densidade foram obtidos (Moraes, 1991). Os perfis de densidade para os três poços investigados obtidos após a correção destes efeitos podem ser observados nas Figuras 5.6, 5.7 e 5.8.

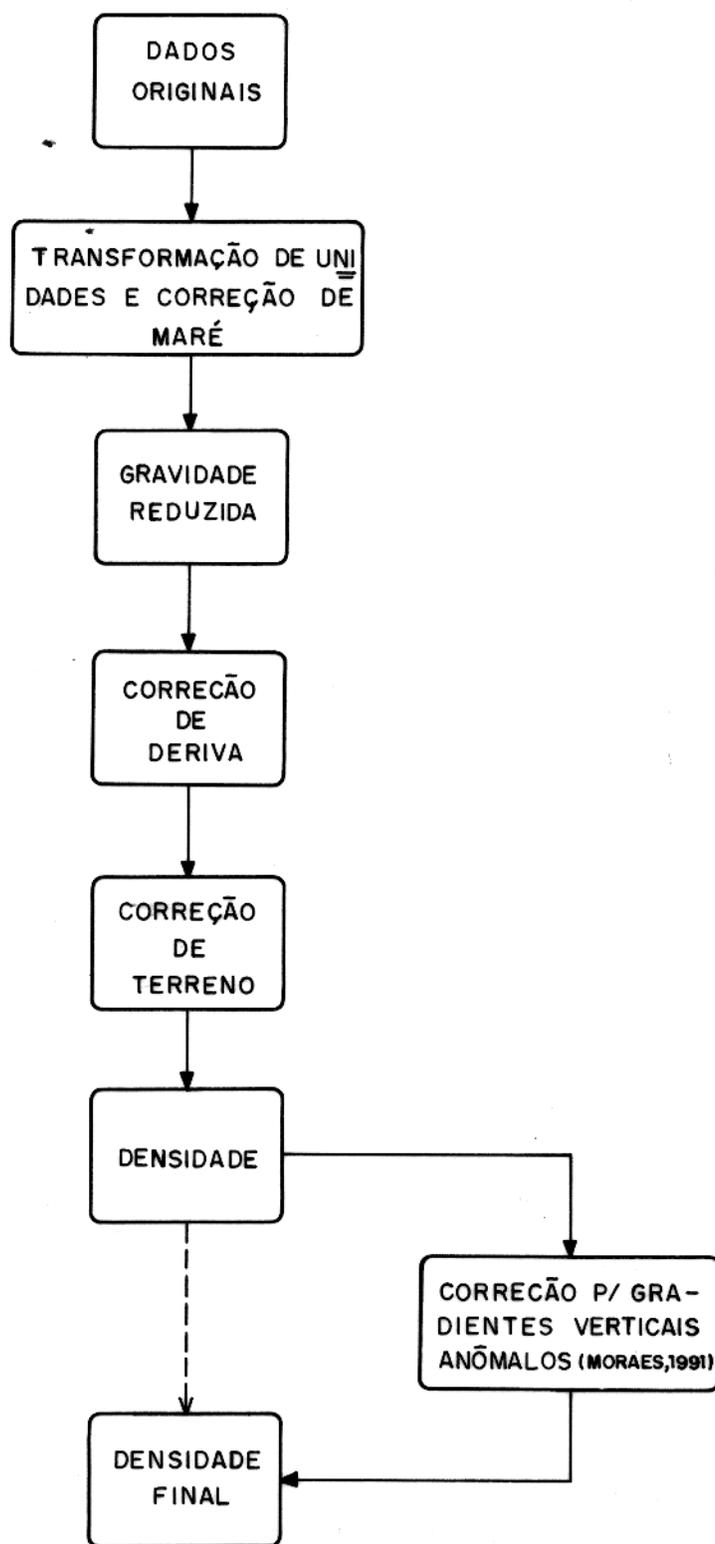


Figura 5.1 - Fluxograma mostrando a sequência utilizada para redução dos dados gravimétricos de poço.

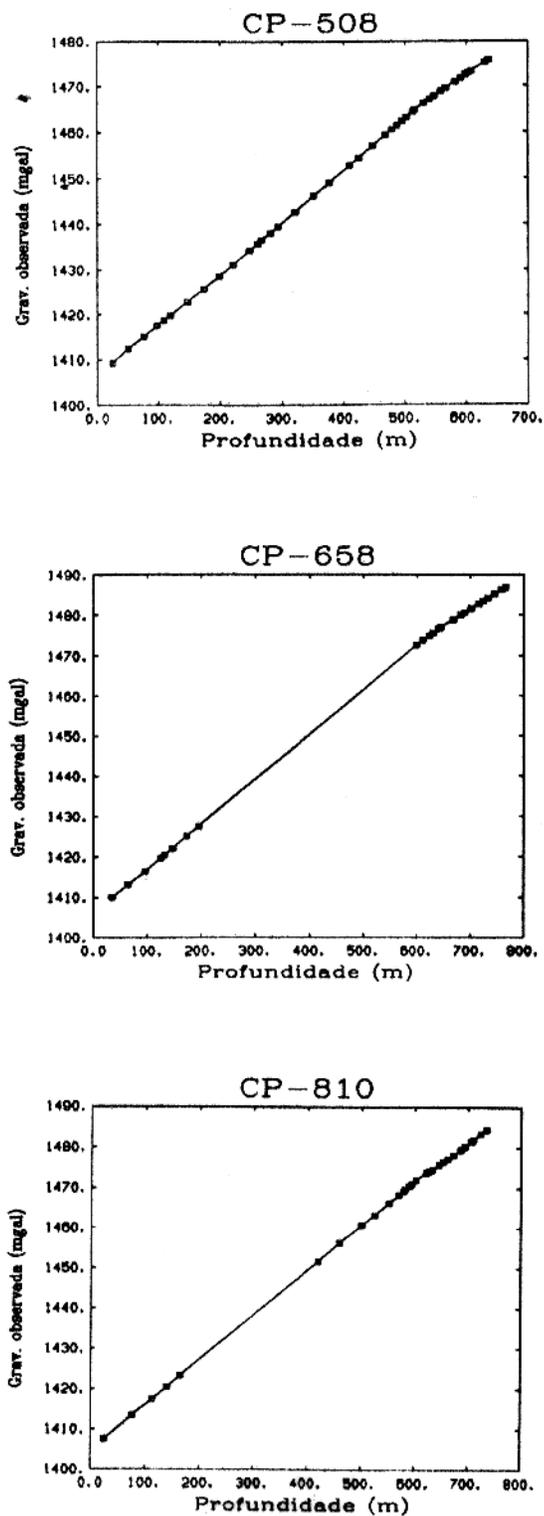


Figura 5.2 - Valores do campo observado para os poços CP-508, CP-658 e CP-810. A linha cheia é a reta ajustada pelo critério dos mínimos quadrados.

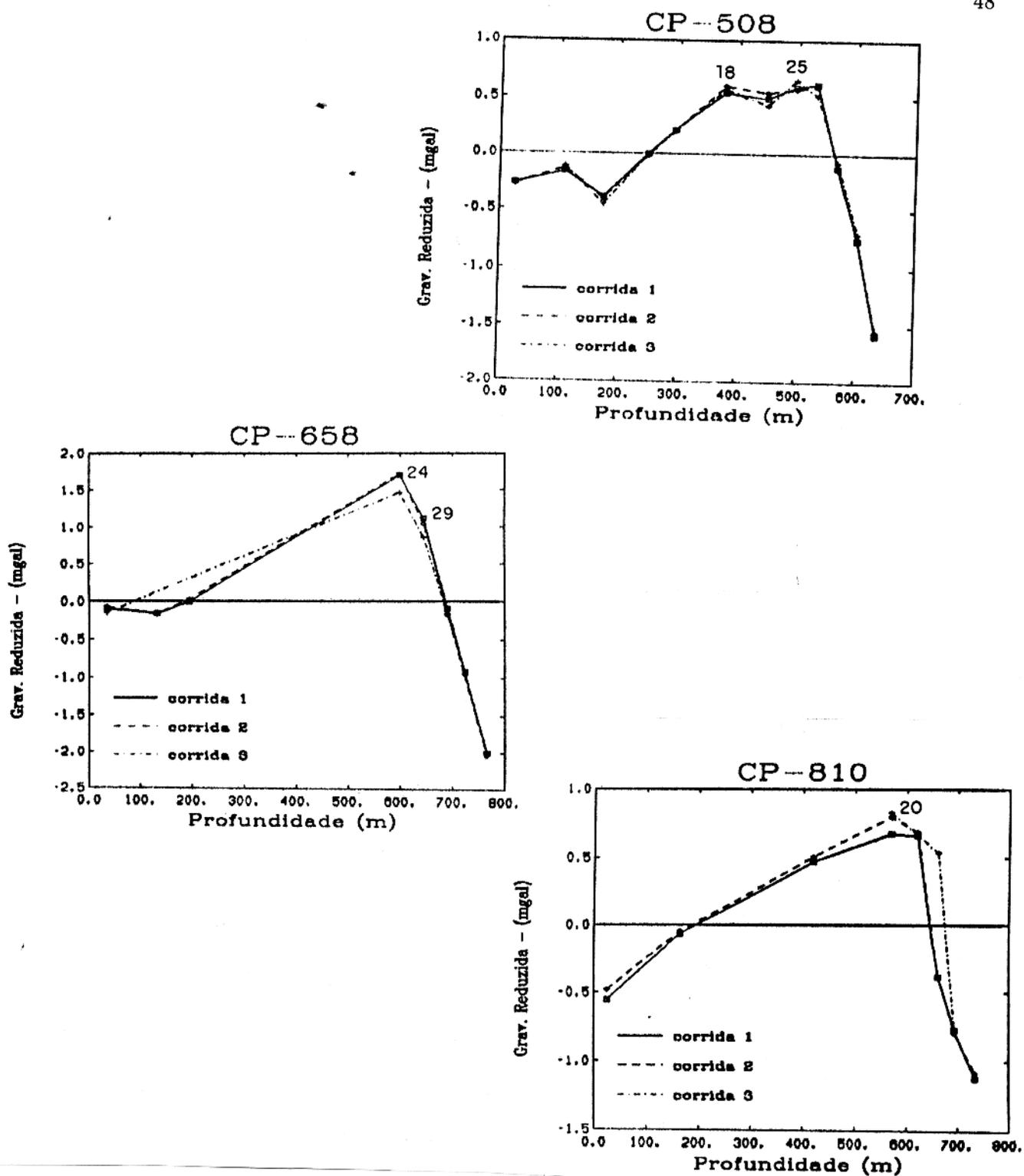


Figura 5.3 - Curvas de gravidade reduzida para as diferentes corridas do gravímetro nos poços CP-508, CP-658 e CP-810, antes da correção para o salto na contagem. Note que 0,1 u.c. correspondem a 0,0865 mgals.

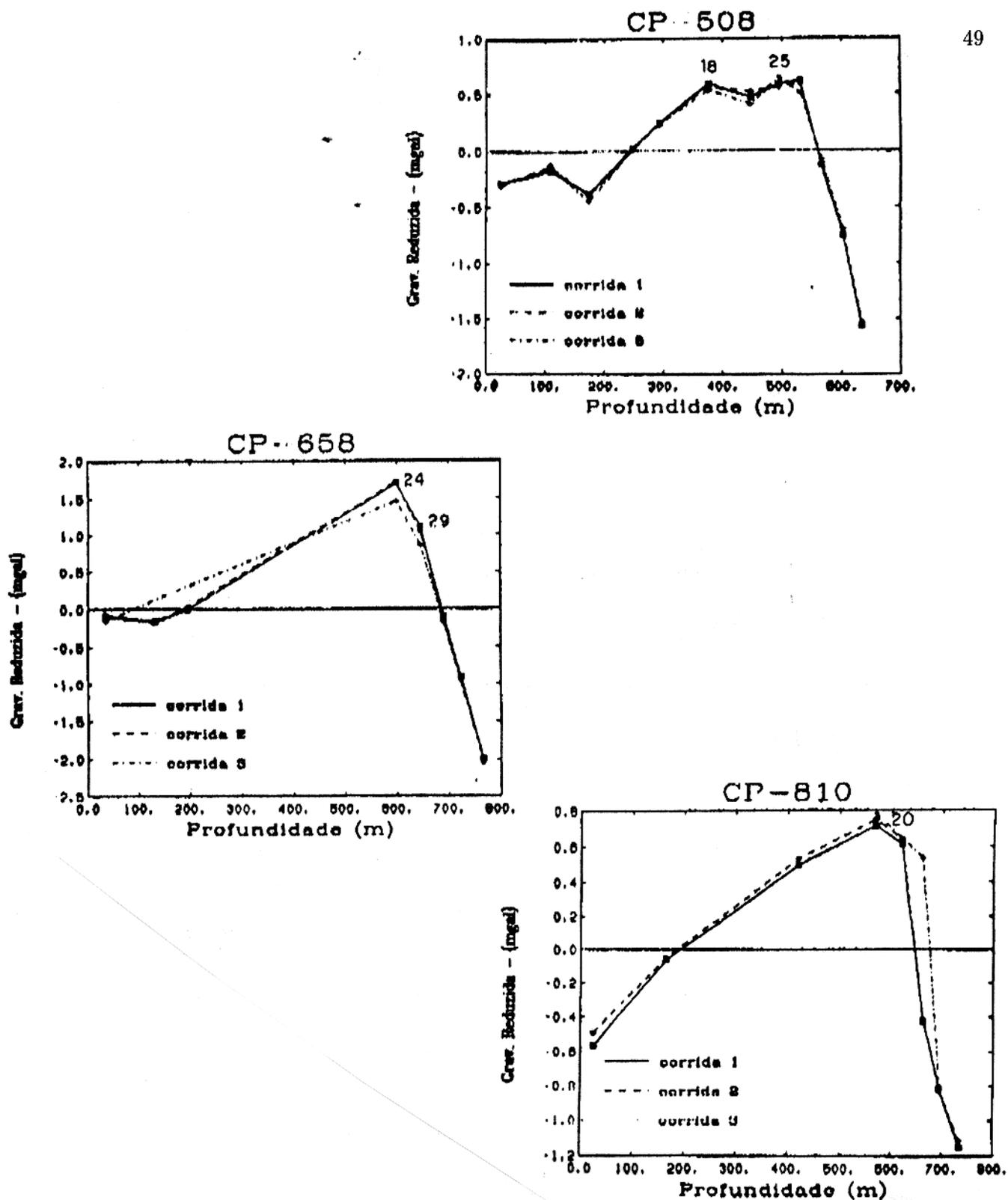


Figura 5.4 - Curvas de gravidade reduzida para as diferentes corridas do gravímetro nos poços CP-508, CP-658 e CP-810, após a correção para o salto na contagem.

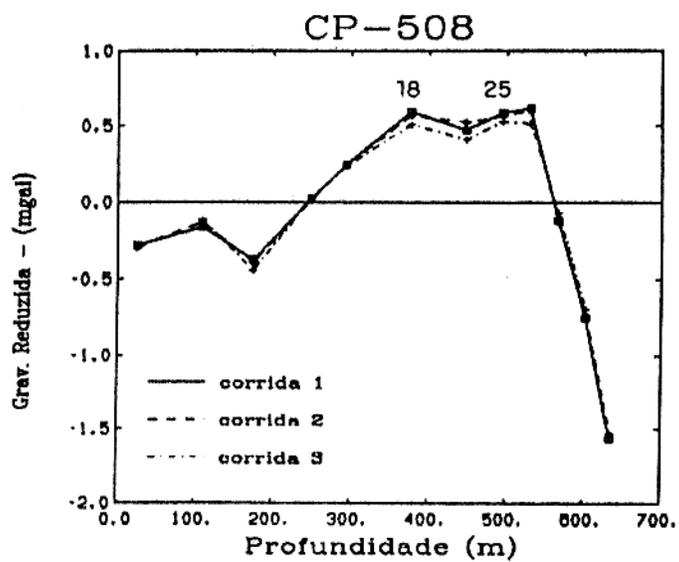


Figura 5.5 - Curvas de gravidade reduzida para as diferentes corridas do gravímetro no poço CP-508 após ajuste nas estações 18 e 25 da corrida 3.

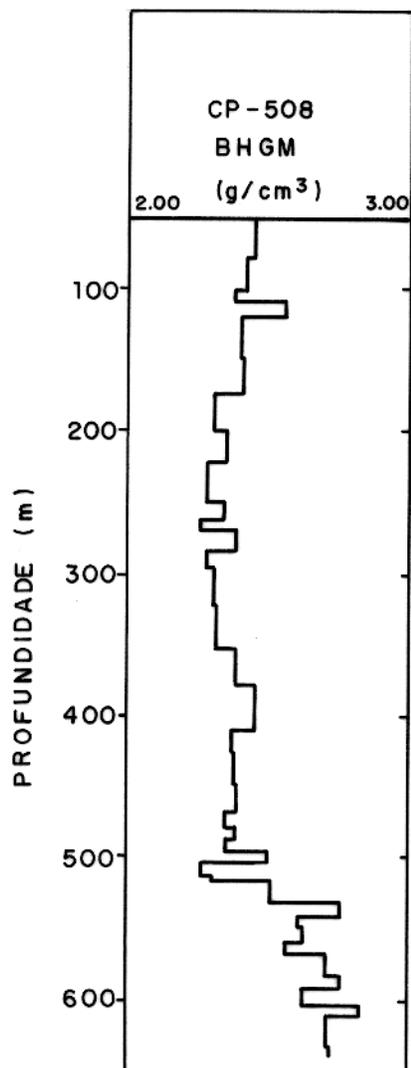


Figura 5.6 - Perfil de densidade final para os poço CP-508 obtido após a correção dos efeitos devido a gradientes verticais anômalos encontrados na região do levantamento.

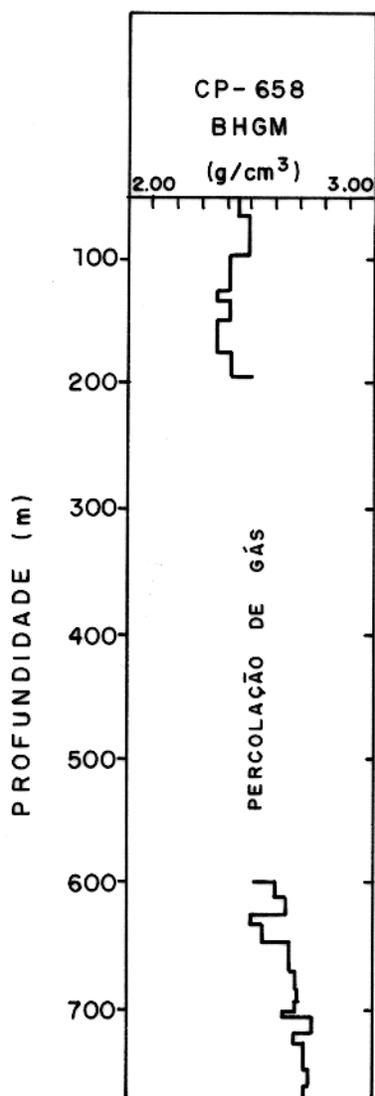


Figura 5.7 - Perfil de densidade final para os poço CP-658 obtido após a correção dos efeitos devido a gradientes verticais anômalos encontrados na região do levantamento.

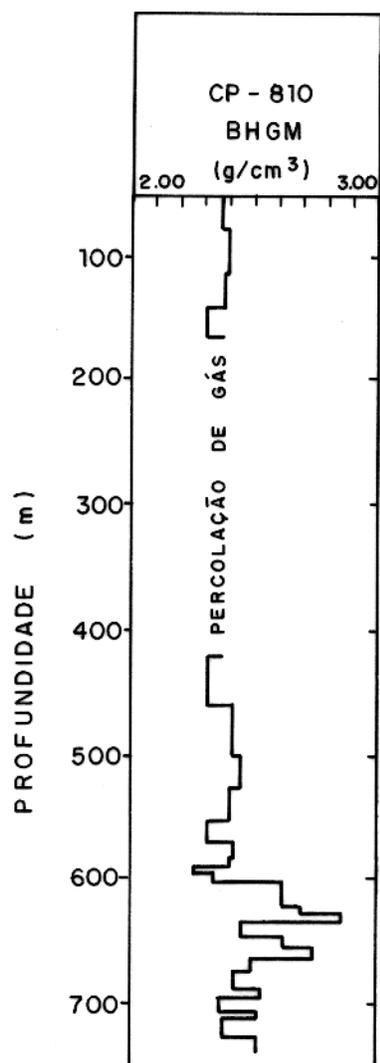


Figura 5.8 - Perfil de densidade final para os poço CP-810 obtido após a correção dos efeitos devido a gradientes verticais anômalos encontrados na região do levantamento.

CAPÍTULO 6

INTERPRETAÇÃO

Com a obtenção dos valores de densidade corrigidos para os gradientes verticais anômalos, não previstos pelo modelo interpretativo simplificado, passou-se então a uma avaliação dos resultados. Nesta avaliação, baseada numa caracterização litológica dos três poços investigados, foi realizada a comparação entre os dados de densidade do perfil gravimétrico e do perfil de densidade compensada (CDL), o cálculo de parâmetros de formação como porosidade (ϕ_{BHGM}), usando para isto a combinação do perfil gravimétrico com a gama de perfis existente em cada poço e, finalmente, a comparação com os dados calculados pela PETROBRÁS S.A.

Como mostrado no Capítulo 4.4, foram observados alguns problemas durante a realização dos levantamentos. Alguns intervalos de profundidade não puderam ser investigados em dois dos três poços perfilados. Em vista desses problemas, as zonas consideradas de interesse na avaliação dos resultados foram determinadas basicamente por estes problemas, pelos intervalos onde foram corridos os perfis a poço aberto e as zonas investigadas pelos testes de formação (Apêndice III). Baseado nestes fatores, os intervalos de interesse foram assim determinados:

POÇO	CP-508	CP-658	CP-810
INTERVALO DE PROF.	480 - 635 m	500 - 770 m	550 - 740 m

Mesmo assim, para explicar algumas diferenças observadas entre os perfis gravimétrico e CDL, algumas análises serão realizadas fora desses intervalos.

A suíte de perfis corridos nos poços CP-508, CP-658 e CP-810 é composta basicamente de perfis raio-gama total (GR), perfis de densidade compensada (CDL), perfis de resistividade profundo (IEL) e o perfil porosidade neutrão (CNL), sendo que este último só se faz presente no poço CP-658. Os perfis estão assim distribuídos segundo a profundidade nos três poços:

PERFIL/POÇO	CP-508	CP-658	CP-810
DENSIDADE (CDL)	106 - 779 m	450 - 835 m	500 - 833 m
RAIO-GAMA (GR)	90 - 774 m	450 - 830 m	500 - 831 m
RESISTIVIDADE (IEL)	100 - 779 m	149 - 675 m	140 - 760 m
NEUTRÃO (CNL)	-	595 - 645 m	-

fonte: PETROBRÁS

6.1 - Aspectos Geológicos

Os poços CP-508, CP-658 e CP-810 estão localizados no Campo de Carmópolis, Bacia de Sergipe-Alagoas. Como as demais bacias da margem continental brasileira, a Bacia Sergipe-Alagoas apresenta evolução tectono-sedimentar desenvolvida basicamente em função de movimentos distensivos, separados em três estágios distintos conhecidos como estágios pré-"rift", "rift" e pós-"rift", os quais apresentam tipos de sedimentação e estilos tectônicos próprios (Van der Ven, 1989). A Figura 6.1 apresenta a coluna estratigráfica da Bacia Sergipe-Alagoas com a identificação dos três estágios.

O estágio pré-"rift" foi marcado pela deposição de rochas paleozóicas em regime de estabilidade crustal ainda no interior do Craton Brasil-Africa. Os sedimentos foram então depositados sobre um embasamento formado por rochas pré-cambrianas originadas durante o ciclo Brasiliano. O estágio "rift" foi caracterizado pela deposição de sedimentos do cretáceo numa fase de subsidência crescente da bacia, com estiramento crustal e falhamento intenso. Fugita (1974) mostra que ao final deste estágio, uma superfície de erosão foi esculpida sobre rochas pré-aptianas, expondo o embasamento em algumas partes da bacia. O terceiro estágio, ou seja, o estágio pós-"rift", foi caracterizado por uma fase estável e subsidência termal, com a deposição primeiramente de conglomerados e evaporitos e depois de sedimentos de plataforma e taludes carbonáticos em condições de mar aberto e profundo.

A coluna estratigráfica dos poços CP-508, CP-658 e CP-810, investigada durante o período de perfuração dos mesmos, mostra uma seqüência formada a partir do topo pelo Grupo Barreiras, Formação Riachuelo e Formação Muribeca (Mb. Oiteirinhos e Mb. Ibura) e o embasamento. Nesta seqüência, as litologias identificadas através de amostras de calha foram calcilutitos, dolomitos, anidrita, arenitos, folhelhos, conglomerados, filitos e micaxistos. A profundidade constatada para o topo das formações atravessadas nos três poços durante os trabalhos de perfuração pode ser observada na Tabela 6.1.

Nestes três poços, localizados na porção SW do Campo de Carmópolis (Fig. 6.2), a produção de hidrocarbonetos é quase toda obtida a partir do embasamento fraturado. O resultado dos testes de formação mostra que somente nos poços CP-508 e CP-810 ocorre produção acima do embasamento, mesmo assim em pequenos intervalos. No poço CP-508, essa produção ocorre entre 630 e 648 metros e no poço CP-810 entre 685 e 720 metros. Os intervalos testados podem ser observados no Apêndice III.

TABELA 6.1

UNIDADE/POÇO	CP-508	CP-658	CP-810
BARREIRAS	Sup.	Sup.	Sup.
RIACHUELO/Aguilh.	54 m	54 m	-
RIACHUELO/Angico	-	-	12 m
RIACHUELO/Taquari	123 m	111 m	99 m
MURIBECA/Oiteir.	447 m	496 m	535 m
MURIBECA/Ibura	537 m	582 m	623 m
EMBASAMENTO	598 m	646 m	723 m

Fonte: PETROBRÁS

Tabela 6.1 – Seqüência estratigráfica para os três poços investigados.

6.2 - A Determinação das Unidades Litológicas

A boa qualidade dos dados obtidos com o perfil gravimétrico, verificada a seguir (Cap. 6.3) na comparação com os dados do perfil CDL, permitiu que os cálculos de porosidade a partir do perfil gravimétrico fossem comparados com os dados já existentes. Para tal, primeiramente procurou-se identificar os conjuntos litológicos em cada poço através do uso dos perfis raio-gama, CDL e porosidade neutrão, para que valores como densidade de matriz (ρ_m) pudessem ser obtidos de maneira segura.

A técnica da determinação das litologias dentro dos intervalos investigados se baseia na superposição do perfil de densiporosidade (ϕ_D) com o perfil porosidade neutrão (ϕ_N). Estes perfis foram obtidos na escala do calcário (Evans, 1981), ou seja, os cálculos de porosidade são efetuados com base na densidade de matriz (ρ_m) do calcário ($2,71 \text{ g/cm}^3$). A Figura 6.3 apresenta a superposição dos perfis ϕ_D e ϕ_N para o poço CP-658 com a indicação das litologias caracterizadas a partir

dessa superposição. Pode-se observar que quando as curvas de ϕ_D e ϕ_N apresentam o mesmo valor, fica caracterizada a litologia de calcário, quando $\phi_D < \phi_N$ caracteriza-se a presença de dolomito e para valores de $\phi_D < -5\%$ observamos a presença de anidrita. O dolomito e a anidrita possuem densidades maiores que o calcário, levando o cálculo a pequenos valores de porosidade. Outras litologias como siltito, conglomerado e embasamento foram caracterizados com a ajuda de outros tipos de perfis.

Partindo-se da premissa de que dentre os três poços investigados somente no poço CP-658 foi corrido o perfil porosidade neutrão (intervalo entre 590 - 645 m), e sabendo-se que a distância entre os três poços não superava 500 metros, decidiu-se estender a interpretação para os outros dois poços, baseado nos "plots" $\rho_B \times \phi_N$ e $\rho_B \times \phi_{ND}$ (Fig. 6.4) e nas relações dos perfis raio-gama e densidade (CDL) obtidas para o poço CP-658. A boa qualidade dos dados de ρ_B , constatada pelos "plots" da Figura 6.4, mostrou ser perfeitamente possível a extensão da interpretação no poço CP-658 para os demais poços. Considerando a superposição dos perfis ϕ_D e ϕ_N na escala do calcário e ainda as respostas dos perfis raio-gama e CDL, foi criado um algoritmo para separação das litologias baseado nos critérios descritos anteriormente. A Tabela 6.2 mostra os critérios utilizados nesta separação.

TABELA 6.2

LITOLOGIA	Raio-Gama (API)	ϕ_D (%)	ρ_B (g/cm ³)	
calcário	< 80	≥ 15	< 2,71	$\phi_D \simeq \phi_N$
dolomito		≥ -5 e ≤ 5	$\geq 2,71$	$\phi_N > \phi_D$
anidrita	< 35	≤ -5	$\geq 2,75$	
siltito			$\leq 2,65$	$\phi_D > \phi_N$
embasamento	≥ 75	≤ 5	$\geq 2,65$	$\phi_N > \phi_D$

Tabela 6.2 - Critérios utilizados na caracterização das litologias.

Utilizando os parâmetros apresentados na Tabela 6.2 foram selecionadas cinco unidades litológicas básicas: calcário, dolomito, anidrita, siltito e o embasamento. Estas litologias foram definidas de forma generalizada, ou seja, tipos litológicos particulares descritos nas análises de calha encontram-se incluídos nestes pacotes, porém não serão analisados com maiores detalhes, visto as finalidades propostas por este trabalho. No caso do poço CP-810, foi identificada também a

unidade chamada de conglomerado (zona de transição), sobreposta ao embasamento e que apresenta características próprias. O conhecimento da presença desta zona de conglomerados melhorou os resultados do modelamento direto de perfis gravimétricos (Moraes, 1991). A Figura 6.5 apresenta uma seção transversal com os poços CP-508, CP-658 e CP-810 e seus perfis raio-gama e densidade com a identificação das unidades litológicas baseado nos parâmetros da Tabela 6.2. Deve-se salientar que esta técnica de discriminação litológica não pode ser aplicada para intervalos de litologias complexas, por exemplo, onde existe intercalação de litologias diferentes em camadas muito finas.

6.3 - A Comparação com o Perfil Densidade (CDL)

O primeiro passo na avaliação dos resultados foi a comparação entre as densidades obtidas a partir dos perfis CDL corridos a poço aberto e dos perfis gravimétricos nos três poços investigados.

De maneira a facilitar a comparação com o perfil gravimétrico, os perfis densidade (CDL) para os três poços (Fig. 6.6) foram quadratizados com base nos intervalos investigados com o gravímetro de poço. A quadratização foi realizada utilizando-se a média aritmética das densidades baseado nos intervalos amostrados com o gravímetro e o resultado desta operação pode ser observado na Figura 6.7.

A comparação entre os valores de densidade intervalar, obtidos a partir do perfil gravimétrico com os valores de densidade do perfil CDL, é o método mais utilizado na verificação da validade dos resultados obtidos com os perfis e também uma das maneiras mais práticas de separação de efeitos gravitacionais anômalos obtidos no perfil gravimétrico (Beyer, 1982). Por exemplo, uma boa concordância nos valores obtidos por ambos os perfis denota a boa qualidade de cada método e faz aumentar a possibilidade no cálculo de bons valores de porosidade. Mostra também que o perfil CDL não está sendo afetado pela forma, tamanho e condições do poço e que as densidades não variam muito da zona de invasão de fluidos (Fig. 3.2) até a zona investigada pelo perfil gravimétrico. Quando se observa uma grande discrepância nos valores obtidos pelos perfis sempre haverá dificuldades na interpretação porque muitas explicações são possíveis. As Figuras 6.8, 6.9 e 6.10 mostram a comparação entre os perfis gravimétricos e CDL já quadratizados para os poços CP-508, CP-658 e CP-810, respectivamente.

Os intervalos onde se observa uma boa concordância entre os dados do perfil gravimétrico

e do perfil CDL, como entre 100 e 220 metros no poço CP-508 e entre 625 e 735 metros no poço CP-810, sugere que ambos os instrumentos provavelmente funcionam corretamente, nenhum efeito anômalo de gravidade está presente e os valores de densidade possuem alta confiabilidade. Sugere também que ambos os perfis foram corridos através de uma formação litológica relativamente homogênea e que os efeitos de poço sobre o perfil CDL são mínimos.

Nos intervalos onde existe discrepância sistemática entre os perfis, sendo o perfil gravimétrico apresentando valores de densidade maiores que o perfil CDL, como entre 220 e 450 metros no poço CP-508 e entre 570 e 620 metros no poço CP-810, as possibilidades de interpretação são variadas. No caso mais simples, o perfil gravimétrico é sensível à rochas mais densas que estão além do raio de investigação do perfil CDL. Numa análise mais rigorosa, poderia se admitir que uma estrutura de densidade anômala está diminuindo a taxa de variação da gravidade sobre estes intervalos, fazendo com que os gradientes verticais de gravidade observados ($\Delta g/\Delta z$) sejam menores que os gradientes os quais as rochas ao redor do poço gerariam na ausência destes efeitos anômalos. No caso do intervalo entre 220 e 450 metros do poço CP-508, a litologia constituída por folhelhos e calcários micríticos, intercalados por camadas finas de carnalita e/ou silvita com valores de GR alto e ρ_B baixo, podem ser a origem desta diferença. Neste caso, os valores obtidos pelo perfil CDL dependem muito do espaçamento da ferramenta, sempre inferior a meio metro. No caso do perfil gravimétrico, as observações são geralmente realizadas sobre intervalos de profundidade acima de cinco metros, levando a uma média dos valores de densidade maior que o perfil CDL. Outro exemplo pode-se observar no intervalo sedimentar entre 600 e 640 metros no poço CP-658, onde também ocorre a presença de carnalita e/ou silvita. Deve-se salientar, novamente, que estas litologias foram caracterizadas por amostras de calha em poço.

Alguns intervalos apresentam valores do perfil CDL maiores que o perfil gravimétrico, como ocorre entre 560 e 568 metros no poço CP-508. Neste caso, o perfil gravimétrico seria sensível a rochas menos densas que estariam além do raio de investigação do perfil CDL. Ou então uma suposta estrutura de densidade anômala estaria aumentando a taxa de variação da gravidade nestes intervalos, fazendo com que essas fossem maiores que os gradientes aos quais as rochas ao redor do poço gerariam na ausência destes efeitos. Estes intervalos merecem ser estudados com maior interesse, pois as zonas de densidade mais baixas não interceptadas pelo poço devem refletir

contrastes laterais de porosidade. Outros intervalos apresentam uma diferença sistemática entre os valores de densidade, sendo que ora os valores do perfil CDL são maiores, ora menores que o perfil gravimétrico, são os de mais difícil interpretação.

Outro tipo interessante de comportamento é observado quando numa sequência de intervalos, os intervalos intermediários apresentam diferenças maiores nos valores de densidade, diferindo dos intervalos das extremidades, onde as diferenças de densidade são menores e iguais. Se os intervalos não apresentam diferença de profundidade (Δz) maior que 15 metros, existe chance das leituras de gravidade nas estações que bordejam os intervalos com diferença de densidade maior, serem erroneamente alta ou erroneamente baixa. Em ambos os casos, se o perfil CDL é confiável, pode ser realizada alguma estimativa sobre o erro do perfil gravimétrico (Beyer, 1982).

Nos trechos de embasamento, geralmente as curvas de ρ_B (CDL) e ρ_B (BHGM) para os três poços apresentam valores semelhantes, porém, pode-se observar que o perfil CDL acusa variações na densidade para determinados intervalos de profundidade. Estes valores mais baixos de densidade são explicados pela presença de fraturas. No caso de as fraturas serem suficientemente grandes ou abertas para serem observadas pelo perfil CDL, os valores de ρ_B (CDL) são menores que ρ_B (BHGM), já que este observa sobre um intervalo de profundidade maior. Isto pode ser observado no intervalo entre 703 e 715 metros do poço CP-658. Outro caso seria a presença de zonas de fraturas extensas, onde o perfil gravimétrico obteria valores de densidade menores que o perfil CDL. Este caso pode ser observado nos intervalos entre 597 e 603 metros no poço CP-508. Ainda assim, observando os "plots" ρ_B (CDL) \times ρ_B (BHGM) (Fig. 6.11) podemos observar que as densidades médias do perfil gravimétrico são geralmente maiores que as densidades médias do perfil CDL na seção sedimentar. No embasamento ocorre o contrário, as densidades do perfil gravimétrico são geralmente menores que as do perfil CDL. Provavelmente, a razão dessa diferença no embasamento é que o perfil CDL não investiga suficiente volume de rocha que inclua as fraturas, a fim de diminuir significativamente o valor da densidade, enquanto que o perfil gravimétrico responde a um maior volume de rocha, no qual estão incluídas estas fraturas, reduzindo assim o valor da densidade. Estas análises foram realizadas para os poços CP-508 e CP-658 somente porque no poço CP-810 não houve investigação com o perfil gravimétrico no embasamento (Cap. 4.4).

Moraes (1991) mostra que ao longo dos poços, as curvas de densidade dos perfis gra-

vimétricos possui uma tendência de alta no sentido do poço CP-508 para o poço CP-810. Esta tendência é coincidente com a variação máxima do campo regional observado no mapa gravimétrico de superfície, denotando influência de origem regional. Este efeito gerou um pequeno nível de base, que, contudo, não foi suficiente para mascarar os intervalos de interesse investigados com o perfil gravimétrico.

6.4 - O Cálculo da Porosidade

6.4.1 - Determinação da densidade de fluido (ρ_f)

Na determinação do valor da densidade da água de formação (ρ_f) para os três poços investigados, foi usado o valor da sua salinidade, obtida através dos testes de formação.

Nos testes de formação realizados no poço CP-658 (Apêndice III) foram obtidos valores de 67.650 mg/l (\approx 63.000 ppm) e 130.000 mg/l (\approx 120.000 ppm) de salinidade, respectivamente para as profundidades de 815 e 765 metros, indicando presença de água salgada. O valor médio para a resistividade do filtrado de lama (R_{mf}) é de 0,55 Ω .m para 85° F (30° C) o que leva a uma salinidade de aproximadamente 17.000 ppm, diferente da observada nos testes de formação. Visto a pequena distância (\leq 500 m) existente entre os poços, e não possuindo nenhuma outra informação com respeito a salinidade, considerou-se para efeito do cálculo da porosidade o valor de ρ_f igual a 1,1 g/cm³ para os três poços investigados.

6.4.2 - Determinação da densidade de matriz (ρ_m)

A determinação da densidade de matriz (ρ_m) foi realizada com base nos tipos litológicos identificados dentro dos intervalos de interesse nos três poços investigados. Inicialmente utilizou-se os valores de densidade (ρ_B) obtidos com o perfil CDL e a resistividade verdadeira da formação (Rt), na realização dos "cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para cada litologia identificada em cada poço, determinando assim a densidade de matriz para estas litologias. Considerando que os minerais que constituem a matriz rochosa possuem resistividades superiores às resistividades dos fluidos presentes no espaço poroso, quando fazemos $Rt \rightarrow \infty$, ou seja, $1/Rt \rightarrow 0$, estaremos estimando a matriz da rocha.

A Figura 6.12 mostra os "cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias dos poços CP-508, CP-658 e CP-810. No caso do poço CP-508, pode-se observar que em todas as litologias, com

excessão do calcário, é possível se determinar com razoável confiança os valores de ρ_m . No caso do calcário, pela própria presença da argila, observa-se que é grande o espalhamento dos pontos, dificultando assim a obtenção dos valores de ρ_m . Analogamente ao poço CP-508, observa-se que no poço CP-658 o "cross-plot" $1/Rt \times \rho_B$ para o calcário apresenta um espalhamento muito grande, o que não ocorre para o poço CP-810, onde os "cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para todas as litologias apresentam pouco espalhamento. Neste poço, deve-se observar que também foi obtido um valor de ρ_m para um conglomerado sobreposto ao embasamento, litologia essa não identificada nos outros dois poços. Considerando que as litologias nos poços CP-508 e CP-810 foram determinadas com base somente nos perfis de raio-gama e densidade, os valores de densidade de matriz obtidos para esta litologia são considerados de boa qualidade. A Tabela 6.3 apresenta os valores de densidade de matriz (ρ_m) obtidos para as litologias dos poços CP-508, CP-658 e CP-810.

TABELA 6.3

LITOLOGIA	CP-508 ρ_m (g/cm ³)	CP-658 ρ_m (g/cm ³)	CP-810 ρ_m (g/cm ³)
dolomito	2,87	2,87	2,87
calcário	2,67	2,68	2,67
anidrita	2,98	2,98	2,98
siltito	2,64	2,64	2,63
conglomerado	-	-	2,65
embasamento	2,79	2,80	2,79

Tabela 6.3 – Densidades de matriz (ρ_m) encontradas para as litologias nos poços CP-508, CP-658 e CP-810.

6.4.3 - A comparação dos dados de porosidade

Na determinação das porosidades através do perfil gravimétrico e do perfil CDL foi utilizado o método de cálculo simples, através do conhecimento prévio da densidade de matriz (ρ_m), da densidade do fluido presente na formação (ρ_f) e a densidade total observada (ρ_B). Os valores de porosidade obtidos para o perfil gravimétrico (ϕ_{BHGM}) e para o perfil CDL (ϕ_{CDL}) são dados por

$$\phi_{BHGM} = \frac{\rho_m - \rho_B(CDL)}{\rho_m - \rho_f} \quad \text{e} \quad \phi_{CDL} = \frac{\rho_m - \rho_B(BHGM)}{\rho_m - \rho_f}$$

Os valores de ρ_m para ambos os cálculos são dados pelos intervalos caracterizados na Figura 6.5 e na Tabela 6.3, enquanto que os valores de $\rho_B(BHGM)$ são os observados em cada intervalo

amostrado com o perfil. No cálculo dos valores de ϕ_{CDL} foram utilizadas as densidades ($\rho_B(CDL)$) obtidas pelo perfil, com amostragem a cada 0,2 metros.

As Figuras 6.13 e 6.14 mostram, respectivamente, os perfis de porosidade ϕ_{CDL} e $\phi_{BHGM} \times \phi_{CDL}$ para os poços CP-508, CP-658 e CP-810. Pode-se observar algumas diferenças básicas na Figura 6.14. Valores de porosidade obtidos a partir do perfil CDL apresentam alguns picos com porosidade acima de 40%, enquanto estes mesmos intervalos mostram valores menores de porosidade para o perfil gravimétrico. A diferença é que os valores de porosidade do perfil CDL foram calculados sobre intervalos muito pequenos ($< 0,5m$). Os valores altos de porosidade resultam quando uma camada muito fina de litologia diferente é calculada com o valor de densidade de matriz muito elevada. O perfil gravimétrico responde a esses intervalos somente como parte da densidade média observada. No caso, um valor de $\phi_D(CDL)$ alto foi obtido através de um valor de $\rho_B(CDL)$ baixo, que pode ter sido influenciado por problemas como alargamento do poço. É o que ocorre no poço CP-508 em 570 e 587 metros e no poço CP-810 em 634 e 686 metros. Algo semelhante ocorre para intervalos do embasamento fraturado. O perfil $\rho_B(CDL)$ foi influenciado por alguma fratura aberta, obtendo assim valores de ρ_B baixos, fazendo com que os valores de $\phi_D(CDL)$ para estas profundidades sejam elevados. Isto ocorre nas profundidades de 672, 704 e 727 metros no poço CP-658.

Com relação aos valores de porosidade obtidos no embasamento, observamos que os valores de ϕ_{CDL} e ϕ_{BHGM} apresentam concordância razoável como nos valores de densidade. Podemos destacar os intervalos entre 598 e 602 metros no poço CP-508 e entre 717 e 724 metros no poço CP-658. Estes intervalos apresentam valores de porosidade (ϕ_{BHGM}) mais elevada e podem se destacar como possíveis horizontes produtores de hidrocarbonetos. Também no poço CP-658 observa-se que os horizontes logo acima do embasamento (645 metros) apresentam valores de porosidade mais elevados, como no poço CP-508. Em geral, os valores de porosidade do perfil gravimétrico crescem do fundo para o topo do embasamento, devido a maior quantidade de fraturas ali existentes.

À época da realização dos perfis a poço aberto, a PETROBRÁS S.A. realizou cálculos de porosidade para alguns intervalos em dois dos três poços investigados. Confrontando estes dados com os obtidos neste trabalho (Tabela 6.4), podemos observar que na maioria dos intervalos investigados, o perfil gravimétrico apresenta valores de porosidade maior que os obtidos pela PE-

TROBRÁS. A resposta a esta diferença está não só na maior profundidade de investigação do perfil gravimétrico, capaz de observar variações laterais de densidade, mas também na maneira como foi realizado o cálculo da porosidade. A PETROBRÁS usou como densidade de matriz para todo intervalo sedimentar $2,71 \text{ g/cm}^3$, enquanto que os cálculos a partir do perfil gravimétrico foram baseados numa caracterização litológica prévia, onde os valores de ρ_m são mostrados na Tabela 6.3.

TABELA 6.4

PETROBRÁS				PERFIL GRAVIMÉTRICO			
CP-658		CP-810		CP-658		CP-810	
Prof. (m)	ϕ_D (%)	Prof. (m)	ϕ_D (%)	Prof. (m)	ϕ_{BHGM} (%)	Prof. (m)	ϕ_{BHGM} (%)
567	7	642,5	9	565-570	9	640-645	23
578	9	645	15	578-580	17	640-645	23
595	15	652	9	590-595	23	650-652	13
602	6	711	24	600-612	15	710-724	19
607	10	717	21	600-612	15	710-724	19
646	22	719	18	642-647	31	710-724	19
-	-	721	13	-	-	710-724	19

Nota: os valores de ϕ_D não estão corrigidos para argilosidade

Tabela 6.4 - Comparação das porosidades calculadas pela PETROBRÁS e pelo perfil gravimétrico.

BACIA DE SERGIPE - ALAGOAS					
TEMPO/ANDAR		LITOLOGIA	FORMAÇÃO		
CRETÁCEO	Q	HOLOCENO	S.P.A.	ESTÁGIO PÓS-"RIFT"	
	T	PLIOCENO	BARREIRAS		
		MIOCENO A ALBIANO	PIAÇABUÇU		
	RIACHUELO				
	INFERIOR	ALAGOAS	MURIBECA	P. VERDE COQ. SECO	ESTÁGIO "RIFT"
		BURACICA ARATU R. SERRA	PENEDO		
		JURÁSSICO	SERRARIA		
			BANANEIRAS		
	PALEOZÓICO	CANDEEIRO			
		ARACARE			
PRÉ-CAMBRIANO	BATINGA		ESTÁGIO PRÉ-"RIFT"		

Figura 6.1 - Coluna estratigráfica da Bacia Sergipe-Alagoas (adaptada de Shaller et al., 1980).

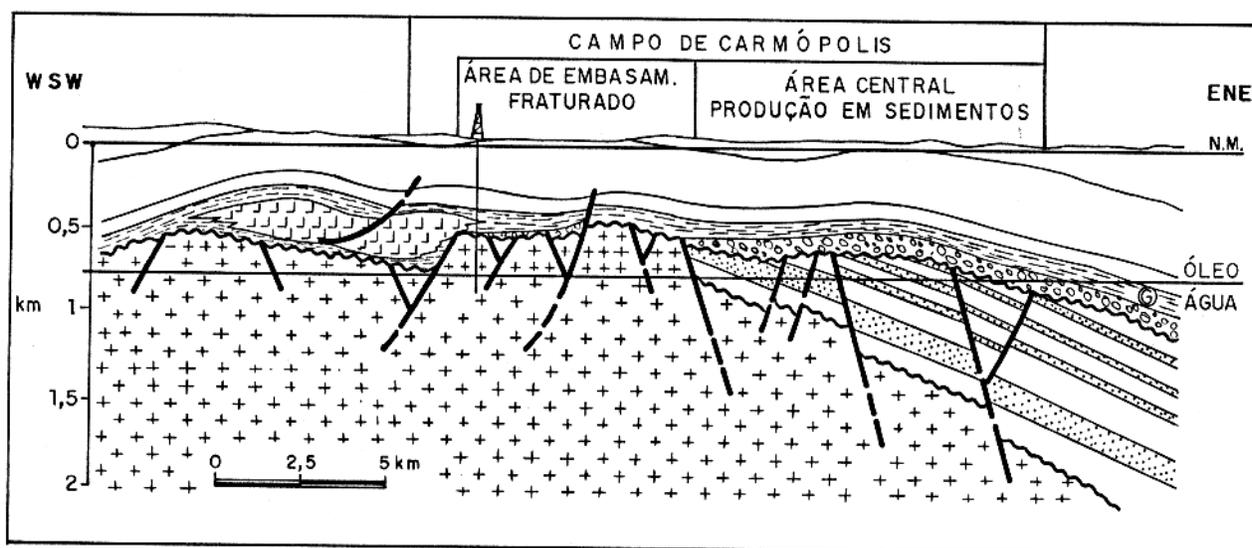


Figura 6.2 - Seção geológica esquemática do Campo de Carmópolis.

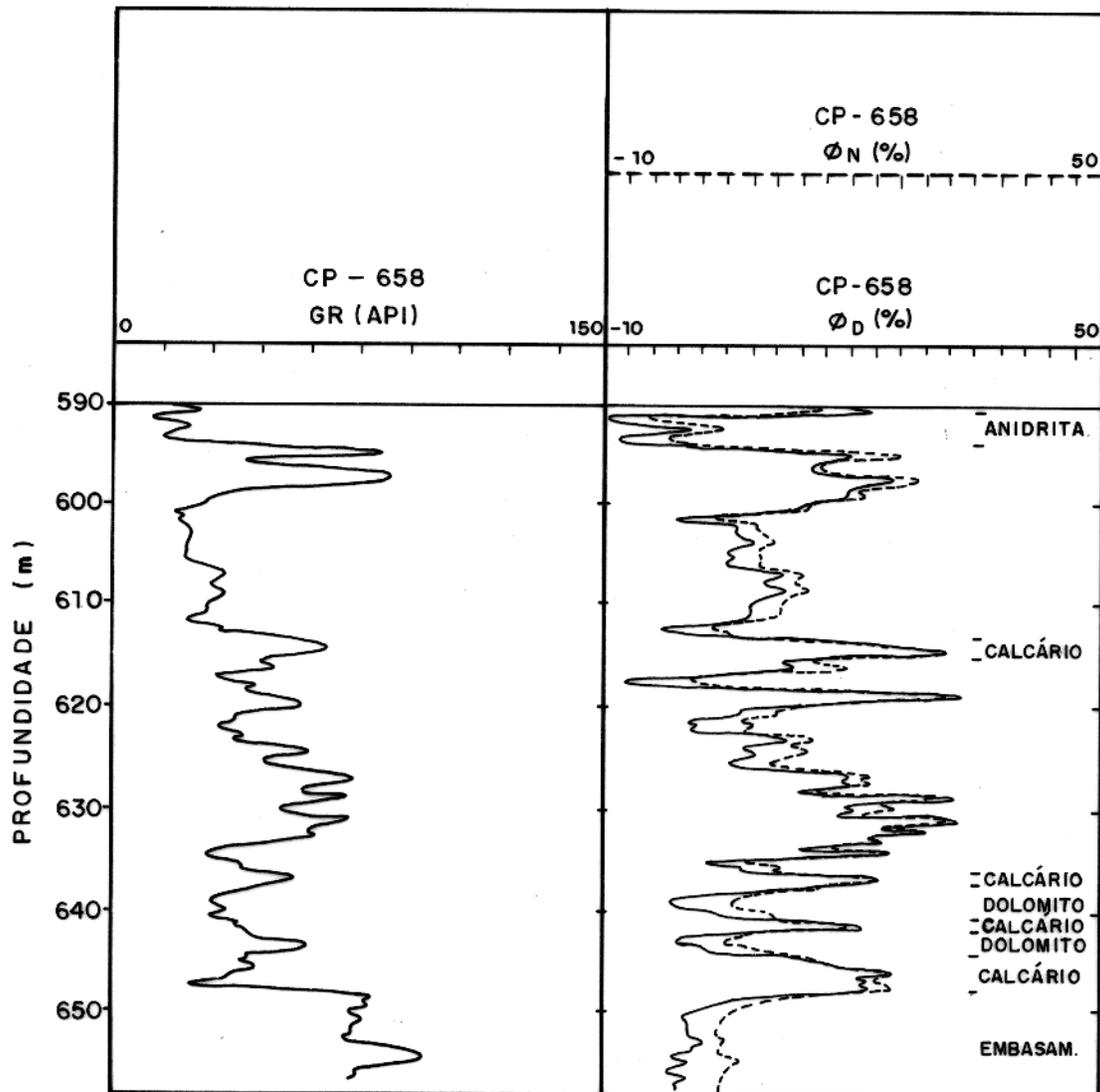


Figura 6.3 - Perfil raio-gama e superposição dos perfis ϕ_D e ϕ_N para o poço CP-658.

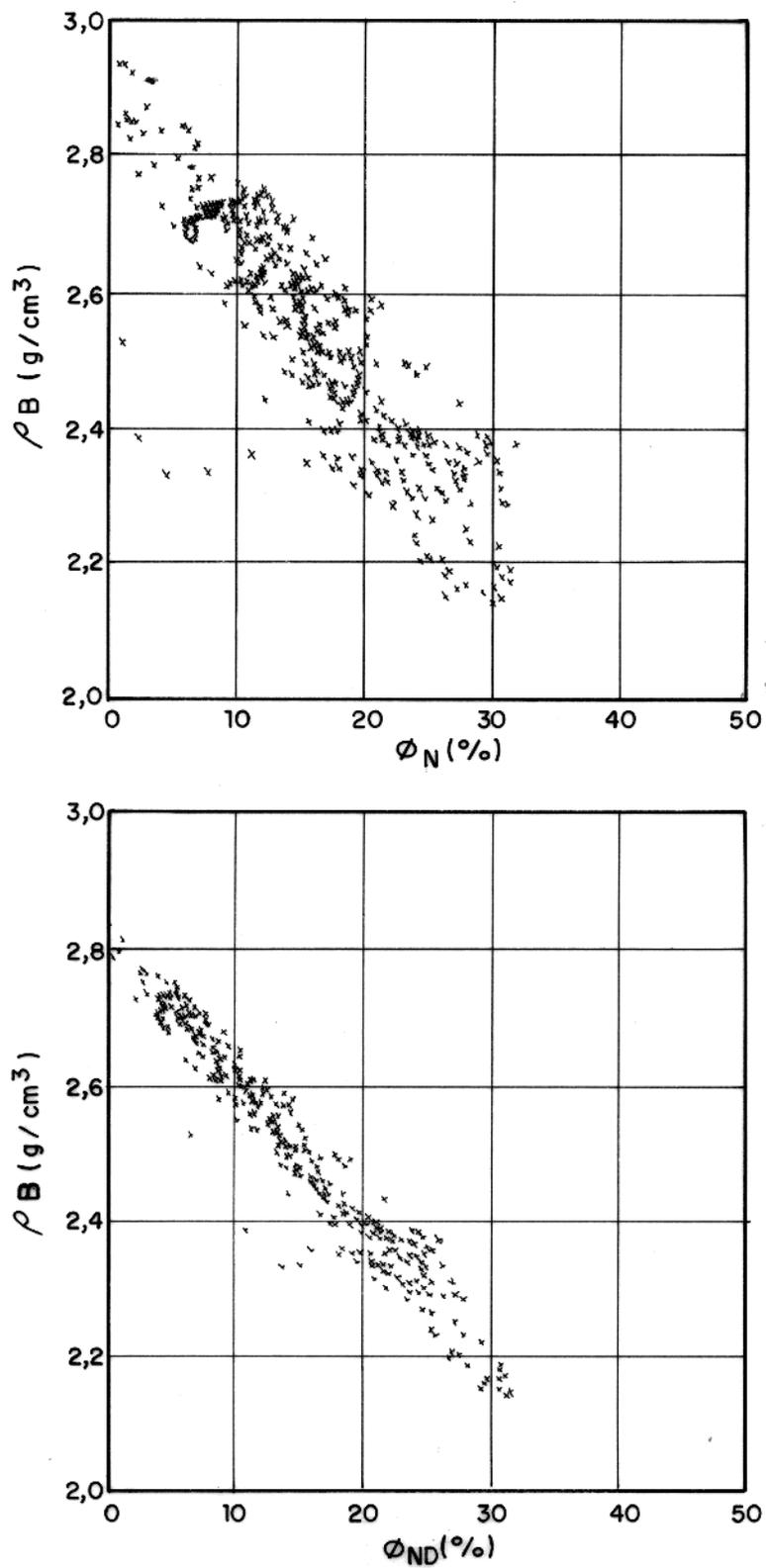


Figura 6.4 - "Cross-plots" $\rho_B \times \phi_N$ e $\rho_B \times \phi_{ND}$ para o poço CP-658.

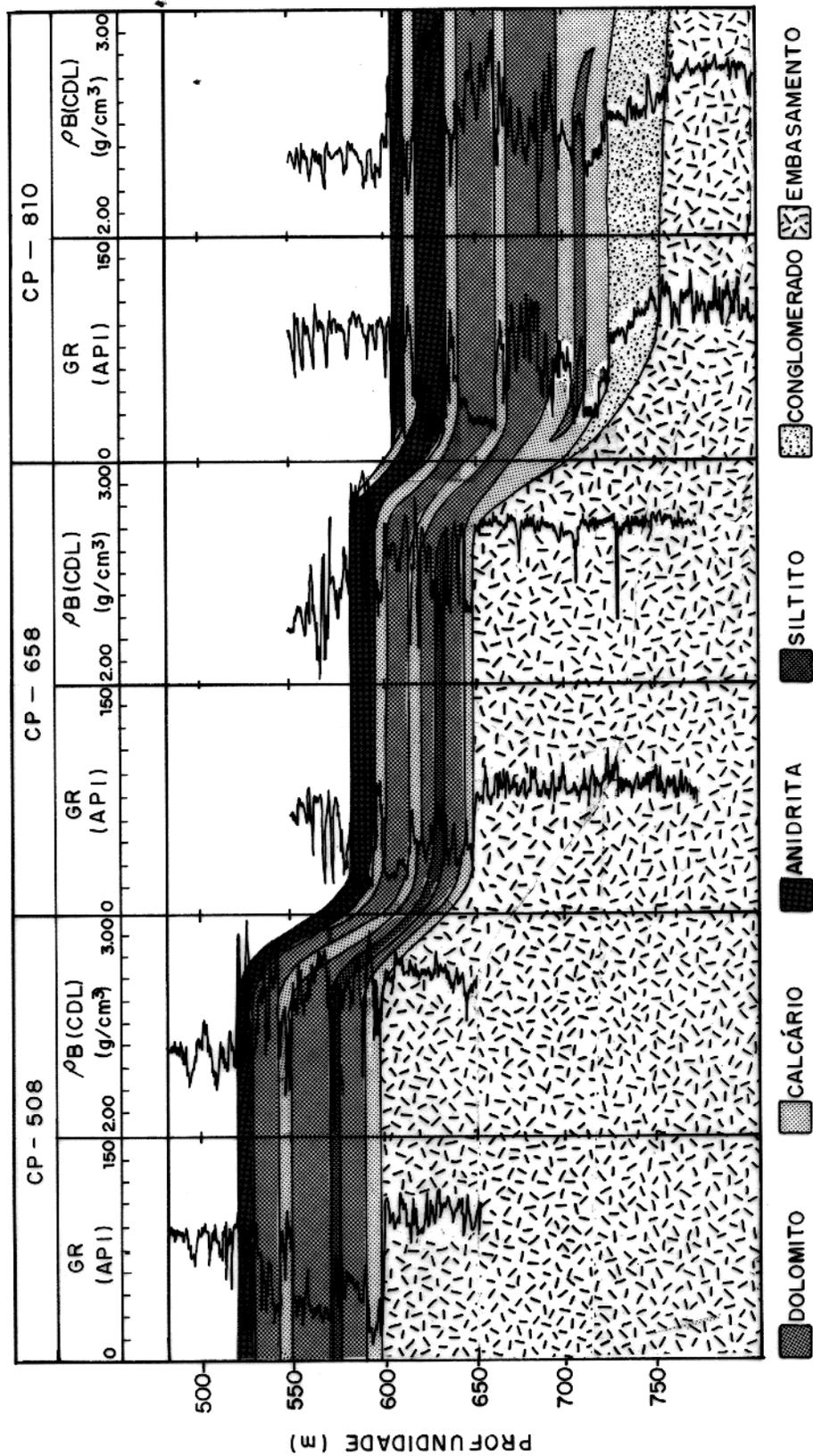


Figura 6.5 - Seção transversal aos poços CP-508, CP-658 e CP-810 apresentando a caracterização litológica obtida.

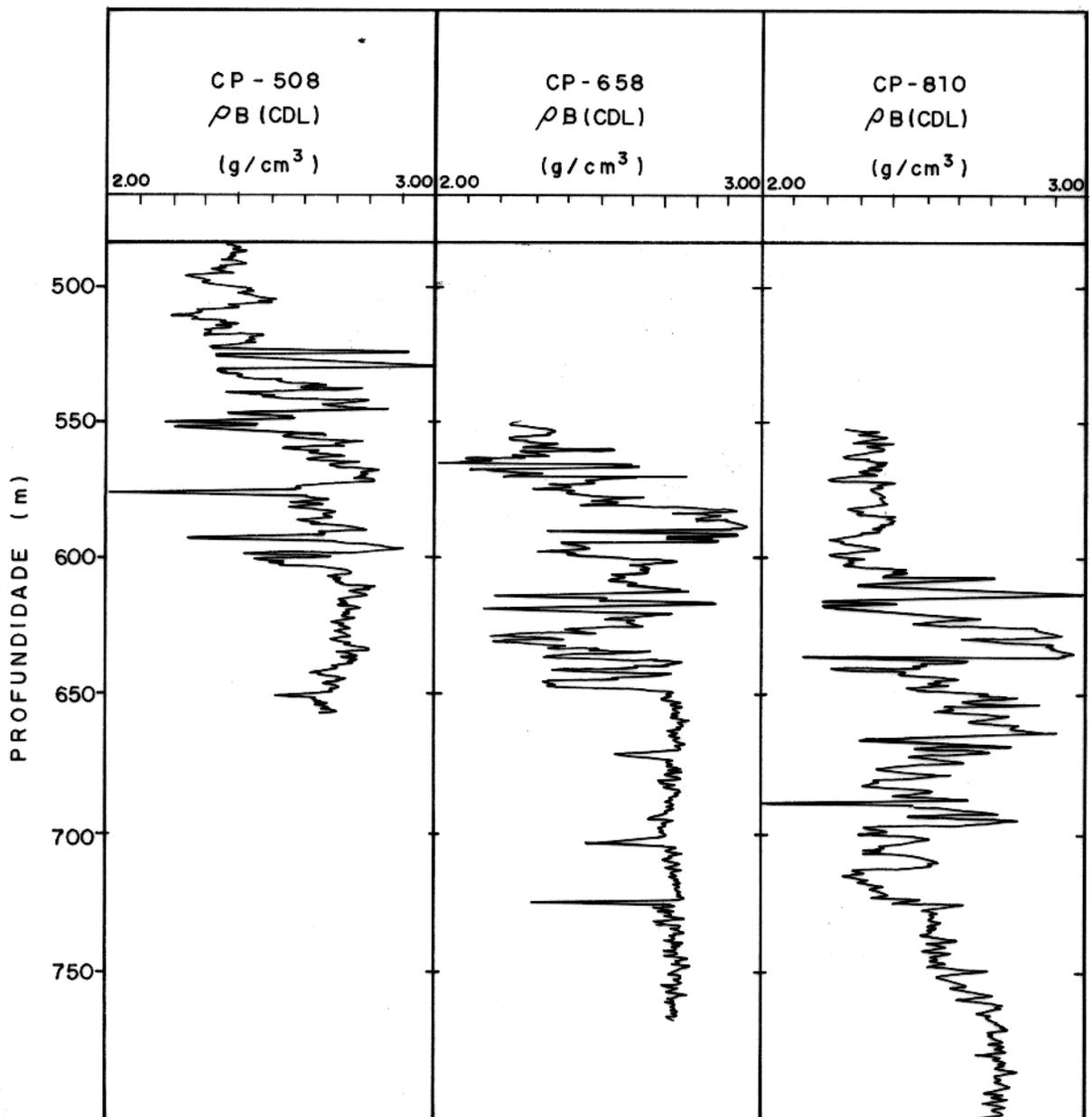


Figura 6.6 - Perfis de densidade compensada (CDL) para os poços CP-508, CP-658 e CP-810.

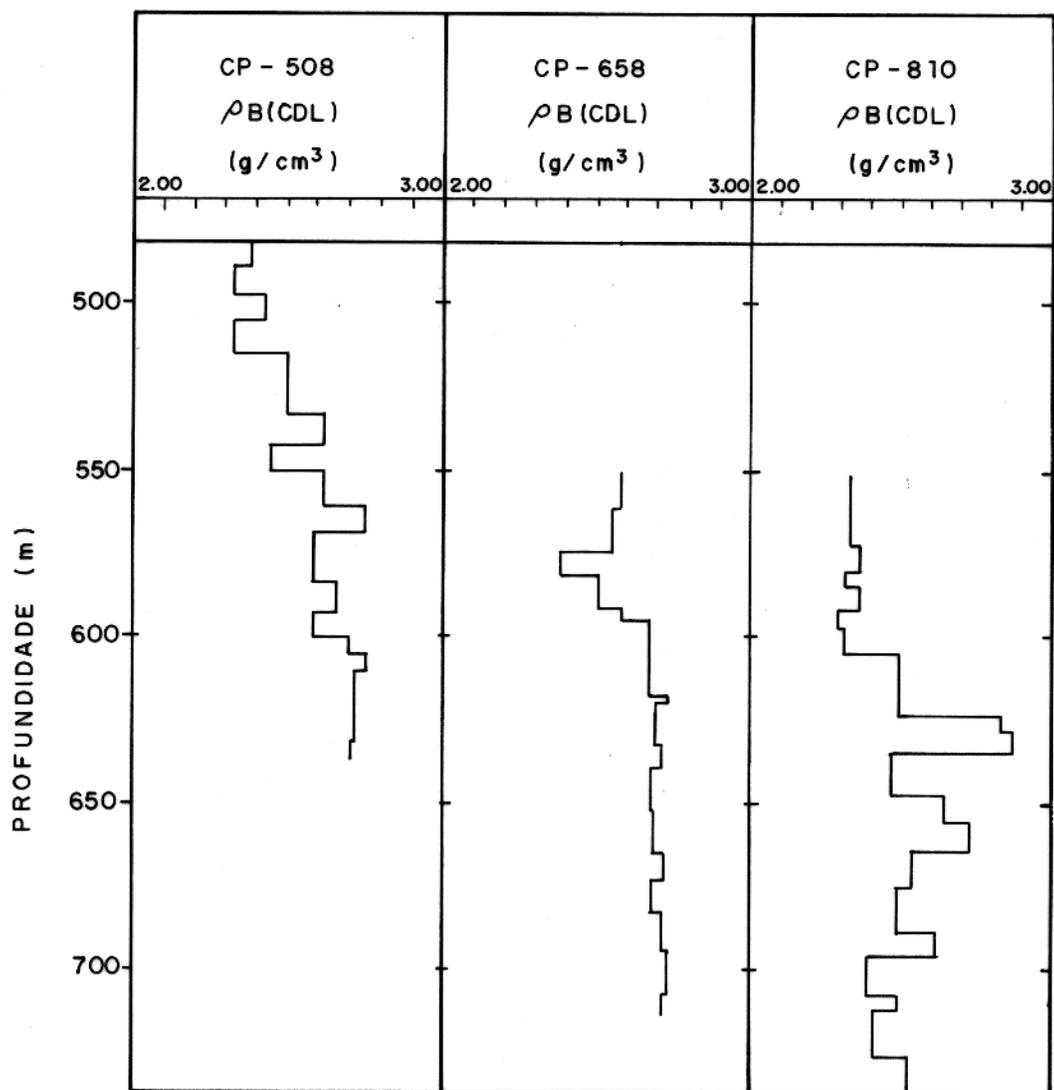


Figura 6.7 - Perfis de densidade compensada (CDL) para os poços CP-508, CP-658 e CP-810, quadratizados nos intervalos investigados com o perfil gravimétrico.

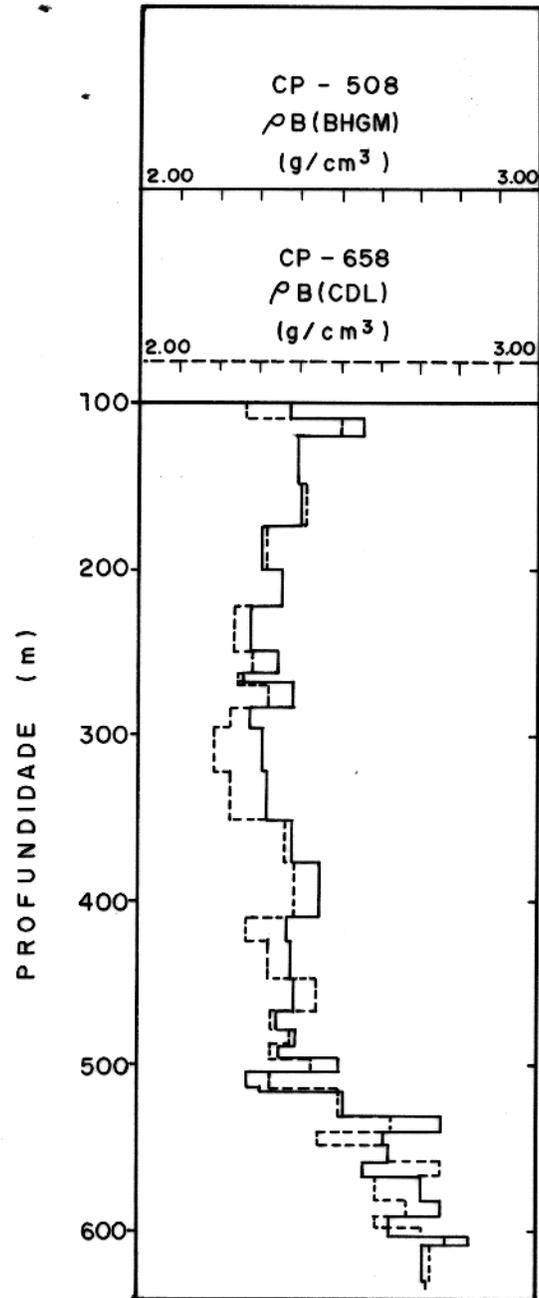


Figura 6.8 - Comparação entre os perfis gravimétrico e CDL no poço CP-508.

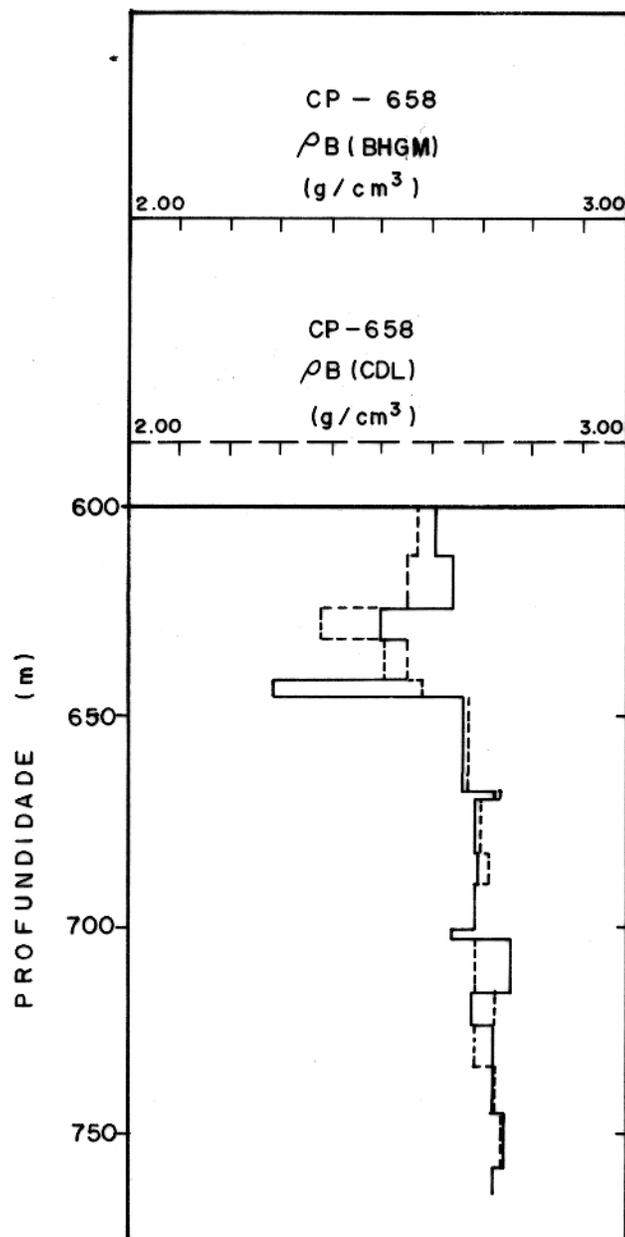


Figura 6.9 - Comparação entre os perfis gravimétrico e CDL no poço CP-658.

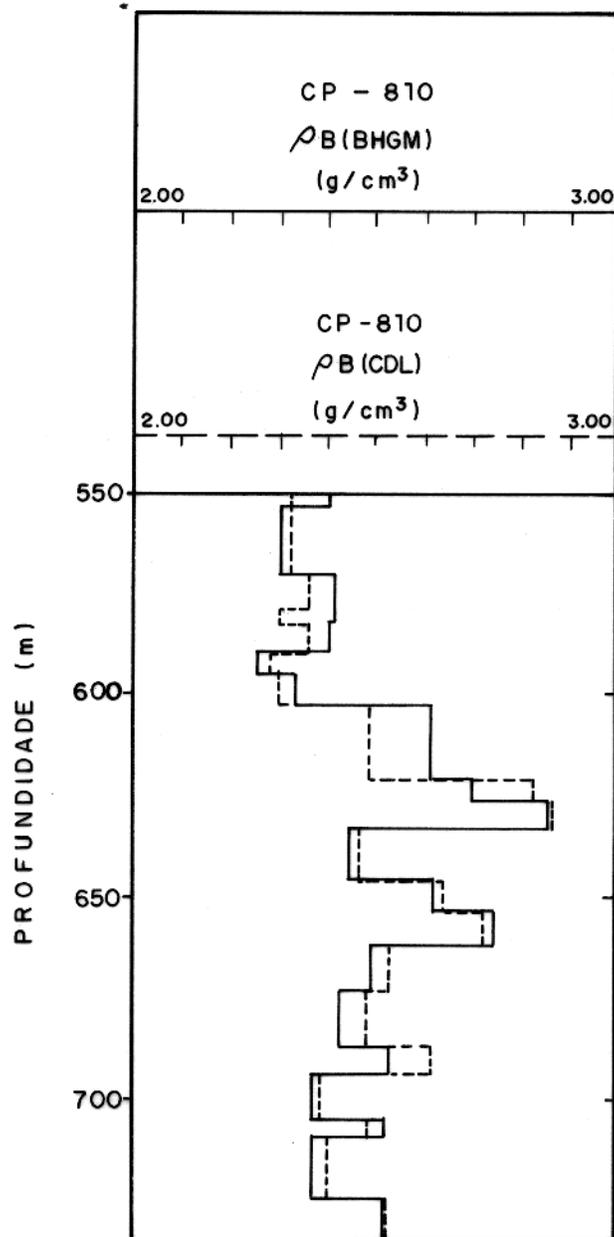


Figura 6.10 - Comparação entre os perfis gravimétrico e CDL no poço CP-810.

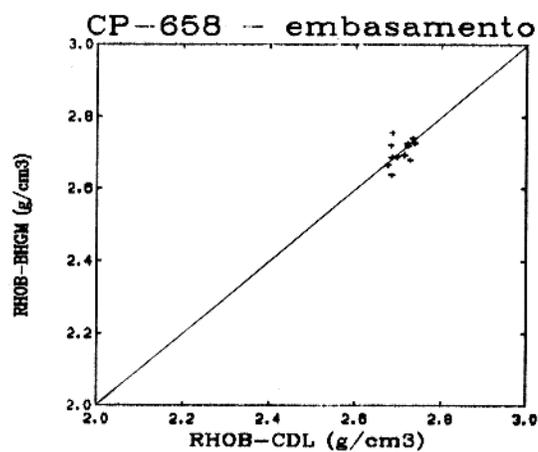
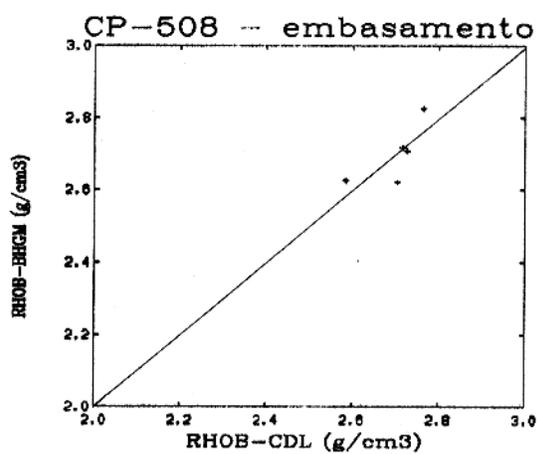
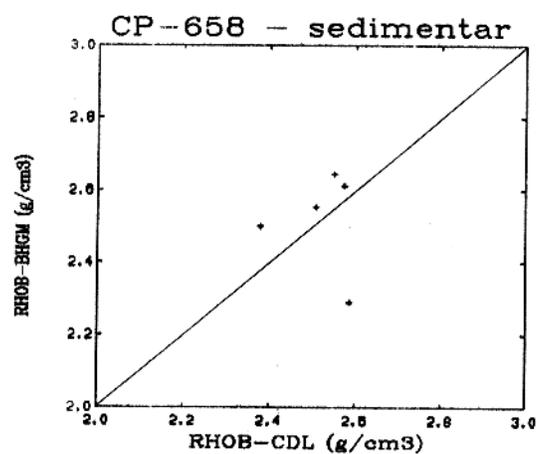
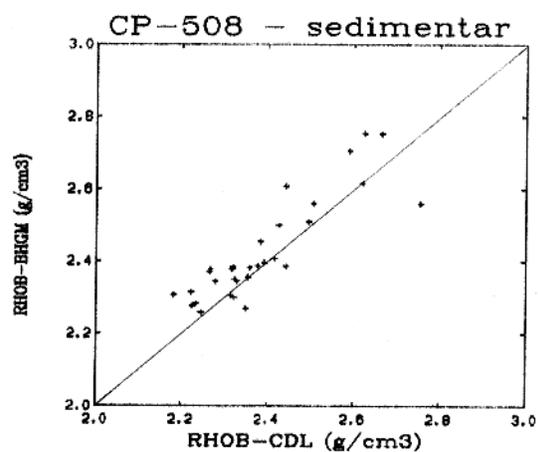


Figura 6.11 - "Cross-plots" $\rho_B(CDL) \times \rho_B(BHGM)$ para os poços CP-508, CP-658 e CP-810 para os intervalos sedimentares e de embasamento.

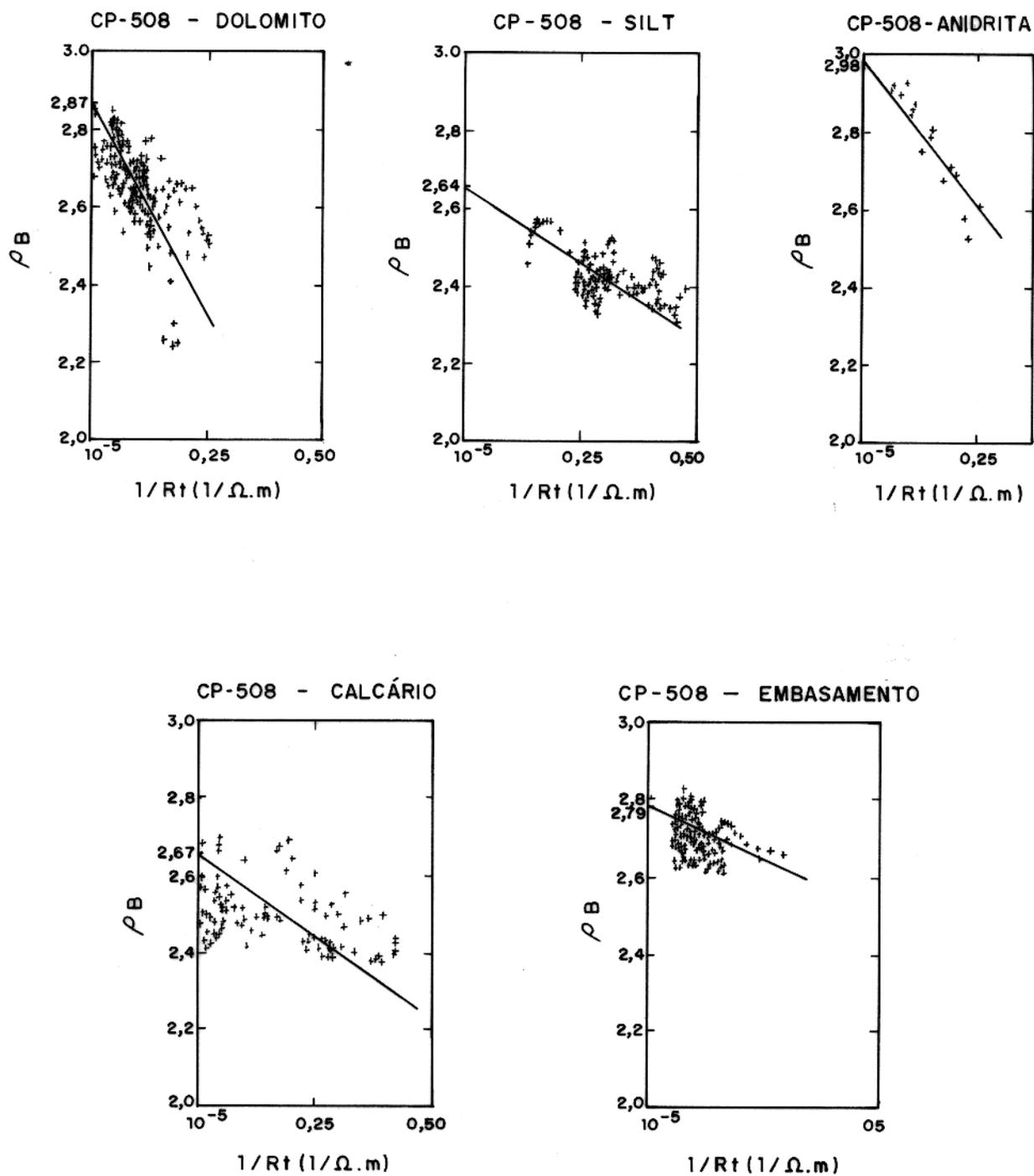


Figura 6.12a - "Cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias do poço CP-508.

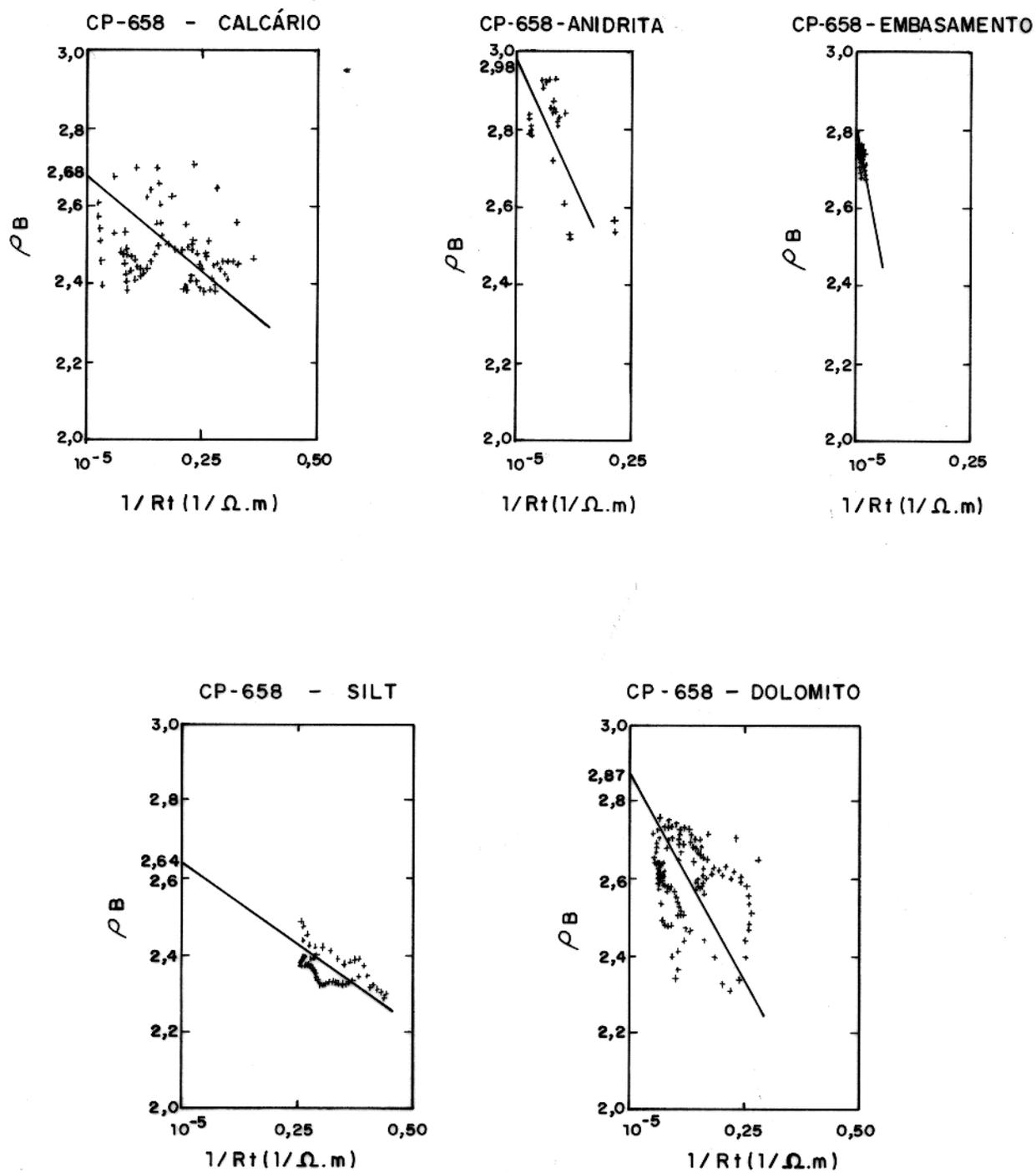


Figura 6.12b - "Cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias do poço CP-658.

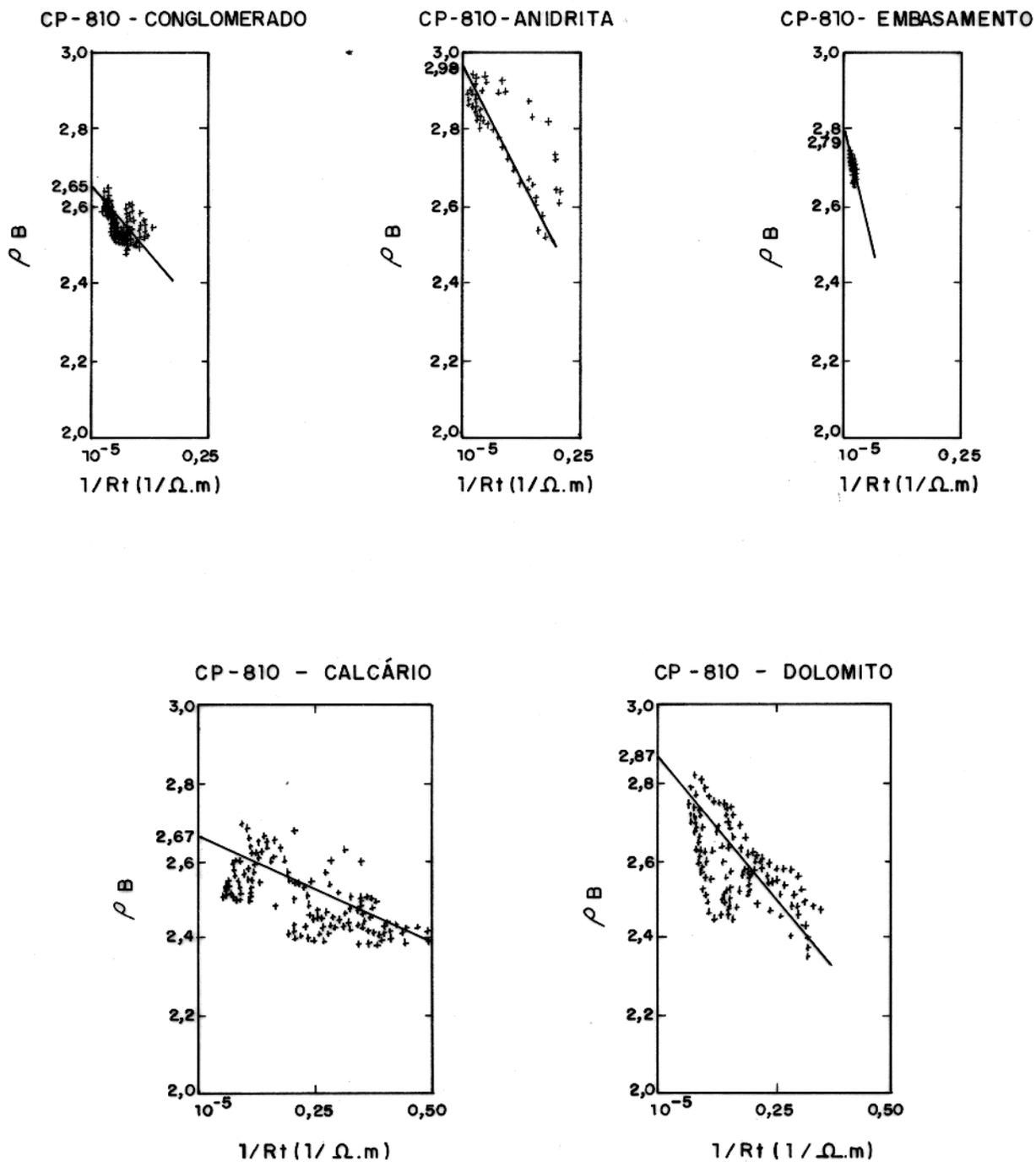


Figura 6.12c - "Cross-plots" $1/Rt \times \rho_B$ para as litologias do poço CP-810.

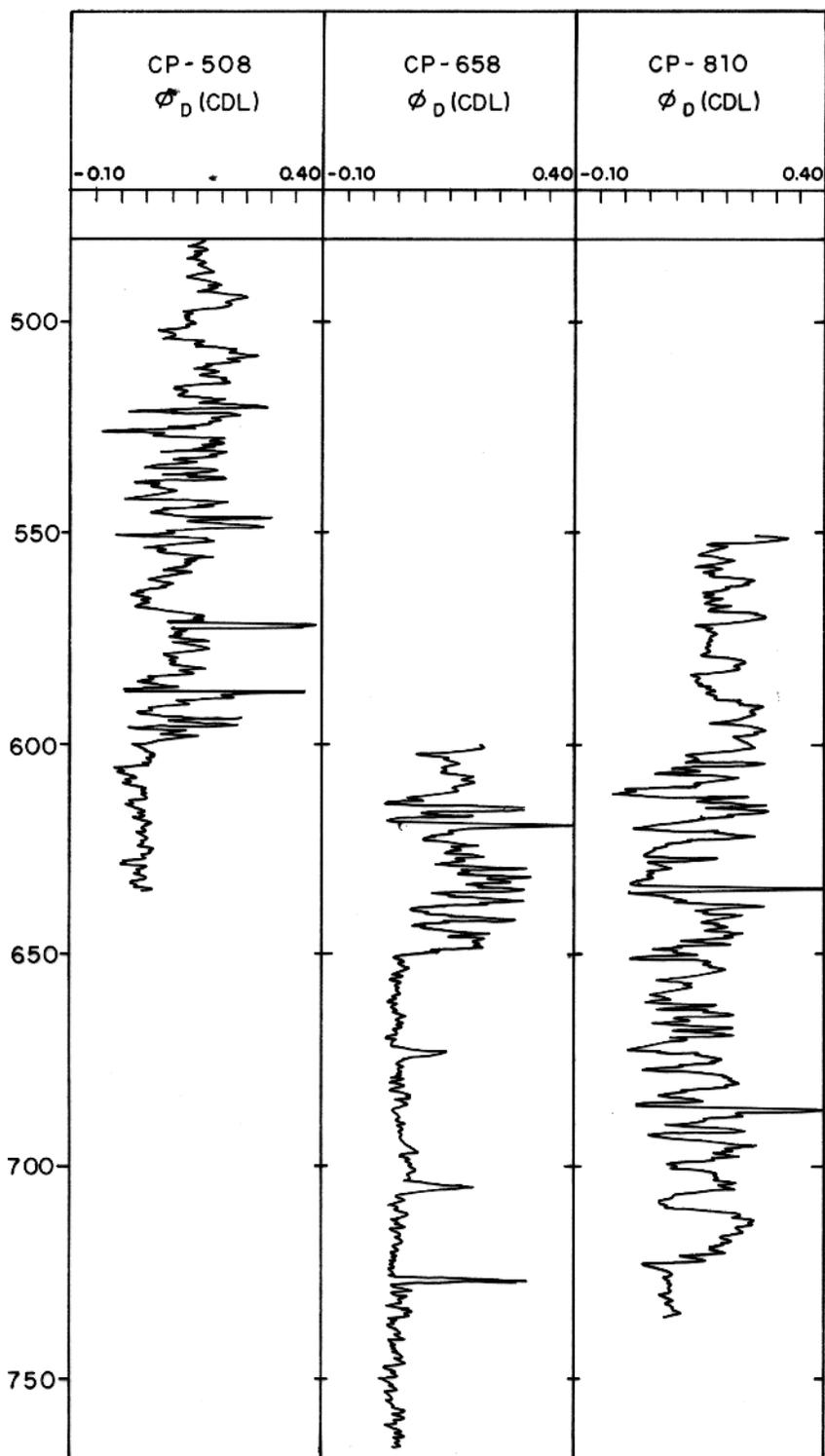


Figura 6.13 - Perfis de porosidade (ϕ_{CDL}) para os poços CP-508, CP-658 e CP-810 com indicação dos intervalos de produção.

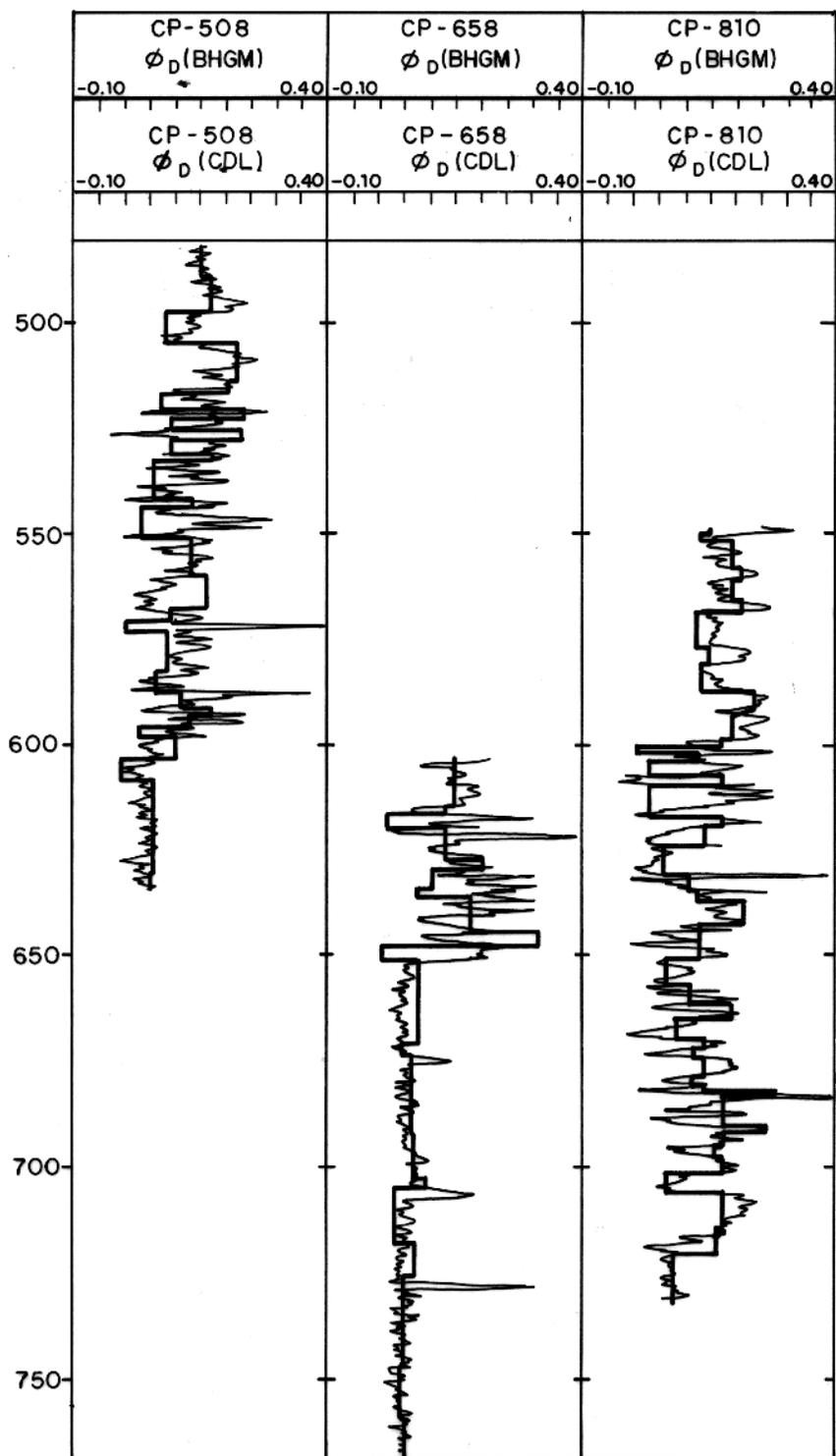


Figura 6.14 - Comparação entre os perfis de porosidade para os poços CP-508, CP-658 e CP-810 obtidos a partir dos perfis CDL e gravimétrico.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Como já havia sido observado em trabalhos anteriores de gravimetria de poço, ficou constatado neste primeiro teste com o gravímetro de poço no Brasil, a importância desta ferramenta no auxílio à exploração geofísica de poço. A vantagem de um maior volume de rocha investigado possibilita a obtenção de valores mais reais de densidade, principalmente em reservatórios fraturados ou com porosidade secundária. Possibilita também a identificação de estruturas geológicas remotas ao poço e ainda pode ser corrido em poços revestidos. Todos esses requisitos conferem a esta ferramenta um alto grau de confiabilidade, apesar do seu caráter de observação unidimensional, o que faz necessária a utilização de informações independentes.

Com relação à realização dos levantamentos gravimétricos de poço no Brasil, o que se pôde observar foi uma lentidão muito grande na obtenção de valores de gravidade. O tempo médio de leitura para cada estação foi de 4,5 minutos (Fig. 4.3), o que fez com que cerca de 24 horas fossem necessárias para a realização de um levantamento em um poço de 700 metros de profundidade. A utilização de um equipamento não sofisticado como o do U.S.G.S., o caráter didático do levantamento e a operação em poços com problemas de percolação de gás (Cap. 4.4) foram as causas principais da grande demora na obtenção das leituras. Porém, o desenvolvimento tecnológico com relação a novos sistemas de transmissão de dados à superfície e a automatização das leituras tem permitido um aumento na precisão dos levantamentos, eliminando assim problemas como saltos na contagem, observados no levantamento da bacia SE/AL. Atualmente, é grande o interesse no desenvolvimento de gravímetros que possam realizar as leituras em movimento, reduzindo em muito o tempo de realização dos levantamentos. Empresas norte-americanas como a EDCON Inc. vem operando comercialmente com gravímetros de poço há cerca de 10 anos e, atualmente, levantamentos vêm sendo realizados com bastante sucesso na região do Mar do Norte e no norte da África.

No processo de redução dos dados observados em campo, concluiu-se que estes estão intimamente relacionados com a realização dos levantamentos. No caso do levantamento da bacia SE/AL, pôde-se observar que os grandes intervalos de tempo (cerca de 12 horas) entre os conjuntos

de leitura em cada poço e o comportamento inconstante na execução das leituras, fizeram com que fosse impraticável o uso de qualquer algoritmo na redução dos dados de poço. A redução, realizada de forma manual, foi caracterizada por uma série de dificuldades, principalmente no cálculo da deriva instrumental. Algoritmos para redução dos dados gravimétricos de poço vem sendo desenvolvidos pelo U.S.G.S. (GREduc.for e BHGRV77.for) e pela EDCON Inc., onde as observações de campo são corrigidas automaticamente para os efeitos de maré, deriva, terreno e outras correções que podem ser providenciadas pelo usuário. Além disso, os dados corrigidos podem ainda ser testados quanto a sua qualidade através do método de Caton (1981), onde efeitos não interessantes são eliminados.

Com relação aos resultados obtidos neste primeiro teste com o gravímetro de poço, a comparação do perfil gravimétrico com o perfil densidade (CDL) corrido a poço aberto, mostrou que os resultados obtidos apresentam excelente qualidade. Intervalos reconhecidamente produtores de hidrocarbonetos na bacia apresentam valores de densidade mais baixos que os dos perfis CDL, o que conseqüentemente leva a valores maiores de porosidade. Os cálculos de porosidade requerem um razoável conhecimento sobre a litologia dos intervalos perfilados porque a densidade de matriz é uma variável muito importante. Devem se destacar, nesse caso, os intervalos entre 598-603 metros no poço CP-508, entre 640-645 metros no poço CP-658 e os intervalos entre 685-687 metros, 695-705 metros e 710-725 metros no poço CP-810. No cálculo da porosidade, a partir do perfil gravimétrico, onde se levou em conta a caracterização litológica, também pôde-se observar que os valores são maiores que os obtidos pela PETROBRÁS a partir do perfil CDL, onde somente um valor de ρ_m foi utilizado.

No embasamento fraturado, o perfil gravimétrico possibilitou a indicação de intervalos de interesse à prospecção de hidrocarbonetos, como entre 717-724 metros no poço CP-658. Outro aspecto importante foi a melhor caracterização de intervalos com a presença de zonas de fraturas. Valores mais reais de densidade foram obtidos para estas zonas.

A realização de outros testes com o gravímetro de poço é de extrema importância no melhor conhecimento desta ferramenta e seu futuro aproveitamento em relação aos problemas encontrados na avaliação das bacias sedimentares brasileiras. Considerando que neste primeiro teste somente poços rasos foram investigados, seria interessante observar o comportamento desta ferramenta em

poços mais profundos. Também em regiões onde a sísmica de superfície não apresenta boa resolução. Regiões como o sul da bacia de Campos ou a bacia do Solimões, onde a presença de níveis basálticos dificulta a interpretação seriam de extrema importância. Deve-se considerar também a utilização de tecnologia mais moderna. O trabalho de empresas que já operam comercialmente com este tipo de ferramenta além de agilizar a realização dos levantamentos tornaria seus custos de operação bem menores.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Hilton Bernard Evans pela amizade, pelos ensinamentos, pelo empenho e apoio científico na orientação deste trabalho.

Ao convênio UFPa / FADESP / CNPq / FINEP / PETROBRÁS pelo suporte financeiro.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Douglas Patrick O'Brien pela orientação nos trabalhos de campo e gabinete, pelo companheirismo, amizade e sugestões e ao Dr. Edson Starteri Sampaio pela revisão de texto e sugestões.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Dias, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geofísica, pela amizade, solidariedade e firme apoio durante todo o curso e principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos funcionários do Prédio de Geofísica para Exploração de Petróleo.

À Equipe de Perfuração da Petrobrás (EPP-1) pelo trabalho desempenhado durante a realização dos levantamentos de campo.

Aos geólogos/geofísicos Zenóbio, Mário, Michele, Fernando Barros, Edmilson, Bressane e Paulo Lopes do DENEST/DIRGEO pelo apoio técnico e material nos trabalhos de campo.

Aos geofísicos Francisco Nepomuceno Filho e Lucia Dillon do CENPES/DIVEX/SEGEF e Marco Polo P. da Boa Hora (DEPEX) pela coordenação do projeto e viabilização da vinda do técnico americano e do equipamento.

Ao técnico do U.S.G.S. Frederick G. Clutson pela orientação no manuseio do equipamento e a operação com o gravímetro de poço e a Don Hoover pela idéia inicial do projeto.

Ao amigo Fernando Sérgio de Moraes pela amizade e contribuições durante todo trabalho.

A Patricia Cunha Vasconcelos, Francisco Coelho de Castro Vasconcelos e Elizabeth Cunha Vasconcelos pelo carinho, amizade, dedicação e amor recebidos durante toda minha recuperação.

Aos meus pais e a minha avó pela solidariedade e atenção.

A Deus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEYER, L. A. 1968. Recent tests of The U. S. Geological Survey—LaCoste & Romberg borehole gravimeter system (abstract). *Geophysics*, 33 (6): 1030.
- BEYER, L. A. 1979. Terrain corrections for borehole gravity measurements. *Geophysics*, 44 (9): 1584–1587.
- BEYER, L. A. 1982. Interpretation and application of borehole gravity surveys. In: SEG short course, Denver, Colorado, 1982, 118 p.
- BLACK, A. J. 1986. Borehole gravity surveying, current instrumentation, capabilities and applications. *Borehole Geophysics for Mining and Geotechnical Applications*. In: KILLEEN, P. G. ed. Geological Survey of Canada, Ottawa, paper 85–27, p. 181–187.
- BLACK, A. J. & HERRING, A. T. 1983. Offset of borehole gravity densities due to geologic structures. In: ANNUAL MEETING OF SEG, Calgary, Canada, 1983, 20 p.
- BRADLEY, J. W. 1975. The application of borehole gravimeter to the evaluation and exploration of oil and gas reserves. In: MEETING OF SEG, 45, Denver, Colorado, 1975, 8p.
- CATON, P. W. 1981. Improved methods for reducing borehole gravity data—Applications and analyses of reduced gravity plots. In: SPWLA ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM, 22, Mexico City, 1981. Transactions. v.2, p. RR1–RR44.
- EDCON. 1977. Borehole gravity meter operation and interpretation manual. Lakewood, Colorado, Exploration Data Consultants Inc., 44p.
- EVANS, H. B. 1981. Log evaluation using programmable hand calculators. Oil and Gas Consultants International, Santa Barbara, California
- EVANS, H. B. 1989. Research proposal. In: Curso de Pós-Graduação em Geofísica. Belém, Dept. de Geofísica, UFPa, 3 p.
- EVANS, H. B. & O'BRIEN, D. P. 1989. Research proposal. In: Curso de Pós-Graduação em Geofísica. Belém, Dept. de Geofísica, UFPa, 4 p.

- FUGITA, A. M. 1974. A geomorfologia da superfície de discordância pré-aptiana na bacia Sergipe-Alagoas e sua relação com os campos de óleo. In: CONGRESSO BRAS. GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Anais ... , Porto Alegre, SBG, v. 2, p. 121-135.
- GILBERT, R. L. G. 1952. Gravity observations in a borehole. *Nature*, 170 (4323): 424-425.
- GOODELL, R. R. & FAY, C. H. 1964. Borehole gravity meter and its application. *Geophysics*, 29 (5): 774-782.
- HAMMER, S. 1939. Terrain corrections for gravimeter stations. *Geophysics*, 4: 184-194.
- HAMMER, S. 1950. Density determinations by underground gravity measurements. *Geophysics*, 15 (4): 637-652.
- HEAD, W. J. & KOSOSKI, B. A. 1979. Borehole gravity - a new tool for the ground water hydrologist [abs.]: *Transactions American Geophysical Union*, 60, (18): 248.
- HEARST, J. R. & MCKAGUE, T. I. 1976. Structure elucidation with borehole gravimetry. *Geophysics*, 41 (3): 491-505.
- HEARST, J. R.; SCHMOKER, J. W.; CARLSON, R. C. 1980. Effects of terrain on borehole gravity data. *Geophysics*, 45 (2): 234-243.
- HEISKANEN, W. A. & MORITZ, H. 1967. *Physical Geodesy*. San Francisco, W.H. Freeman, 364p.
- HOWELL, L. G.; HEINTZ, K. O.; BARRY, A. 1966. The development and use of a high precision downhole gravity meter (abstracts). *Geophysics*, 30 (6): 1237.
- JONES, B. R. 1972. The use of downhole gravity data in formation evaluation. *The Log Analyst*, 8 (6): 15-21.
- LaFEHR, T. R. 1983. Rock density from borehole gravity surveys. *Geophysics*, 48 (3): 341-356.
- LaFEHR, T. R. & DEAN, V. C. 1983. Borehole gravity case history of the Mors Salt Dome, Denmark. In: ANNUAL MEETING SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICS, 53, Las Vegas, Nevada, 1983. Expanded abstracts. p. 33-35.
- LaFEHR, T. R. ; MERKEL, R. H. ; HERRING, A. T. 1979. Evaluation and applications of the new LaCoste & Romberg borehole gravity meter (abstract). *Geophysics*, 44 (3): 369-370.

- LORENZ, H. 1938. Beiträge zur Theorie des Erdaufbaus: Zeitschr. Geophysik, 14: 142-152.
- LUTHER, G. G. & TOWLER, W. R. 1981. Redetermination of the Newtonian gravitational constant G . Preprint, 2nd International Conference on Precision Measurements and Fundamental Constants, Maryland, 6 p.
- McCULLOGH, T. H. 1965. A confirmation by gravity measurements of an underground density profile based on core densities. Geophysics, 30 (6): 1108-1132.
- McCULLOGH, T. H. 1966. The promise of precise borehole gravimetry in petroleum exploration and exploitation. Denver, Colorado. U.S.G.S., Circular 531, 12p.
- McCULLOGH, T. H.; LaCOSTE, L. J. B.; SCHOELLHAMER, J. E.; PAMPEYAN, E. H. 1967a. The U.S.G.S.-LaCoste & Romberg precise borehole gravimeter system-instrumentation and support equipment. Denver, Colorado. Geological Survey Research, U.S.G.S. Prof. Paper 575D, D92-D100.
- McCULLOGH, T. H.; SCHOELLHAMER, J. E.; PAMPEYAN, E. H.; PARKS, H. B. 1967b. The U.S.G.S.-LaCoste & Romberg precise borehole gravimeter system-Test results. Denver, Colorado. Geological Survey Research, U.S.G.S. Prof. Paper 575D, D101-D112.
- McCULLOGH, T. H.; KANDLE, J. R.; SCHOELLHAMER, J. E. 1968. Application of gravity measurements in wells to problems of reservoir evaluation. In: SPWLA ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM, 9, 1968. Transactions. p. 1-29.
- MORAES, F. S. 1991. Modelo interpretativo para os levantamentos gravimétricos de poço na Bacia SE/AL. Belém, 84 p. (Tese de Mestrado. Dep. Geof. UFPa)
- NETTLETON, L. L. 1976. Gravity and magnetics in oil prospecting. New York, McGraw-Hill, 464 p.
- PENNYBAKER, K. A. 1988. Borehole gravity drift correction: A new approach. Geophysics, 53 (10): 1343-1346.
- RASMUSSEN, N. F. 1973. Borehole gravity survey planning and operation. In: SPWLA ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM, 14, 1973. Transactions. p. Q1-Q28.
- RASMUSSEN, N. F. 1975. Borehole gravimeter finds bypassed oil and gas. Oil and Gas Journal, 73 (39): 100-104.

- ROBBINS, S. L. 1979. Density determinations from borehole gravity data for a shallow lignite zone within the Denver Formation, near Watkins, Colorado. In: SPWLA ANNUAL LOGGING SYMPOSIUM, 20, 1979. Transactions. p. JJ1-JJ20.
- ROBBINS, S. L. 1981. Re-examination of the values used as constants in calculating rock density from borehole gravity data. *Geophysics*, 46 (2): 208-210.
- ROBBINS, S. L. 1986. The use of borehole gravimetry in water well and waste disposal site evaluations. In: SURFACE AND BOREHOLE GEOPHYSICAL METHODS AND GROUND WATER INSTRUMENTATION CONFERENCE AND EXPOSITION, Dublin, Ohio, 1986. Proceedings. p. 474-486.
- ROBBINS, S. L. 1989. Borehole gravity measurements, data reduction and precision - A review and update of U.S.G.S. methods. Virginia, Department of Interior. 64 p. (U.S. Geological Survey circular, 890).
- ROGERS, G. R. 1952. Subsurface gravity measurements. *Geophysics*, 17 (2): 365-377.
- SCHLUMBERGER. 1989. Log interpretation charts book. Schlumberger Educational Services, Houston, U.S.A., 63 p.
- SCHMOKER, J. W. 1978. Accuracy of borehole gravity data. *Geophysics*, 43 (3): 538-542.
- SCHMOKER, J. W. 1980. Terrain effects of cultural features upon shallow borehole gravity data. *Geophysics*, 45 (12): 1869-1871.
- SMITH, N. J. 1950. The case for gravity data from boreholes. *Geophysics*, 15 (4): 605-636.
- SNYDER, D. D. & MERCKEL, R. H. 1977. Generalized correction for dipping beds for the borehole gravity meter. *The Log Analyst*, 18 (2): 41-43.
- VAN DER VEN, P. H.; CAINELLI, C.; FERNANDES, G. J. F. 1989. Bacia Sergipe-Alagoas: geologia e exploração. *Bol. Geoc. Petrobrás*, 3 (4): 307-315.

APÊNDICE I

TABELA 1

POÇO CP-508

PT: 642,60m.....data de início: 12/11/90

coordenadas: X-8.816.085,37 (10° 42' 13,294" S)

Y-714.853,30 (37° 02' 08,318" W)

Elev: 23,666m / BOP: 26,586m (Ref: Nível do mar)

Perfil Gravimétrico

Estação	Prof.	Hora	Temp(°C)	Contador
1	25,50m	00:33	42,0	1624,120
2	51,00m	01:10	40,5	1627,785
3	77,00m	01:28	40,5	1630,945
4	98,50m	01:43	40,5	1633,625
5	109,00m	01:56	40,5	1634,973
1	25,50m	02:23	40,5	1624,144
5	109,00m	02:47	40,5	1635,005
6	120,00m	02:57	40,5	1636,205
7	148,50m	03:11	40,5	1639,818
8	174,50m	03:30	42,0	1643,090
5	109,00m	03:48	42,0	1635,000
8	174,50m	04:04	42,0	1643,050
9	199,00m	04:16	42,0	1646,340
10	221,00m	04:31	42,0	1649,195
11	248,50m	04:49	45,0	1652,955
8	174,50m	05:22	43,2	1642,925
11	248,50m	05:40	41,0	1652,895
12	261,00m	05:54	45,0	1654,565
13	267,00m	06:07	46,5	1655,388
14	282,00m	06:20	47,0	1657,290
15	294,00m	06:30	47,5	1658,940
11	248,50m	06:46	48,0	1652,850
15	294,00m	07:02	48,0	1658,915
1	25,50m	07:38	43,5	1623,930

Estação	Prof.	Hora	Temp(°C)	Contador
1	25,50m	20:20	42,0	1623,875
15	294,00m	20:58	44,0	1658,898
16	321,00m	21:20	47,0	1662,545
17	351,00m	21:38	49,5	1666,590
18	377,00m	21:48	50,0	1669,935
15	294,00m	22:08	51,0	1658,870
18	377,00m	22:27	51,0	1670,025
19	410,00m	22:40	52,0	1674,105
20	425,00m	22:53	53,0	1676,050
21	448,00m	23:08	54,0	1679,025
18	377,00m	23:27	54,0	1670,038
21	448,00m	23:41	55,0	1679,112
22	468,00m	23:54	55,5	1681,695
23	479,00m	00:06	57,0	1683,150
24	487,00m	00:17	57,0	1684,175
25	495,50m	00:26	58,0	1685,300
21	448,00m	00:41	57,5	1679,035
25	495,50m	00:55	58,0	1685,300
26	503,00m	01:08	58,5	1686,305
27	513,00m	01:20	58,5	1687,705
28	515,50m	01:30	58,5	1688,095
29	531,00m	01:41	58,5	1689,930
25	495,50m	01:53	58,5	1685,430
29	531,00m	02:06	58,5	1689,920
30	540,50m	02:25	59,5	1690,917
31	548,00m	02:41	60,0	1691,680
32	559,00m	02:52	60,0	1692,840
33	567,00m	03:07	60,0	1693,705
29	531,00m	03:22	60,0	1689,830
33	567,00m	03:35	60,0	1693,695
34	582,00m	03:50	60,0	1695,350
35	591,00m	04:04	60,5	1696,250
36	598,00m	04:17	60,5	1697,040
37	603,00m	04:27	61,5	1697,550
33	567,00m	04:40	61,5	1693,720
37	603,00m	04:56	61,5	1697,550
38	608,00m	05:10	61,0	1698,040
39	630,00m	05:22	61,0	1700,192
40	635,50m	05:31	61,0	1700,715
37	603,00m	05:42	61,5	1697,548
40	635,50m	05:55	62,0	1700,725
1	25,50m	06:53	45,0	1623,880

Tabela 1 - Leituras realizadas com o gravímetro de poço L & R 6 no poço CP-508.

TABELA 2

Poço CP-658

PT: 772,50m.....data de início: 13/11/90

coordenadas: X-8.815.656,41 (10° 42' 27,200" S)

Y-715.106,42 (37° 01' 59,900" W)

Elev.: 31,019m / BOP: 33,702m (Ref: nível do mar)

Perfil Gravimétrico

Estação	Prof.	Hora	Temp(°C)	Contador
1	34,50m	23:15	42,0	1624,900
2	64,00m	23:30	42,5	1628,515
3	96,00m	23:43	42,0	1632,315
4	125,00m	23:53	44,0	1636,010
5	132,00m	00:04	45,0	1636,945
1	34,50m	00:27	45,5	1624,980
5	132,00m	00:56	46,0	1636,980
6	147,50m	01:07	47,0	1638,910
7	173,50m	01:20	47,5	1642,318
8	195,00m	01:33	47,0	1645,015
1	34,50m	02:40	48,5	1625,010
8	195,00m	03:04	48,0	1645,122
24	599,00m	04:23	60,0	1697,129
25	611,50m	04:34	61,5	1698,450
26	624,50m	04:49	62,0	1699,785
27	631,50m	04:57	62,0	1700,600
28	641,50m	05:15	63,0	1701,710
29	645,50m	05:25	63,0	1702,190
24	599,00m	05:40	63,0	1697,100
29	645,50m	05:55	63,0	1702,078

15/11/90

Estação	Prof.	Hora	Temp(°C)	Contador
24	599,00m	00:30	58,5	1696,695
29	645,50m	00:52	61,0	1701,782
30	668,50m	01:07	61,5	1704,715
31	670,00m	01:16	62,0	1704,260
32	683,00m	01:26	62,5	1705,552
33	690,00m	01:35	63,0	1706,245
34	701,00m	01:45	63,0	1707,338
35	703,00m	01:57	63,0	1707,547
36	716,00m	02:10	64,0	1708,755
37	724,00m	02:20	64,0	1709,555
38	734,00m	02:30	64,5	1710,514
39	745,50m	02:41	64,5	1711,620
40	758,50m	02:55	64,5	1712,842
41	766,00m	03:10	64,5	1713,556
37	724,00m	03:25	64,5	1709,590
41	766,00m	03:40	64,5	1713,540
37	724,00m	03:55	64,5	1709,578
33	690,00m	04:09	64,0	1706,270
29	645,50m	04:23	63,0	1701,781
24	599,00m	04:40	63,0	1696,655

Tabela 2 - Leituras realizadas com o gravímetro de poço L & R 6 no poço CP-658.

TABELA 3

Poço CP-810

PT: 738,00m.....data de início: 21/11/90

coordenadas: X-8.815.275,12 (10° 42' 39,548" S)

Y-715.389,66 (37° 01' 50,501" W)

Elev.: 30,600m / BOP: 33,000m (Ref. Nível do mar)

Perfil Gravimétrico

Estação	Prof.	Hora	Temp(°C)	Contador
1	25,00m	01:27	43,5	1622,062
2	76,50m	01:45	42,0	1628,775
3	113,00m	01:55	42,0	1633,380
4	140,00m	02:06	42,0	1636,835
5	165,00m	02:21	42,0	1640,225
1	25,00m	02:41	42,0	1622,170
5	165,00m	03:00	41,0	1640,265
15	420,00m	21:15	47,5	1672,985
16	460,00m	21:35	51,0	1678,330
17	500,00m	21:54	51,0	1683,247
18	525,00m	22:08	52,5	1686,225
19	553,00m	22:22	57,0	1689,668
20	570,50m	22:47	58,0	1691,977
15	420,00m	23:10	56,0	1672,966
20	570,50m	23:33	56,0	1692,090
21	579,00m	23:53	56,5	1693,060
22	582,50m	00:03	59,0	1693,660
23	590,00m	00:15	59,5	1694,585
24	595,00m	00:26	60,0	1695,275
25	603,00m	00:34	60,0	1696,310
26	621,50m	00:45	60,5	1698,305
20	570,50m	01:00	60,0	1692,090
26	621,50m	01:18	60,0	1698,330
27	626,50m	01:31	60,5	1698,685
28	633,50m	01:42	60,5	1699,228
29	645,50m	01:50	60,5	1700,628
30	653,50m	02:06	61,5	1701,430
31	662,00m	02:22	63,0	1702,185

Estação	Prof.	Hora	Temp(°C)	Contador
20	570,50m	02:40	61,5	1692,028
31	662,00m	02:58	61,0	1702,204
32	673,00m	03:09	61,5	1703,380
33	685,50m	03:22	62,0	1704,845
34	687,00m	03:34	63,0	1705,040
35	694,00m	03:43	63,0	1705,785
31	662,00m	03:53	63,0	1702,172
35	694,00m	04:03	63,0	1705,775
36	705,50m	04:13	63,0	1707,205
37	710,00m	04:20	63,0	1707,690
38	724,50m	04:29	64,0	1709,438
39	735,00m	04:40	64,5	1710,560
35	694,00m	04:51	64,5	1705,830
39	735,00m	05:03	64,5	1710,617
15	420,00m	05:37	58,5	1673,008

Tabela 3 - Leituras realizadas com o gravímetro de poço L & R 6 no poço CP-810.

APÊNDICE II

TABELA 1

POÇO CP-508

E	Profundidade (metros)	Hora	Leitura (contagem)	Correção de maré (mgal)	Correção de deriva (mgal)	Correção de terreno (mgal)	Leitura Corrigida (mgal)
1	25,50	00:33	1409,229	-0,019	0,000	-0,175	1409,035
2	51,00	01:10	1412,413	-0,038	+0,004	-0,182	1412,197
3	77,00	01:28	1415,158	-0,044	+0,006	-0,178	1414,942
4	98,50	01:43	1417,486	-0,048	+0,008	-0,183	1417,263
5	109,00	01:56	1418,657	-0,050	+0,009	-0,186	1418,430
1	25,50	02:23	1409,250	-0,052	+0,012	-0,175	1409,035
5	109,00	02:47	1418,684	-0,049	-0,020	-0,186	1418,430
6	120,00	02:57	1419,727	-0,047	-0,006	-0,190	1419,484
7	148,50	03:11	1422,865	-0,043	-0,015	-0,200	1422,607
8	174,50	03:30	1425,707	-0,036	-0,027	-0,210	1425,434
5	109,00	03:48	1418,680	-0,027	-0,037	-0,186	1418,430
8	174,50	04:04	1425,673	-0,018	-0,011	-0,210	1425,434
9	199,00	04:16	1428,530	-0,010	+0,006	-0,218	1428,308
10	221,00	04:31	1431,010	0,000	+0,014	-0,225	1430,799
11	248,50	04:49	1434,277	+0,013	+0,024	-0,232	1434,082
8	174,50	05:22	1425,564	+0,039	+0,041	-0,210	1425,434
11	248,50	05:40	1434,225	+0,053	+0,036	-0,232	1434,082
12	261,00	05:54	1435,676	+0,064	+0,006	-0,236	1435,510
13	267,00	06:07	1436,391	+0,074	+0,011	-0,237	1436,239
14	282,00	06:20	1438,043	+0,084	+0,017	-0,240	1437,904
15	294,00	06:30	1439,477	+0,091	+0,021	-0,243	1439,345
11	248,50	06:46	1434,186	+0,101	+0,027	-0,232	1434,082
15	294,00	07:02	1439,455	+0,111	+0,022	-0,243	1439,345
1	25,50	07:38	1409,064	+0,127	+0,019	-0,175	1409,035

E	Profundidade (metros)	Hora	Leitura (contagem)	Correção de maré (mgal)	Correção de deriva (mgal)	Correção de terreno (mgal)	Leitura Corrigida (mgal)
15	294,00	20:58	1439,440	+0,118	0,000	-0,243	1439,345
16	321,00	21:20*	1442,609	+0,115	+0,014	-0,248	1442,520
17	351,00	21:38	1446,123	+0,111	+0,025	-0,254	1446,035
18	377,00	21:48	1449,029	+0,107	+0,031	-0,258	1448,939
15	294,00	22:08	1439,416	+0,099	+0,043	-0,243	1439,345
18	377,00	22:27	1449,020	+0,089	+0,058	-0,258	1448,939
19	410,00	22:40	1452,565	+0,082	+0,019	-0,262	1452,434
20	425,00	22:53	1454,255	+0,073	+0,037	-0,264	1454,131
21	448,00	23:08	1456,839	+0,063	+0,059	-0,266	1456,725
18	377,00	23:27	1449,032	+0,049	+0,086	-0,258	1448,939
21	448,00	23:41	1456,915	+0,038	+0,008	-0,266	1456,725
22	468,00	23:54	1459,159	+0,028	+0,026	-0,268	1458,975
23	479,00	00:06	1460,423	+0,019	+0,050	-0,269	1460,253
24	487,00	00:17	1461,313	+0,011	+0,072	-0,270	1461,156
25	495,50	00:26	1462,291	+0,004	+0,090	-0,271	1462,134
21	448,00	00:41	1456,848	-0,007	+0,120	-0,266	1456,725
25	495,50	00:55	1462,291	-0,017	+0,111	-0,271	1462,134
26	503,00	01:08	1463,164	-0,026	+0,025	-0,271	1462,922
27	513,00	01:20	1464,380	-0,033	+0,050	-0,272	1464,155
28	515,50	01:30	1464,719	-0,039	+0,071	-0,272	1464,509
29	531,00	01:41	1466,313	-0,044	+0,094	-0,273	1466,120
25	495,50	01:53	1462,316	-0,050	+0,118	-0,271	1462,134
29	531,00	02:06	1466,305	-0,055	+0,113	-0,273	1466,120
30	540,50	02:25	1467,171	-0,060	+0,049	-0,274	1466,916
31	548,00	02:41	1467,834	-0,062	+0,090	-0,274	1467,618
32	559,00	02:52	1468,842	-0,063	+0,119	-0,275	1468,653
33	567,00	03:07	1469,593	-0,062	+0,157	-0,275	1469,443
29	531,00	03:22	1466,227	-0,060	+0,196	-0,273	1466,120
33	567,00	03:35	1469,584	-0,057	+0,161	-0,275	1469,443
34	582,00	03:50	1471,022	-0,052	+0,025	-0,276	1471,749
35	591,00	04:04	1471,804	-0,046	+0,048	-0,276	1471,560
36	598,00	04:17	1472,490	-0,039	+0,069	-0,277	1472,273
37	603,00	04:27	1472,933	-0,033	+0,086	-0,277	1472,739
33	567,00	04:40	1469,606	-0,025	+0,107	-0,275	1469,443
37	603,00	04:56	1472,933	-0,013	+0,066	-0,277	1472,739
38	608,00	05:10	1473,359	-0,002	+0,009	-0,277	1473,119
39	630,00	05:22	1475,229	+0,008	+0,016	-0,278	1475,005
40	635,50	05:31	1475,683	+0,016	+0,021	-0,278	1475,472
37	603,00	05:42	1472,932	+0,026	+0,028	-0,277	1472,739
40	635,50	05:55	1475,692	+0,037	-0,009	-0,278	1475,472

Tabela 1 – Correções para os efeitos de maré, deriva e terreno aplicadas às leituras com o gravímetro no poço CP-508.

TABELA 2

POÇO CP-658

E	Profundidade (metros)	Hora	Leitura (contagem)	Correção de maré (mgal)	Correção de deriva (mgal)	Correção de terreno (mgal)	Leitura Corrigida (mgal)
1	34,50	23:15	1409,907	+0,097	0,000	+0,474	1410,478
2	64,00	23:30	1412,047	+0,088	-0,004	+0,462	1413,593
3	96,00	23:43	1416,348	+0,080	-0,007	+0,417	1416,838
4	125,00	23:53	1419,557	+0,073	-0,010	+0,374	1419,994
5	132,00	00:04	1420,370	+0,065	-0,013	+0,364	1420,786
1	34,50	00:27	1409,976	+0,047	-0,019	+0,474	1410,478
5	132,00	00:56	1420,400	+0,022	0,000	+0,364	1420,786
6	147,50	01:07	1422,076	+0,013	+0,033	+0,342	1422,464
7	173,50	01:20	1425,037	+0,001	+0,044	+0,309	1425,391
8	195,00	01:33	1427,379	-0,010	+0,054	+0,284	1427,707
1	34,50	02:40	1410,002	-0,058	+0,060	+0,474	1410,478
8	195,00	03:04	1427,472	-0,069	+0,020	+0,284	1427,707

E	Profundidade (metros)	Hora	Leitura (contagem)	Correção de maré (mgal)	Correção de deriva (mgal)	Correção de terreno (mgal)	Leitura Corrigida (mgal)
24	599,00	04:23	1472,655	-0,078	0,000	+0,003	1472,579
25	611,50	04:34	1473,802	-0,075	-0,002	-0,002	1473,723
26	624,50	04:49	1474,962	-0,070	-0,005	-0,008	1474,879
27	631,50	04:57	1475,670	-0,066	-0,006	-0,011	1475,587
28	641,50	05:15	1476,635	-0,056	-0,009	-0,015	1476,555
29	645,50	05:25	1477,052	-0,050	-0,011	-0,017	1476,974
24	599,00	05:40	1472,629	-0,039	-0,014	+0,003	1472,579
29	645,50	05:55	1476,955	-0,027	+0,063	-0,017	1476,974
24	599,00	00:30	1472,278	+0,064	0,000	+0,003	1472,579
29	645,50	00:52	1476,697	+0,046	+0,016	-0,017	1476,974
30	668,50	01:07	1478,724	+0,034	+0,027	-0,026	1478,993
31	670,00	01:16	1478,850	+0,026	+0,034	-0,027	1479,117
32	683,00	01:26	1479,973	+0,017	+0,041	-0,032	1480,233
33	690,00	01:35	1480,575	+0,009	+0,048	-0,035	1480,831
34	701,00	01:45	1481,525	+0,001	+0,055	-0,039	1481,776
35	703,00	01:57	1481,707	-0,010	+0,064	-0,039	1481,956
36	716,00	02:10	1482,756	-0,021	+0,073	-0,044	1482,998
37	724,00	02:20	1483,451	-0,029	+0,081	-0,047	1483,690
38	734,00	02:30	1484,285	-0,036	+0,088	-0,050	1484,521
39	745,50	02:41	1485,246	-0,045	+0,096	-0,054	1485,477
40	758,50	02:55	1486,308	-0,054	+0,106	-0,059	1486,535
41	766,00	03:10	1486,928	-0,063	+0,117	-0,061	1487,155
37	724,00	03:25	1483,482	-0,071	+0,093	-0,047	1483,690
41	766,00	03:40	1486,914	-0,077	+0,145	-0,061	1487,155
37	724,00	03:55	1483,471	-0,082	+0,115	-0,047	1483,690
33	690,00	04:09	1480,597	-0,085	+0,120	-0,035	1480,783
29	645,50	04:23	1476,696	-0,086	+0,147	-0,017	1476,974
24	599,00	04:40	1472,242	-0,085	+0,185	+0,003	1472,579

Tabela 2 – Correções para os efeitos de maré, deriva e terreno aplicadas às leituras com o gravímetro no poço CP-658.

TABELA 3

POÇO CP-810

E	Profundidade (metros)	Hora	Leitura (contagem)	Correção de maré (mgal)	Correção de deriva (mgal)	Correção de terreno (mgal)	Leitura Corrigida (mgal)
1	25,00	01:27	1407,442	+0,072	0,000	+0,136	1407,650
2	76,50	01:45	1413,273	+0,069	-0,018	+0,119	1413,443
3	113,00	01:55	1417,273	+0,067	-0,028	+0,142	1417,454
4	140,00	02:06	1420,274	+0,064	-0,039	+0,156	1420,455
5	165,00	02:21	1423,219	+0,060	-0,054	+0,164	1423,389
1	25,00	02:41	1407,535	+0,052	-0,074	+0,136	1407,650
5	165,00	03:00	1423,253	+0,043	-0,071	+0,164	1423,389

E	Profundidade (metros)	Hora	Leitura (contagem)	Correção de maré (mgal)	Correção de deriva (mgal)	Correção de terreno (mgal)	Leitura Corrigida (mgal)
15	420,00	21:15	1451,679	-0,036	0,000	+0,105	1451,748
16	460,00	21:35*	1456,322	-0,028	-0,006	+0,088	1456,376
17	500,00	21:54	1460,594	-0,020	-0,013	+0,072	1460,633
18	525,00	22:08	1463,181	-0,013	-0,017	+0,062	1463,213
19	552,20	22:22	1466,173	-0,007	-0,022	+0,051	1466,195
20	569,70	22:47	1468,179	+0,006	-0,030	+0,044	1468,199
15	420,00	23:10	1451,662	+0,018	-0,037	+0,105	1451,748
20	569,70	23:33	1468,190	+0,029	-0,064	+0,044	1468,199
21	578,20	23:53	1469,033	+0,038	-0,022	+0,041	1468,090
22	581,70	00:03	1469,554	+0,042	-0,033	+0,039	1469,602
23	589,20	00:15	1470,358	+0,047	-0,046	+0,036	1470,395
24	594,20	00:26	1470,957	+0,051	-0,058	+0,035	1470,985
25	602,20	00:34	1471,856	+0,053	-0,067	+0,032	1471,874
26	620,70	00:45	1473,589	+0,056	-0,079	+0,025	1473,591
20	569,70	01:00	1468,190	+0,060	-0,095	+0,044	1468,199
26	620,70	01:18	1473,611	+0,063	-0,108	+0,025	1473,591
27	625,70	01:31	1473,919	+0,064	-0,013	+0,023	1473,993
28	632,70	01:42	1474,391	+0,065	-0,017	+0,021	1474,460
29	644,70	01:50	1475,608	+0,065	-0,021	+0,016	1475,668
30	652,70	02:06	1476,305	+0,065	-0,027	+0,014	1476,357
31	661,20	02:22	1476,961	+0,063	-0,037	+0,011	1476,998
20	569,70	02:40	1468,136	+0,060	-0,041	+0,044	1468,199
31	661,20	02:58	1476,977	+0,056	-0,046	+0,011	1476,988
32	672,20	03:09	1477,999	+0,053	0,000	+0,007	1478,059
33	684,70	03:22	1479,272	+0,049	0,000	+0,003	1479,324
34	686,20	03:34	1479,441	+0,044	0,000	+0,002	1479,487
35	693,20	03:43	1480,089	+0,041	+0,001	0,000	1480,050
31	661,20	03:53	1476,949	+0,037	+0,001	+0,011	1476,998
35	693,20	04:03	1480,080	+0,033	+0,018	0,000	1480,131
36	704,70	04:13	1481,323	+0,028	-0,002	-0,004	1481,345
37	709,20	04:20	1481,744	+0,025	-0,003	-0,005	1481,761
38	723,70	04:29	1483,263	+0,021	-0,004	-0,010	1483,270
39	734,20	04:40	1484,238	+0,016	-0,006	-0,013	1484,235
35	693,20	04:51	1480,128	+0,011	-0,008	0,000	1480,131
39	734,20	05:03	1484,287	+0,006	-0,045	-0,013	1484,235
15	420,00	05:37	1451,612	-0,009	-0,040	+0,105	1451,748

Tabela 3 – Correções para os efeitos de maré, deriva e terreno aplicadas às leituras com o gravímetro no poço CP-810.

TABELA 4

POÇO CP-508

Estação	Valor de g (mgals)	Profundidade (metros)	Valor de Δg (mgals)	Valor de Δz (metros)	Densidade (g/cm ³)
1	1409,035	25,50	3,162	25,50	2,20
2	1412,197	51,00	2,745	26,00	2,42
3	1414,942	77,00	2,321	21,50	2,39
4	1417,263	98,50	1,167	10,50	2,35
5	1418,430	109,00	1,054	11,00	2,54
6	1419,484	120,00	3,123	28,50	2,37
7	1422,607	148,50	2,827	26,00	2,38
8	1425,434	174,50	2,874	24,50	2,28
9	1428,308	199,00	2,491	22,00	2,33
10	1430,799	221,00	3,283	27,50	2,26
11	1434,082	248,50	1,428	12,50	2,32
12	1435,510	261,00	0,729	6,00	2,23
13	1436,239	267,00	1,665	15,00	2,36
14	1437,904	282,00	1,411	12,00	2,25
15*	1439,345	294,00	3,175	27,00	2,29
16	1442,520	321,00	3,515	30,00	2,28
17	1446,035	351,00	2,904	26,00	2,35
18	1448,939	377,00	3,995	33,00	2,42
19	1452,434	410,00	1,697	15,00	2,33

Estação	Valor de g (mgals)	Profundidade (metros)	Valor de Δg (mgals)	Valor de Δz (metros)	Densidade (g/cm ³)
20	1454,131	425,00	2,594	23,00	2,33
21	1456,725	448,00	2,250	20,00	2,34
22	1458,975	468,00	1,278	11,00	2,29
23	1460,253	479,00	0,903	8,00	2,33
24	1461,156	487,00	0,988	8,50	2,29
25	1462,134	495,50	0,778	7,50	2,44
26	1462,922	503,00	1,233	10,00	2,21
27	1464,155	513,00	0,354	2,50	1,99
28	1464,509	515,50	1,611	15,50	2,44
29	1466,120	531,00	0,786	9,50	2,69
30	1466,916	540,50	0,712	7,50	2,55
31	1467,618	548,00	1,035	11,00	2,56
32	1468,653	559,00	0,790	8,00	2,50
33	1469,443	567,00	1,296	15,00	2,65
34	1470,739	582,00	0,821	9,00	2,59
35	1471,560	591,00	0,713	7,00	2,47
36	1472,273	598,00	0,466	5,00	2,57
37	1472,739	603,00	0,380	5,00	2,77
38	1473,119	608,00	1,886	22,00	2,66
39	1475,005	630,00	0,467	5,50	2,68
40	1475,472	635,50			

Tabela 4 – Valores de densidade intervalar calculados à partir da leitura final em miligals e do gradiente vertical de gravidade ($\Delta g/\Delta z$).

TABELA 5

POÇO CP-658

Estação	Valor de g (mgals)	Profundidade (metros)	Valor de Δg (mgals)	Valor de Δz (metros)	Densidade (g/cm ³)
1	1410,478	34,50			
			3,115	29,50	2,42
2	1413,593	64,00			
			3,245	32,00	2,47
3	1416,838	96,00			
			3,156	29,00	2,38
4	1419,994	125,00			
			0,792	7,00	2,33
5	1420,786	132,00			
			1,678	15,50	2,39
6	1422,464	147,50			
			2,927	26,00	2,34
7	1425,391	173,50			
			2,316	21,50	2,40
8	1427,707	195,00			
24	1472,579	599,00			
			1,144	12,50	2,59
25	1473,723	611,50			
			1,156	13,00	2,62
26	1474,879	624,50			
			0,708	7,00	2,47
27	1475,587	631,50			
			0,968	10,00	2,53
28	1476,555	641,50			
			0,419	4,00	2,43
29	1476,974	645,50			
			2,019	23,00	2,63
30	1478,993	668,50			
			0,124	1,50	2,69
31	1479,117	670,00			
			1,116	13,00	2,66
32	1480,233	683,00			
			0,598	7,00	2,66
33	1480,831	690,00			
			0,945	11,00	2,66

Estação	Valor de g (mgals)	Profundidade (metros)	Valor de Δg (mgals)	Valor de Δz (metros)	Densidade (g/cm ³)
34	1481,776	701,00			
			0,180	2,00	2,61
35	1481,956	703,00			
			1,042	13,00	2,72
36	1482,998	716,00			
			0,692	8,00	2,65
37	1483,690	724,00			
			0,831	10,00	2,69
38	1484,521	734,00			
			0,956	11,50	2,69
39	1485,477	745,50			
			1,058	13,00	2,71
40	1486,535	758,50			
			0,620	7,50	2,69
26	1487,155	766,00			

Tabela 5 – Valores de densidade intervalar calculados à partir da leitura final em miligals e do gradiente vertical de gravidade ($\Delta g/\Delta z$)

TABELA 6

POÇO CP-810

Estação	Valor de g (mgals)	Profundidade (metros)	Valor de Δg (mgals)	Valor de Δz (metros)	Densidade (g/cm ³)
1	1407,650	25,00			
			5,793	51,50	2,34
2	1413,443	76,50			
			4,011	36,50	2,37
3	1417,454	113,00			
			3,001	27,00	2,35
4	1420,455	140,00			
			2,934	25,00	2,28
5	1423,389	165,00			
8	1451,748	420,00			
			4,628	40,00	2,30
9	1456,376	460,00			
			4,257	40,00	2,41
10	1460,633	500,00			
			2,580	25,00	2,45
11	1463,213	525,00			
			2,981	27,20	2,41
12	1466,195	552,20			
			2,004	17,50	2,31
13	1468,199	569,70			
			0,891	8,50	2,43
14	1469,090	578,20			
			0,512	3,50	1,94
15	1469,602	581,70			
			0,793	7,50	2,42
16	1470,395	589,20			
			0,590	5,00	2,27
17	1470,985	594,20			
			0,889	6,00	2,35
18	1471,874	602,20			
			1,717	18,50	2,57
19	1473,591	620,70			
			0,402	5,00	2,72
20	1473,993	625,70			
			0,467	7,00	2,88
21	1474,460	632,70			
			1,208	12,00	2,48

Estação	Valor de g (mgals)	Profundidade (metros)	Valor de Δg (mgals)	Valor de Δz (metros)	Densidade (g/cm ³)
22	1475,668	644,70			
			0,689	8,00	2,65
23	1476,357	652,70			
			0,641	8,50	2,78
24	1476,998	661,20			
			1,061	11,00	2,53
25	1478,059	672,20			
			1,265	12,50	2,47
26	1479,324	684,70			
			0,163	1,50	2,39
27	1479,487	686,20			
			0,644	7,00	2,58
28	1480,131	693,20			
			1,214	11,50	2,42
29	1481,345	704,70			
			0,416	4,50	2,58
30	1481,761	709,20			
			1,509	14,50	2,44
31	1483,270	723,70			
			0,965	10,50	2,58
32	1484,235	734,20			

Tabela 6 – Valores de densidade intervalar calculados à partir da leitura final em miligals e do gradiente vertical de gravidade ($\Delta g/\Delta z$).

APÊNDICE III

TESTES DE FORMAÇÃO

POÇO CP-508

TF-01 - Intervalo 745/780 m. Embasamento. Sopro forte de ar com gás à superfície aos 8 minutos, queimando com chama de 3,5 metros. Recuperado em circulação reversa 1,75m³ de lama ligeiramente cortada por gás. Teste considerado conclusivo, intervalo de baixa transmissibilidade, portador de gás. Tempo: 60 e 120 minutos.

TF-02 - Intervalo 714/745 m. Embasamento. Sopro moderado de ar durante todo o fluxo. Recuperados 19 metros de coluna (0,08 m³) de lama cortada por óleo. Teste conclusivo em intervalo de baixa transmissibilidade, portador de óleo. Tempo: 60 e 120 minutos.

TF-03 - Intervalo 677/712 m. Embasamento. Sopro forte e imediato de ar com gás à superfície aos 20 minutos, queimando com chama de 1 metro. Recuperados 105 metros de coluna (0,44 m³) e 18 metros de lama. Teste conclusivo em intervalo de regular transmissibilidade, portador de óleo. Tempo: 60 e 120 minutos.

TF-04 - Intervalo 630/675 m. Embasamento. Sopro forte de ar com gás na superfície aos 30 minutos. Recuperados 104 metros de coluna (0,44 m³) de lama cortada por óleo. Teste conclusivo, intervalo de transmissibilidade regular, portador de óleo. Tempo: 60 e 120 minutos.

TF-05 - Intervalo 585/615 m. Fm. Muribeca/Ibura e Embasamento. Sopro fortíssimo de gás queimando com chama de 10 metros. Não houve recuperação na coluna. Teste conclusivo, intervalo de boa transmissibilidade, portador de gás. Tempo: 20 e 75 minutos.

TF-06 - Intervalo 780/810 m. Embasamento. Sopro moderado e imediato de ar, gás na superfície aos 5 minutos queimando com chama de 1,5 metros. Recuperados 170 metros de coluna (0,71 m³) de lama cortada de gás. Teste conclusivo em intervalo de baixa transmissibilidade, possivelmente portador de óleo. Tempo: 90 e 180 minutos.

POÇO CP-658

TF-01 - Intervalo 795/835 m. Embasamento. Recuperados 120 metros de coluna (1,0 m³) com lama e água (salin. 67650 mg/l). Teste conclusivo em intervalo de regular transmissibilidade, portador de água. Tempo: 60 e 120 minutos.

TF-02 - Intervalo 745/785 m. Embasamento. Recuperados na circulação reversa 20 bbl de óleo e 7 bbl de água (salin. 130000 mg/l). Teste conclusivo em intervalo de boa transmissibilidade, portador de óleo/água. Tempo 60 e 120 minutos.

TF-03 - Intervalo 645/685 m. Embasamento. Recuperados 193 metros de coluna (1,16 m³) de lama cortada com óleo (50%). Teste conclusivo em intervalo de regular transmissibilidade, portador de óleo. Tempo: 60 e 120 minutos.

POÇO CP-810

TF-01 - Intervalo 795/834 m. Embasamento. Recuperados 9 metros de coluna (0,037 m³) de lama. Teste conclusivo em intervalo fechado.

TF-02 - Intervalo 726/765 m. Embasamento. Recuperados 200,6 metros de coluna (1,0 m³) de óleo. Teste conclusivo em intervalo de baixa/regular transmissibilidade, portador de óleo.

TF-03 - Intervalo 685/720 m. Fm. Muribeca/Ibura. Recuperados 192,47 metros de coluna (0,96 m³) de lama/óleo (50%). Teste conclusivo em intervalo de baixa transmissibilidade, portador de óleo.

Fonte: PETROBRÁS