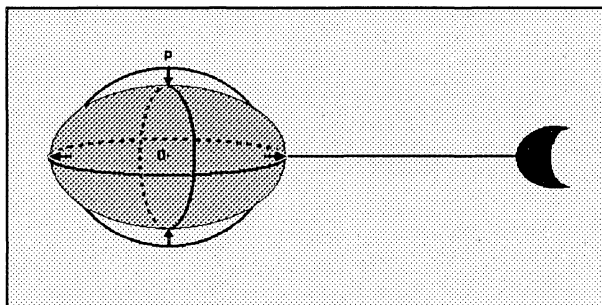


OZIEL HENRIQUE DA SILVA LEITE

**UMA CONTRIBUIÇÃO ÀS ANÁLISES DE MARÉS DEVIDO AOS EFEITOS DA
VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NOS DADOS GRAVIMÉTRICOS OBTIDOS NA
ESTAÇÃO FUNDAMENTAL DE CURITIBA**

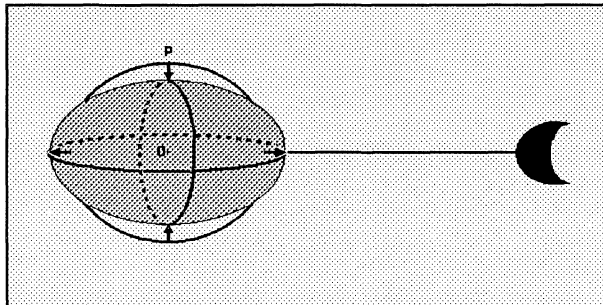


Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas para obtenção do Grau de Doutor em Ciências
pela Universidade Federal do Paraná

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
1992

OZIEL HENRIQUE DA SILVA LEITE

**UMA CONTRIBUIÇÃO ÀS ANÁLISES DE MARÉS DEVIDO AOS EFEITOS DA
VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NOS DADOS GRAVIMÉTRICOS OBTIDOS NA
ESTAÇÃO FUNDAMENTAL DE CURITIBA**



Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas para obtenção do Grau de Doutor em Ciências
pela Universidade Federal do Paraná

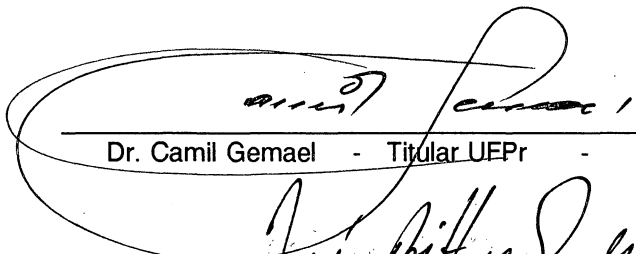
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
1992

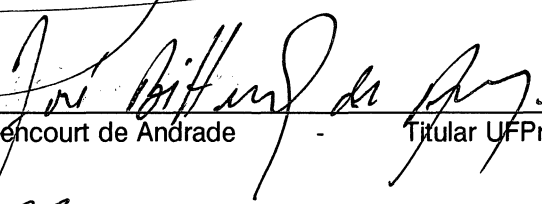
UMA CONTRIBUIÇÃO ÀS ANÁLISES DE MARÉS DEVIDO AOS EFEITOS DA
VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NOS DADOS GRAVIMÉTRICOS OBTIDOS NA
ESTAÇÃO FUNDAMENTAL DE CURITIBA

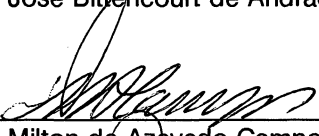
POR

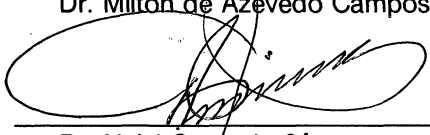
OZIEL HENRIQUE DA SILVA LEITE

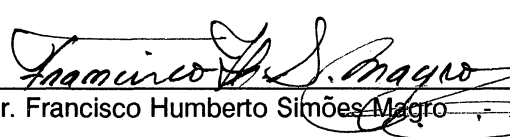
Tese aprovada como requisito parcial para obtenção
do grau de Doutor em Ciências no Curso de Pós-
Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade
Federal do Paraná, pela Banca Examinadora forma-
da pelos professores:


Dr. Camil Gemael - Titular UEPr - co-orientador


Dr. José Bittencourt de Andrade - Titular UFPr


Dr. Milton de Azevedo Campos - Adjunto UFPr


Dr. Nelsi Cogo de Sá - Assistente-Doutor USP


Dr. Francisco Humberto Simões Magro - Titular-UFRG

Curitiba, 24 de julho de 1992

AGRADECIMENTOS

Desejamos, aqui, externar os seus mais profundos agradecimentos às pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a execução desta tese.

Sinceramente agradeço ao Dr. Manfred Bonatz, da Universidade de Bonn, que gentilmente incentivou, colaborou e orientou as investigações realizadas neste trabalho durante, e após, a minha estada na Universidade de Bonn, da Republica Federal da Alemanha.

De maneira semelhante, quero agradecer ao Dr. Camil Gemael pelas proveitosas discussões, co-orientação e sugestões apresentadas.

Meus agradecimentos ao Dr. H.G.Wenzel da Universidade de Karlsruhe pela doação do programa Eterna, com suas discussões e auxilios prestados quando da minha visita a sua Universidade.

Ao Dr. Peter Bähr da Universidade de Karlsruhe, como responsável do projeto Brasil-Alemanha (Projekt "Postgraduirtenausbildung Geodäsie" GTZ-Nr.86.2516-01.100) quero externar meus reconhecimentos pela sua solicitude.

E, finalmente, expresso minha gratidão aos órgãos governamentais alemães DAAD - Detscher Akademischer Austauschdienst e GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit que possibilitaram administrativa e financeiramente a realização desta tese, assim como minhas viagens e estada na Republica Federal da Alemanha.

SINOPSE

O fenômeno das marés terrestres está intimamente ligado à geofísica, geodésia e astronomia, pois o mesmo provoca variação na forma da Terra.

O tratamento matemático de uma Terra sólida e rígida em uma Terra sólida e elástica é efetuada através do fator gravimétrico, obtido com as observações das marés terrestres.

A estação de marés terrestres de Curitiba possibilitou o registro de duas séries de observações, com períodos maiores que um ano, utilizando o gravímetro *ASKANIA BN-02 GS 12*.

Os fatores gravimétricos e as diferenças de fase dos principais grupos de ondas de maré, são determinados através de análises do espectro das frequências destas ondas. Atualmente existem diversos sistemas computacionais de análise tais como o *HICON*, *GEZA*, *ETERNA*, *ICET*. Neste trabalho foram utilizados os programas *GEZA* e *ETERNA*.

Os dados da primeira série foram analisadas na tese de Ratton(19) constatando-se a necessidade de se introduzir um segundo termostato interno ao gravímetro, pois as medidas eram altamente influenciadas pela variação da temperatura na estação de Curitiba.

Este trabalho tem como objetivo a verificação da qualidade das medidas obtidas com a modificação do gravímetro *Askania* e ao estudo de uma possível correlação entre os sinais de maré e os sinais da variação da temperatura.

Após a coleta da segunda série de observações, novas análises foram realizadas, incluindo as duas séries, verificando-se uma significativa melhora na qualidade das novas medidas após a implantação do segundo termostato.

As análises aqui efetuadas foram processadas com o programa de análise de marés terrestres *GEZA*, desenvolvido por Zimmermann(27) na Universidade de Bonn, com o objetivo de serem determinados os principais parâmetros de maré.

As investigações sobre a correlação entre os registros de marés e os sinais da variação da temperatura fizeram uso do programa *ETERNA*, elaborado por Wenzel(26) na Universidade de Karlsruhe. Os resultados obtidos mostram que a correlação não é linear.

SYNOPSIS

The earth tide phenomenon is strongly tied to the geophysics, geodesy and astronomy because it causes variation in the shape of the earth.

The treatment of a solid and rigid earth into a solid and elastic earth was done by the amplitude factor, obtained with the earth tide observation.

The earth tide station of Curitiba records two observations series, with periods greater than one year, using a *ASKANIA BN-02 GS 12* gravimeter.

The amplitude factors and phase-lags of the principal tidal waves groups are obtained by the analysis of the frequency spectrum of those waves. There are several analysis systems like *HYCON, GEZA, ETERNA, ICET*. In this thesis it was used the systems *GEZA* and *ETERNA*.

The data of the first series were analysed in the thesis of Prof.E.Ratton. It was showed the necessity to install a second internal thermostat in the gravimeter, because the measurements were strongly affected by the temperature variation in the Curitiba station.

The main aims of this thesis are the verification of the measurements quality obtained by the improvement of the Askania gravimeter mentioned above and to study one possible correlation between the tidal signal and the variation temperature signal.

After the collection of the second serie of observations, new analysis were accomplished, including the two series, and it was verified a significant improvement in the quality of the measurements, after the introduction of the second thermostat.

Here the analysis were processed with the tidal system analysis *GEZA*, developed by Zimmermann(27) (Bonn University), with the aim to determine the principal tidal parameters.

For the investigation about the correlation between the two signals, tide and temperature, the system *ETERNA* by Wenzel(26) (Karlsruhe) was used. The results obtained showed a non linear correlation.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|-----------|
| Título | i |
| Termo de Aprovação | ii |
| Agradecimentos | iii |
| Sinópsse | iv |
| Synopsis | v |
| Sumário | vi |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| | |
| 2. DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO FUNDAMENTAL DE CURITIBA E SUA INSTRUMENTAÇÃO | 5 |
| | |
| 2.1 Descrição da Estação de Curitiba | 5 |
| 2.2 Instrumentação | 13 |
| 2.2.1 Princípio de Funcionamento | 13 |
| 2.2.2 Os Primeiros Gravímetros Askania | 13 |
| 2.3 Gravímetro Askania BN-02 GS 12 | 16 |
| 2.4 Observações Obtidas com o Gravímetro Askania BN-02 GS 12 | 18 |
| 2.5 Outros Instrumentos Instalados na Estação de Curitiba | 18 |
| | |
| 3. CONCEITOS TEÓRICOS E ANÁLISE DAS MARÉS | 20 |
| | |
| 3.1 Introdução | 20 |
| 3.2 Forças Geradoras da Maré | 20 |
| 3.2.1 Lei de Newton e a Força de Maré | 20 |
| 3.3 Potencial de Maré da Terra Sólida e Rígida | 25 |
| 3.4 Decomposição do Potencial de Maré em Harmônicos Esféricos de Superfície - Funções Setorial, Tesseral e Zonal | 27 |
| 3.5 Análise Harmônica das Marés | 29 |
| 3.5.1 Decomposição do Potencial de Marés em Ondas | 29 |
| 3.5.1.1 Termo Setorial do Potencial de Maré. Ondas Semi-diurnas | 31 |
| 3.5.1.2 Termo Tesseral do Potencial de Maré. Ondas Diurnas | 33 |
| 3.5.1.3 Termo Zonal do Potencial de Maré. Ondas de Longo Período | 34 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.5.1.4 | Classificação Sistemática das Ondas de Maré | 35 |
| 3.6 | Potencial de Maré da Terra Sólida e Elástica | 38 |
| 3.6.1 | Potencial de Maré da Terra Perturbada | 38 |
| 3.6.2 | Potencial de Maré em Função dos Números de Love | 40 |
| 3.7 | Método de Análise | 41 |
| 3.7.1 | Considerações Gerais | 41 |
| 3.7.2 | Análise das Observações com o Método HYCON | 43 |
| 3.7.3 | Análise das Observações com o Método GEZA | 44 |
| 4. | CALIBRAÇÃO DAS DUAS SÉRIES DE OBSERVAÇÕES | 48 |
| 4.1 | Princípios de uma Calibração | 48 |
| 4.2 | Calibração Usando a 1ª Série de Observações - março 83 a abril 85 | 49 |
| 4.3 | Pré-análise das Observações | 49 |
| 4.3.1 | Investigações sobre a Mudança Brusca no Fator de Calibração da 1ª série de Observações | 50 |
| 4.3.2 | Calibração da 2ª Série de Observações - janeiro 88 a maio 89 | 62 |
| 4.3.3 | Investigações sobre a Mudança Brusca no Fator de Calibração da 2ª Série de Observações | 62 |
| 5. | SELEÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DAS DUAS SÉRIES | 73 |
| 5.1 | Seleção dos Dados | 73 |
| 5.2 | Normalização da 1ª Série de Observações | 93 |
| 5.3 | Normalização e Calibração da 2ª Série de Observações | 94 |
| 6. | ANÁLISE ANUAIS E SEUS RESULTADOS | 96 |
| 6.1 | Análise anual da 1ª Série de Observações | 96 |
| 6.2 | Análise anual da 2ª Série de Observações | 102 |
| 6.3 | Comparação entre os Resultados das duas Séries | 106 |
| 7. | INVESTIGAÇÕES SOBRE A CORRELAÇÃO ENTRE AS OBSERVAÇÕES E A TEMPERATURA DA SALA | 111 |
| 7.1 | O Programa ETERNA - " Earth Tide Analysis Program System " | 111 |
| 7.2 | Investigações da Correlação da Temperatura com as duas Séries de Observações | 112 |

| | | |
|-----------|--|-------------|
| | | viii |
| 7.2.1 | Análise Global dos Dados das duas Séries com e sem a Correlação da Temperatura | 112 |
| 7.2.2 | Análises Parciais com o Deslocamento (shifting) Horário da Temperatura | 117 |
| 7.2.3 | Análises com uma Amostra das Observações da 1ª Série - fevereiro a abril de 1984 | 117 |
| 7.2.4 | Análises com uma Amostra das Observações da 2ª Série - outubro 1988 a fevereiro 1989 | 120 |
| 8. | CONCLUSÕES | 125 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 127 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A atração gravitacional que atua entre os corpos celestes Sol-Lua e a Terra causa o fenômeno conhecido como marés.

A atração gravitacional entre Terra a massa unitária, em sua superfície e a força centrífuga devido à rotação terrestre produzem a força de gravidade nesse ponto. O vetor resultante é orientado para o interior da Terra, definindo a direção da vertical do ponto, e cujo módulo representa a intensidade da gravidade no ponto considerado.

A variação das distância do Sol e da Lua em relação à Terra produz uma alteração na força gravitacional que altera o vetor gravidade sobre os pontos na sua superfície. Isto significa que a força de maré altera também a forma terrestre. Tal fato mostra uma estreita relação das marés terrestres com a geofísica, geodésia e astronomia, visto que as marés terrestres se traduzem em deformações visco-elástico da Terra.

O espectro de frequências das ondas mecânicas situa-se entre ondas que têm períodos:

- a. de fração de segundos (ondas sísmicas)
- b. de alguns minutos a algumas horas (ondas devidas às oscilações livres)
- c. de fração do dia até milhares de anos (ondas devidas à atração luni-solar)

O efeito das marés terrestres é verificado em todas as observações da astronomia. As variações periódicas da direção da vertical de um ponto na superfície terrestre provoca uma alteração na latitude e longitude astronômica deste ponto. As deformações da forma da Terra produzem uma variação em seu momento principal de inércia alterando a precessão e a nutação e, conseqüentemente, na intensidade, direção e velocidade de rotação da mesma.

A medição geodésica de alta precisão, como nivelamento, posicionamento e levantamento gravimétrico, é afetada periódica e sistematicamente pelo fenômeno das marés terrestres.

Quando estudamos a física do interior da Terra, o fator gravimétrico (razão entre a

amplitude da variação da gravidade observada e a correspondente amplitude calculada através do modelo newtoniano) é afetado pela ressonância devido aos efeitos dinâmicos no núcleo líquido da Terra, provocados pelas marés terrestres (16).

As órbitas dos satélites artificiais são, também, perturbadas, uma vez que o potencial terrestre é alterado pela força de maré.

Além disso, as marés oceânicas perturbam a força de maré de um ponto da crosta (estação de maré terrestre), agravando ainda mais o problema. Esta perturbação depende de vários fatores tais como a distância estação-oceano, a espessura da litosfera, suas características reológicas, etc. O movimento periódico das águas oceânicas perturba as superfícies equipotenciais do campo de gravidade e pressiona a litosfera. Como esta não é rígida se deforma, causando um deslocamento radial do ponto considerado acarretando uma redistribuição de massas que afeta o potencial, efeito este chamado de efeito indireto (9).

Podemos citar, ainda, a vinculação das marés terrestres com a oceanografia, hidrologia e tectonismo.

No estudo das marés terrestres, o cálculo da amplitude e fase teóricas das principais ondas deve ser conduzido com o maior rigor para posterior comparação com os valores correspondentes observados. Desta comparação resultam parâmetros reológicos do nosso planeta; e, em particular para as aplicações geodésicas, o fator gravimétrico necessário nas determinações rigorosas da aceleração de gravidade.

As observações da variação de gravidade realizadas na estação de marés terrestre da UFPr, com o gravímetro *Askania BN-02 GS12* (modificado por Bonatz da Universidade de Bonn), foram paralelamente acompanhadas das observações dos parâmetros perturbadores temperatura e pressão atmosférica. O parâmetro temperatura é levado em consideração nas análises aqui efetuadas.

Neste trabalho foram analisadas duas séries de observações. A primeira no período de março de 1983 a abril de 1985 e a segunda de janeiro de 1988 a maio 1989.

A primeira série de observações, que proporcionou tese de professor titular da UFPr (19), objetivou a determinação dos fatores característicos regionais, o fator gravimétrico (δ_{ij}) e a diferença de fase (κ_{ij}) que permitem a predição das marés terrestres, utilizando o programa

HYCON (HYbrid least squares frequency domain CONvolution method) desenvolvido por Schueller (1977) da Universidade de Bonn, assim como no estabelecimento do estudo das correlações existentes entre a maré gravimétrica, a maré atmosférica e a variação da temperatura.

Suas análises mostraram que o gravímetro utilizado, *Askania BN-02 GS12*, é fortemente perturbado pelos efeitos meteorológicos, devido principalmente à temperatura. Tal fato levou à recomendação da modificação da termostatização interna deste gravímetro (conexão de um segundo termostato), visando estudar o comportamento do mesmo sob a ação de variações térmicas, após novas observações (19).

As modificações, quanto ao aquecimento interno, foram realizadas pelo Prof.M.Bonatz. A partir de janeiro de 1988, a segunda série de observações teve seu início e perdurou até maio de 1989, acompanhadas, evidentemente, do registro paralelo da temperatura e pressão atmosférica.

Esta tese tem como objetivo um estudo detalhado, utilizando o sistema de análise GEZA desenvolvido por Zimmermann da Universidade de Bonn, dos efeitos:

- a. da variação da temperatura 1
- b. dos saltos (jumps) encontrados no fator de calibração (sensitivity) do gravímetro e ainda na determinação dos parâmetros representativos das marés (δ_{ij}, κ_{ij}) para a estação de Curitiba das duas séries de observações. A primeira sem as modificações e a segunda com a conexão do segundo termostato interno, podendo, assim, compará-los.

No capítulo II é descrita a estação de Curitiba: situação geográfica, distância do oceano, composição geológica do sub-solo, construção do prédio da estação e o isolamento térmico; assim como o gravímetro *Askania BN-02 GS12* com e sem a conexão do segundo termostato e outros gravímetros que operaram na estação, com o registro paralelo das observações gravimétricas, temperatura e pressão atmosférica.

O capítulo III discute os métodos de análises HYCON e GEZA.

O problema da calibração do gravímetro, a variação no fator de calibração (sensitivity), assim como investigações na identificação dos saltos, ou seja, época em que os saltos ocorreram são analisado no capítulo IV através de uma análise mensal, com deslocamento (shifting) diário, das observações.

O capítulo V se preocupa com a seleção dos dados de acordo com as perturbações induzidas pela temperatura e com a normalização dos dados das duas séries devidos aos saltos encontrados.

As análises anuais dos dados das duas séries, com o objetivo de separar as ondas de longo período e a comparação entre os desvios padrões globais são abordadas no capítulo VI.

Investigações sobre a existência de correlação entre os sinais de maré e os sinais da temperatura são realizadas no capítulo VII.

No capítulo VIII são relatadas as conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO II

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO FUNDAMENTAL DE CURITIBA E SUA INSTRUMENTAÇÃO

2.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE CURITIBA

A estação de marés terrestres de Curitiba caracteriza-se por ser uma estação de clima tropical. Cuidados especiais foram necessários na sua construção devido às grandes variações meteorológicas (temperatura).

A implantação da mesma foi realizada por iniciativa do Dr.C.Gemael coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPr em 1983, apoiado pelo, então, Reitor Dr.Ociron Cunha e com a ajuda técnica de Bonatz, tornando-se a primeira estação permanente do Brasil. Recebeu do Centro Internacional de Marés Terrestres a matrícula nº 7305.

Situa-se próxima ao trópico de Capricórnio (Fig.2.1.1) e suas coordenadas geográficas são (9):

$$\phi = 25^{\circ} 27' 15,25'' \text{ S} \quad \lambda = 49^{\circ} 14' 15,46'' \text{ W}$$

A importância das investigações realizadas nesta estação se deve, principalmente, ao fato da pequena quantidade de informações sobre as marés existentes no hemisfério sul, contribuindo, assim, não somente à comunidade geofísica e geodésica brasileira como também à internacional.

A estação de Curitiba situa-se a 80 km do oceano, a uma altitude de 913 m. Devido a sua proximidade com o mar, estudos sobre as marés oceânicas e o "loading effect" (pressão das águas oceânicas sobre a litosfera) devem ser realizados com a finalidade de verificar seus efeitos sobre as observações obtidas na estação. Assunto este não tratado neste trabalho. Uma outra investigação a ser realizada no futuro diz respeito a abrupta ascensão topográfica entre a estação e o oceano. A influência da quantidade de massa da Serra do Mar e a do próprio planalto onde se encontra a estação deve ser investigada através de um perfil gravimétrico estação-oceano. Sobre este tópico existe um planejamento para a realização de tal perfil com a colaboração da Uni-

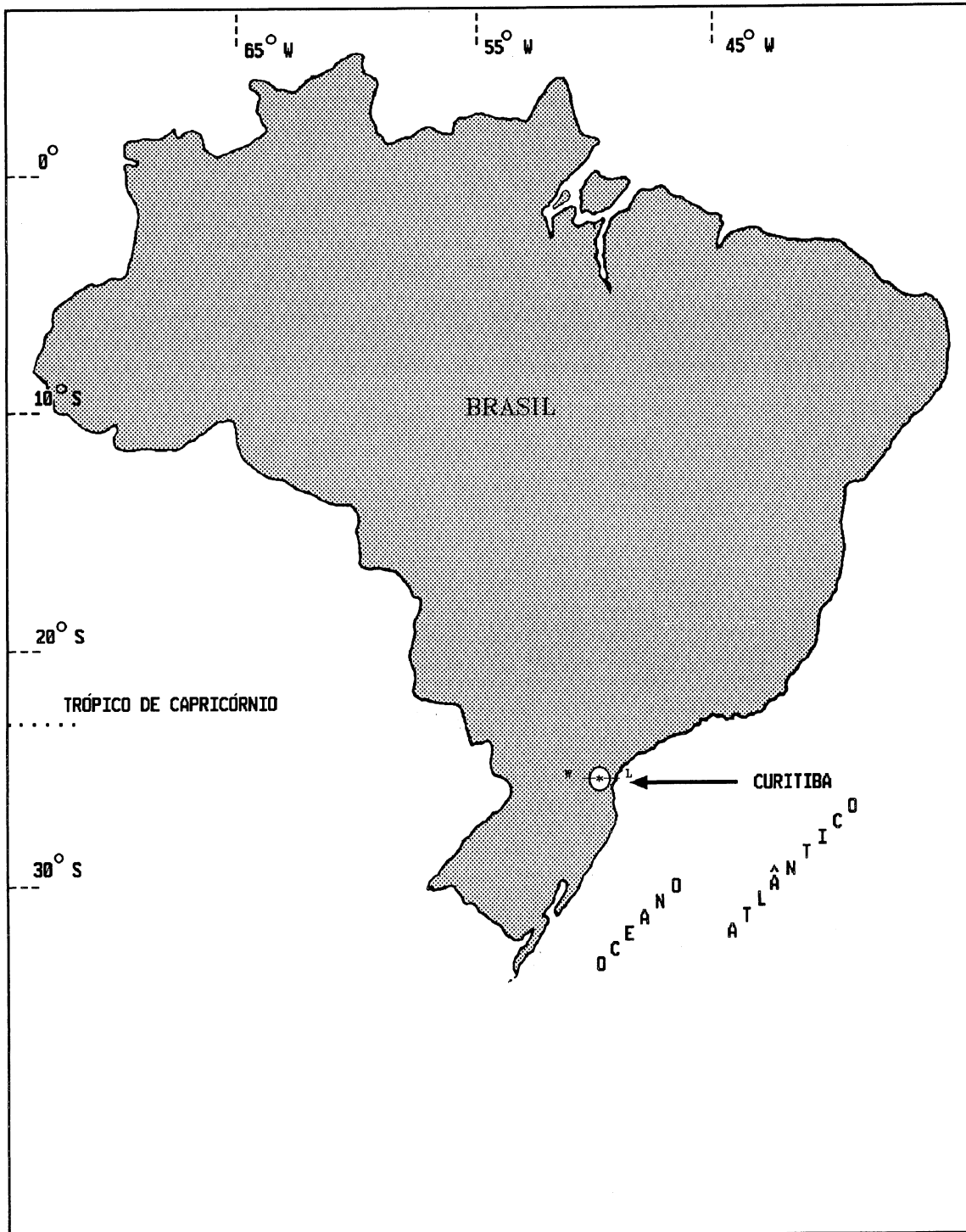


Fig.2.1.1 Posição geográfica de Curitiba

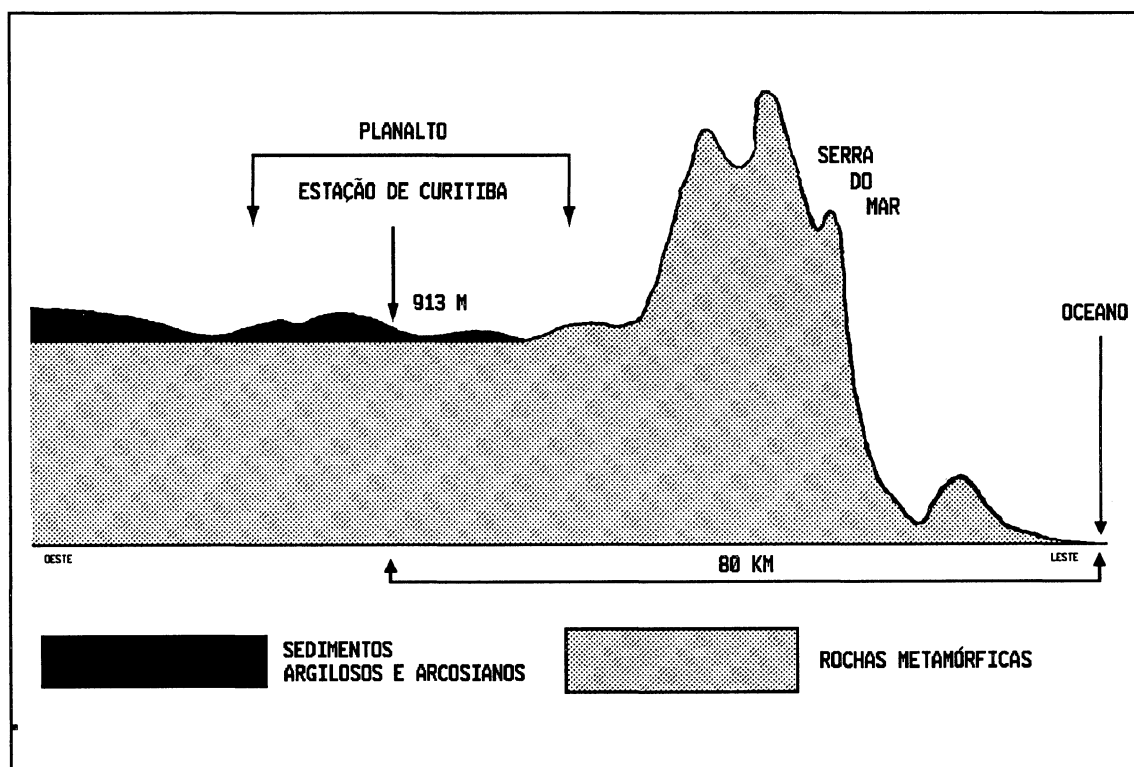


Fig.2.1.2 Composição geológica do sub-solo e distância ao oceano da estação de Curitiba

A geologia do município de Curitiba é constituída por terrenos pré-cambrianos (rochas metamórficas), compostas predominantemente por gnáisses associados com quartzitos de granulção variada e afloramentos esparsos de depósitos sedimentares considerados pleistocênicos (argilitos, areias arcossianas e cascalho) (15,2,6).

A composição geológica do sub-solo da estação de marés de Curitiba (Fig.2.1.3) é constituída de sedimentos argilosos até uma profundidade de aproximadamente 42 m, uma camada de sedimentos arcossianos (areia) de espessura de 14 m, abaixo da qual (56 m) encontram-se rochas metamórficas (11).

O lençol freático encontra-se aproximadamente a 35 m de profundidade do nível do solo (11).

As análises dos dados obtidos na estação meteorológica do Centro Politécnico (onde se encontra a estação de marés), indicam a média, para um período de 20 anos, 1 428.6 mm anuais de precipitação pluviométrica, sendo o maior índice verificado no mês de janeiro e o menor no mês de julho.

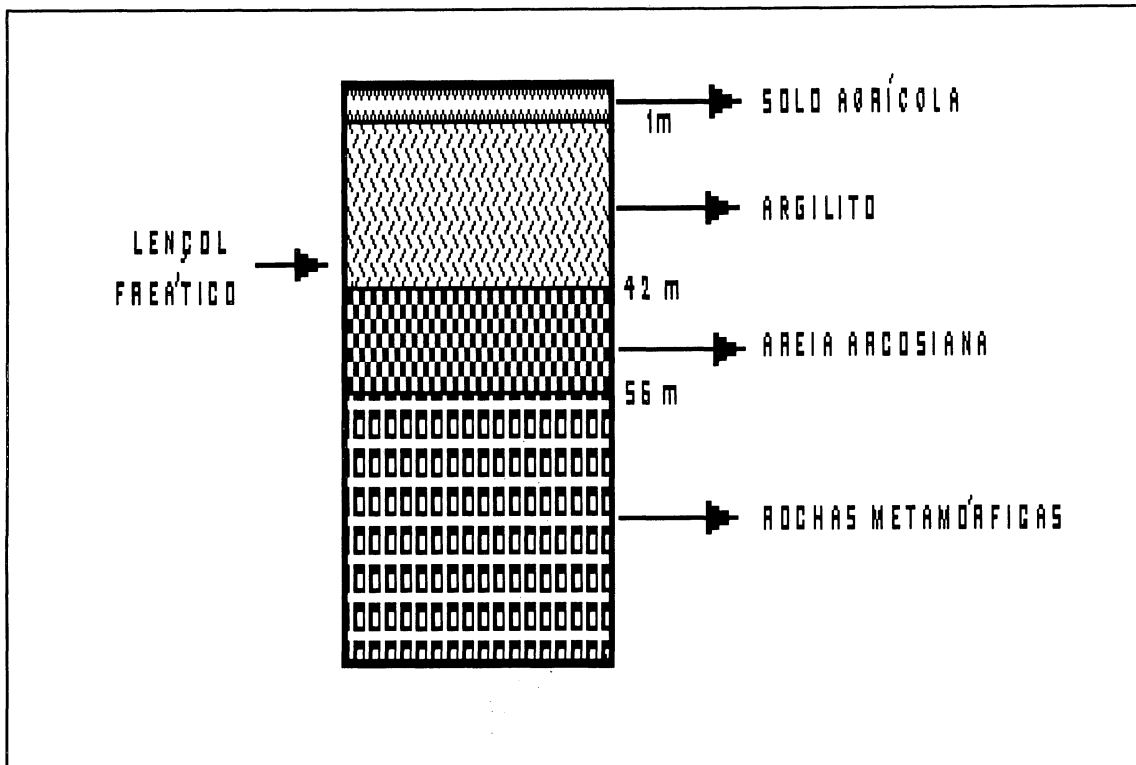


Fig.2.1.3 Geologia do sub-solo da estação de marés de Curitiba

A temperatura média anual situa-se em torno de $16,5^{\circ}$ C. No mês mais quente a temperatura média é $20,4^{\circ}$ C, enquanto que a do mês mais frio é $12,7^{\circ}$ C.

A umidade relativa apresenta a média anual de 81,5 % por um período de 40 anos (20).

Quanto ao edifício, ele foi construído especificamente para abrigar a estação de marés, localiza-se em uma região do Centro Politécnico livre de fontes microssísmicas como tráfego, indústrias pesadas, atividades humanas intensas, etc., e de fácil acesso para a sua manutenção. Possui uma rede de alimentação elétrica suficientemente estável.

O edifício é constituído de dois pavimentos (Fig.2.1.6), o superior ao nível do solo e o inferior a 3,7 m de profundidade.

No compartimento superior, com área de 10 m^2 , encontram-se os instrumentos de registros e alimentação elétrica.

O pavimento inferior, no sub-solo (Fig.2.1.5), destina-se à instalação de gravímetros e sua área é de 16 m^2 . Separa-se do nível superior por um aterramento (apiloamento) de espessura de 1 m; paredes e teto de concreto armado de 20 cm de espessura. A abertura de comunicação entre os níveis é de $1,5 \text{ m}^2$ com dois tampões de metal. O lado externo das paredes foi impermeabilizado e

uma camada de brita e areia o separa do solo(Fig.2.1.4). Na parte central da sala foi construído um pilar de concreto com base de 1 m² e 1,68 m de altura, sendo que 1 m encontra-se sob a estação. Internamente, as paredes e o teto foram revestidas de blocos de isopor para um melhor isolamento térmico.

Na construção, um equipamento de ar-condicionado foi instalado, porém após sete meses de funcionamento foi retirado pois sua flutuação da temperatura perturbava significativamente a curva de maré.

A entrada na sala dos gravímetros para a manutenção dos mesmos, dependendo do tempo de permanência e nas situações mais críticas, a temperatura da sala chegava a variar de 1° C; provocando alterações nas observações gravimétricas. Como se verá adiante, tal fato nos levou a eliminação de dados perturbados por esses efeitos.

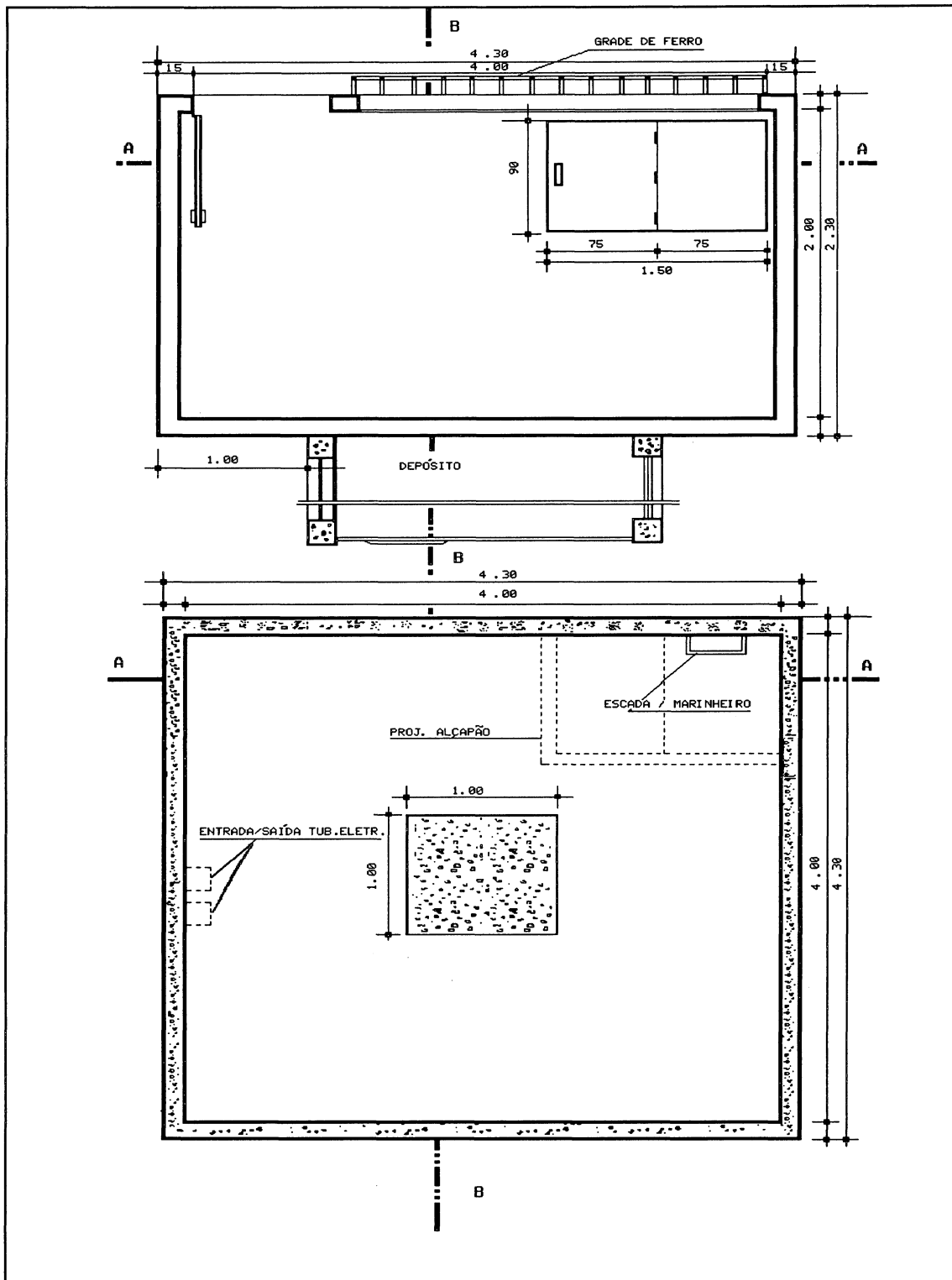


Fig. 2.1.4 Estação permanente de marés terrestre de Curitiba

Planta térreo e Planta sub-solo

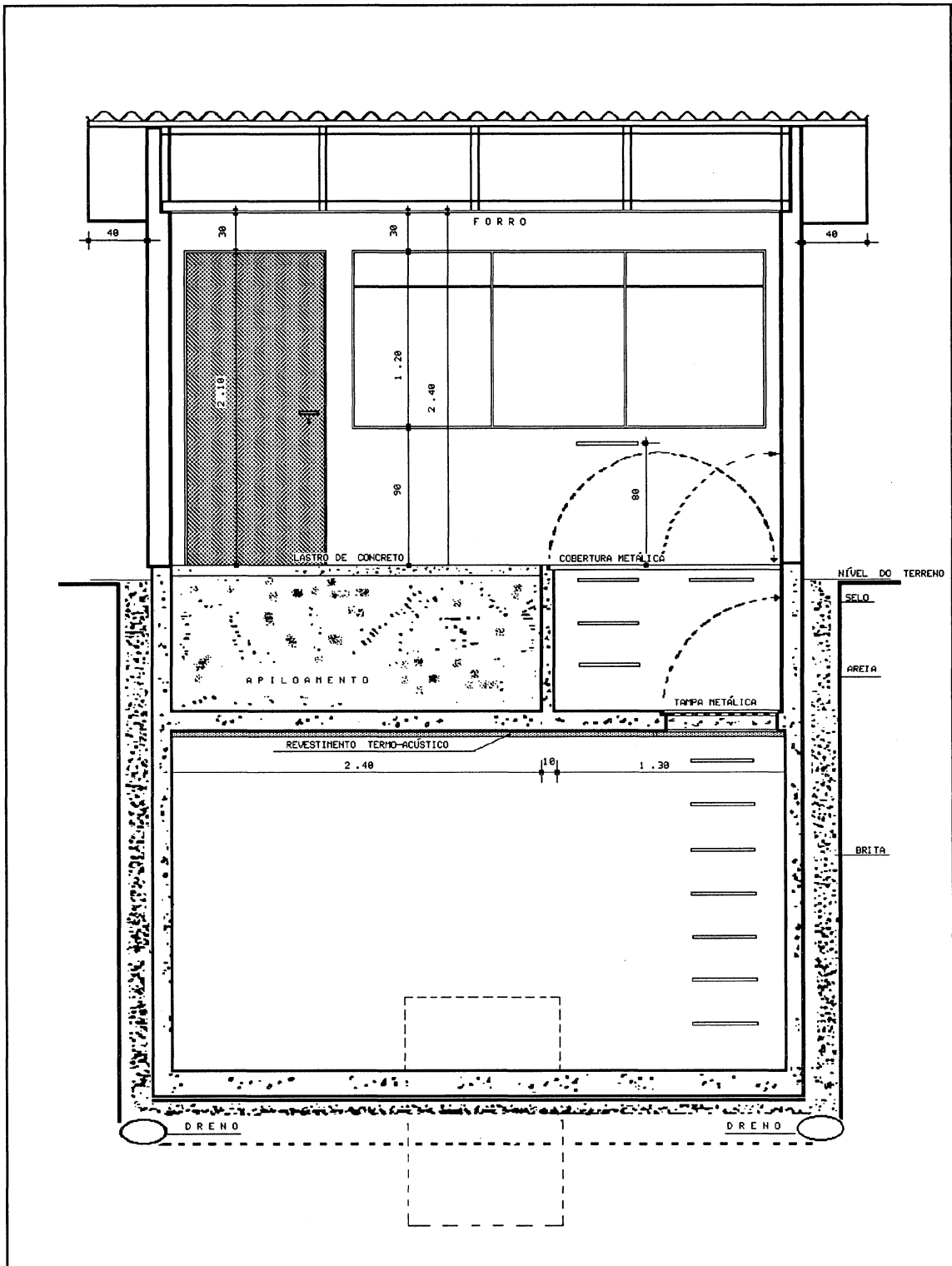


Fig. 2.1.5 Estação permanente de marés terrestre de Curitiba

Corte A - A

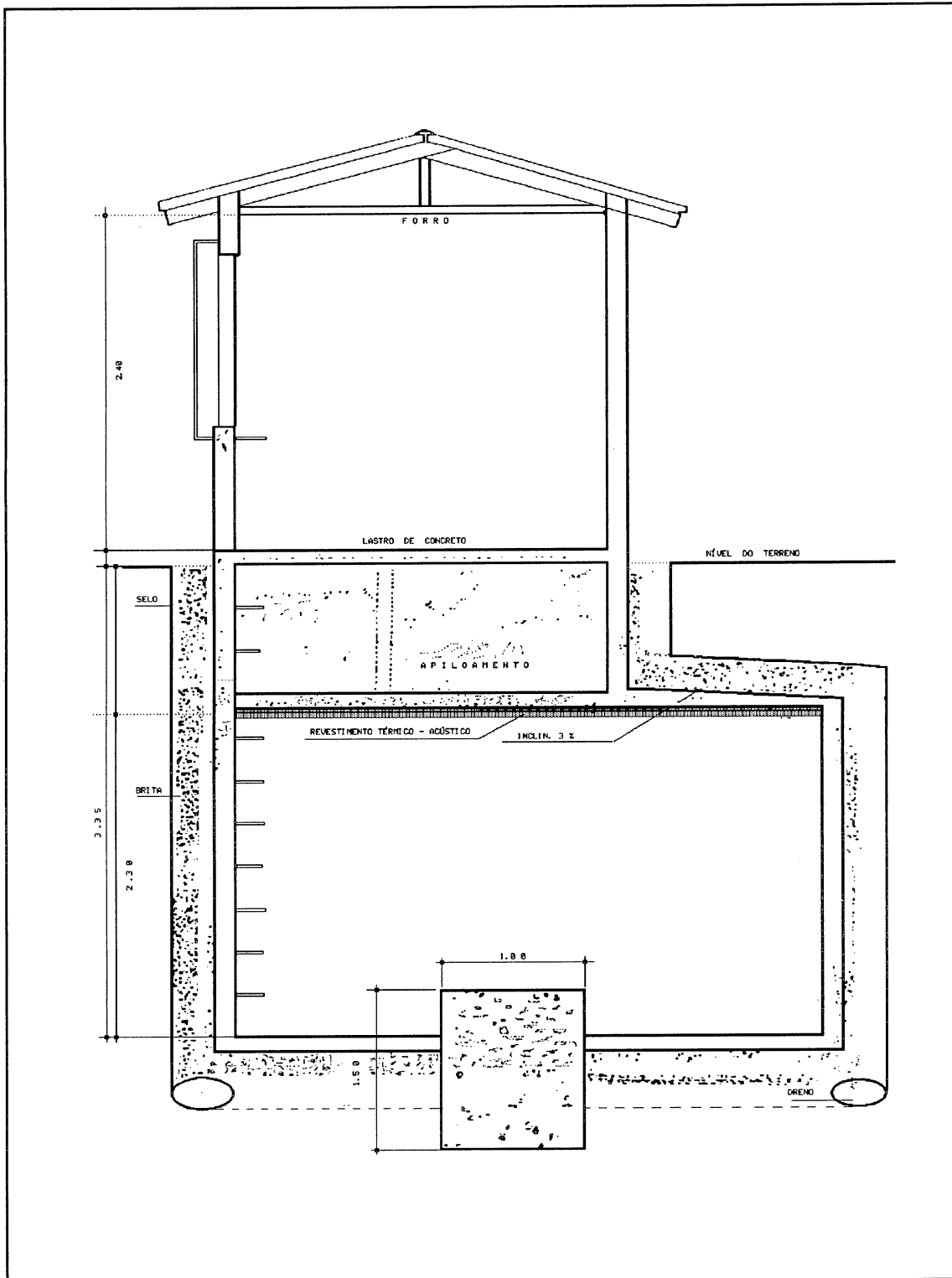


Fig. 2.1.6 Estação permanente de marés terrestre de Curitiba

Corte B - B

2.2 INSTRUMENTAÇÃO

2.2.1 Princípio de Funcionamento

Os registros das variações da gravidade da estação de marés de Curitiba tiveram início em março de 1983 com o gravímetro *Askania BN-02 GS 12*.

As variações da gravidade são registradas a fim de que se possa determinar os valores numéricos do fator gravimétrico $\delta = \text{amplitude}_{\text{observada}} / \text{amplitude}_{\text{teórica}}$. Estas variações são estimadas como sendo da ordem de 2×10^{-7} de g . Como a precisão de 1% sobre os valores numéricos de $\delta_{i,j}$ é necessária para a aplicação prática, o instrumento utilizado deve ser de extrema estabilidade e atingir a sensibilidade de 10^{-9} (16). As diferenças de fase $\kappa_{i,j}$ são também determinadas, pois são parâmetros de grande interesse nas investigações da viscosidade da Terra.

Tanto os gravímetros como os sismômetros utilizam molas especiais tendo como funções primárias estocar energia, aplicar uma força ou torque definidos, suportar movimentos ou vibrações de massas, ou indicar e controlar forças e torques.

O princípio dos instrumentos destinados à medição da intensidade de g e suas variações é aquele do dinamômetro: uma massa, suspensa em um sistema elástico, varia de peso conforme varia a gravidade, provocando variações no sistema elástico estabilizante.

A variação da força elástica pode ser medida através do deslocamento da massa.

Atualmente já existe o gravímetro super-condutor, quase perfeitamente estável que utiliza os princípios da super-condutividade.

2.2.2 Os Primeiros Gravímetros Askania

Os antigos gravímetros *Askania* funcionavam baseando-se no princípio de uma mola espiral vertical, como mostra a Fig. 2.2.1.

A condição de equilíbrio da massa m suspensa por uma mola é :

$$\bar{P} = m \cdot \bar{g} = \kappa \cdot \bar{z}_0 \quad (2.2.1)$$

onde \bar{P} é o peso da massa m , \bar{z}_0 é o comprimento da mola depois da aplicação da força \bar{P} e κ a constante da mola.

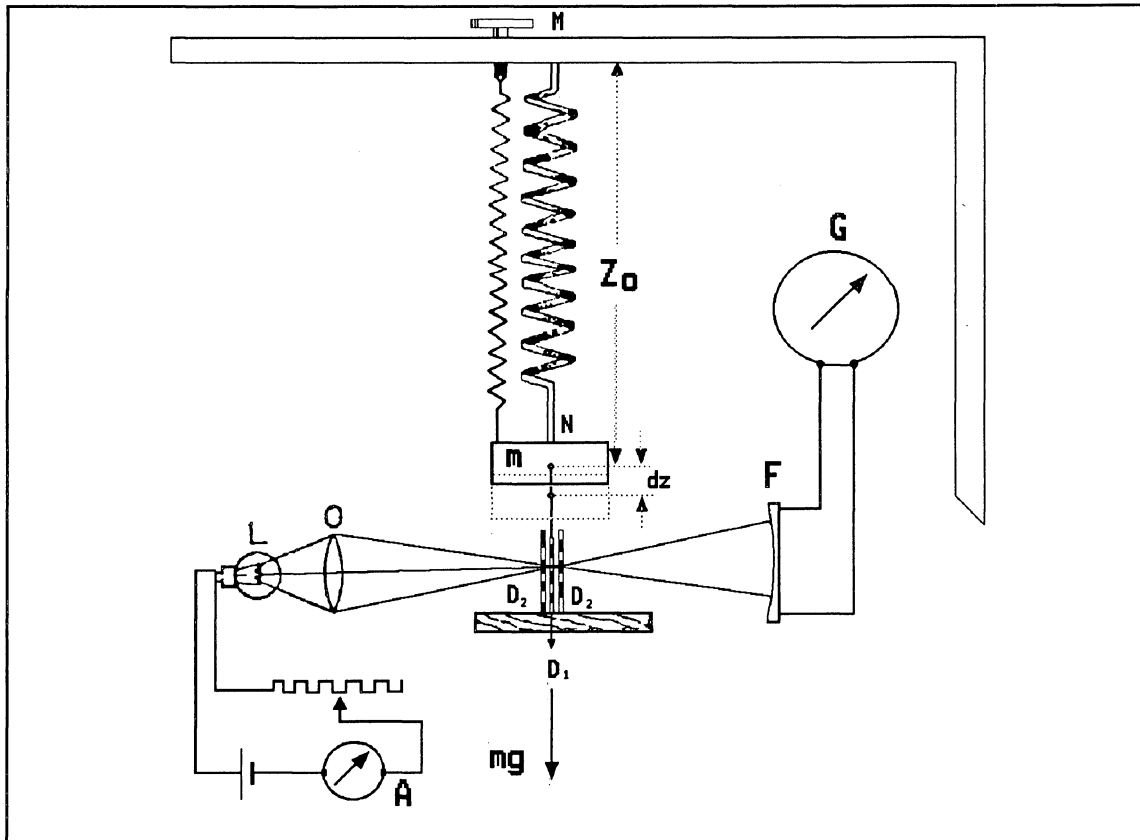


Fig.2.2.1 Representação esquemática do antigo gravímetro *Askania*

Se a gravidade \bar{g} varia, tanto o peso \bar{P} quanto o comprimento e a tensão da mola também variam

$$dP = m \cdot dg = \kappa \cdot dz \quad (2.2.2)$$

Se $dz = 1$ resulta que $\kappa = dP$, ou seja a força necessária para produzir um alongamento unitário.

Reescrevendo a (2.2.2), temos

$$\frac{dz}{dg} = \frac{m}{\kappa} \quad (2.2.3)$$

onde dz/dg é a sensibilidade da mola às variações da gravidade, e, ainda, vemos que ela é diretamente proporcional a m . Assim, verificamos que o gravímetro será tanto mais sensível quanto menor for κ . Evidentemente, na prática o fato de se fazer m grande encontra obstáculo de se fazer κ pequeno.

Examinando o comportamento do sistema do ponto de vista dinâmico, façamos a massa m se deslocar da posição de equilíbrio, aumentando o comprimento da mola de z_0 para z . A tensão elástica tornar-se-á $\kappa.z$. Soltando-se a massa m , esta oscilará em torno da posição de equilíbrio. Pela lei fundamental da dinâmica, $\bar{f} = m.\bar{a}$, podemos escrever, assumindo o deslocamento positivo no sentido de M para N

$$m.g - \kappa.z = m.\frac{d^2(z-z_0)}{dt^2} \quad (2.2.4)$$

substituindo a (2.2.1) na (2.2.4), vem

$$\frac{d^2(z-z_0)}{dt^2} + \kappa\frac{(z-z_0)}{m} = 0 \quad (2.2.5)$$

que é uma equação diferencial ordinária de 2ª ordem de coeficientes constantes que caracteriza o movimento harmônico, cuja solução é dada por Spiegel (24):

$$z-z_0 = \cos \omega t \quad \text{onde} \quad \omega = \sqrt{\kappa/m} \quad (2.2.6)$$

e de período

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi \sqrt{m/\kappa} = 2\pi \sqrt{dz/dg}$$

reescrevendo esta última, vem

$$\frac{dz}{dg} = \frac{1}{4\pi^2} T^2 \quad (2.2.7)$$

A (2.2.7) retrata a dependência de uma propriedade estática (sensibilidade) de uma propriedade dinâmica (período): a sensibilidade é diretamente proporcional ao quadrado do período.

Ocorre que κ não pode ser diminuído abaixo de certo limite, pois obter-se-ia um sistema elástico instável. Para um sistema desse tipo será muito difícil obter $T > 1$ segundo (18).

Fazendo $T = 1$ s, para uma variação em dg de $10 \mu\text{Gal}$, como é atualmente exigido, neces-

sita-se estimar um deslocamento dz semelhante a

$$dz = \frac{1}{4\pi^2} \cdot T \cdot dg \approx 0,025 \cdot 10^{-7} = 0,25 \cdot 10^{-8} \text{ m} \quad |$$

Um deslocamento tão pequeno que para observá-lo é necessário um dispositivo de ampliação através de meios óticos e eletrônicos.

O gravímetro *Askania* é mostrado na Fig.2.2.1. O mesmo dispõe de um dispositivo de ampliação no qual um raio de luz proveniente de uma fonte luminosa **L** atinge uma célula fotoelétrica **F** depois de haver atravessado placas transparentes. Estas estão cobertas de linhas paralelas claras e escuras, duas delas fixas num suporte fixo **D₂**, e uma outra **D₁**, acoplada a massa móvel. De maneira que o deslocamento desta última faz variar a quantidade de luz que atinge a fotocélula, variando a intensidade de corrente indicada no galvanômetro **G**. Quando a intensidade de corrente for máxima registra-se a leitura.

2.3 GRAVÍMETRO ASKANIA BN-02 GS 12

O gravímetro *Askania GS 11*, mostrado na Fig. 2.3.1, ilustra o princípio de medição deste instrumento. Ele trabalha segundo o princípio de balança de torção e suas leituras são efetuadas por meios foto-elétricos. Ele é constituído por duas molas helicoidais horizontais **11**, um braço **10**, também, horizontal. Sustenta em uma de suas extremidades a massa **9**, e na outra encontram-se duas bóias para compensação barométrica **12**.

Um sistema ótico amplifica a rotação do braço em torno do eixo horizontal. A fotocélula **17** é excitada pela luz refletida no espelho **13**. A corrente gerada pela fotocélula é transmitida ao galvanômetro **21**. Este pode ser de leitura direta, incorporado no gravímetro, quando é usado em operações de campo; ou acoplado a um registrador quando usado em posições fixas, registrando as variações gravimétricas. No gravímetro *Askania GS 12*, a mola **19** foi substituída por um dispositivo especial no qual um conjunto de esferas metálicas diferentes permitem alterar a posição do braço do sistema (17).

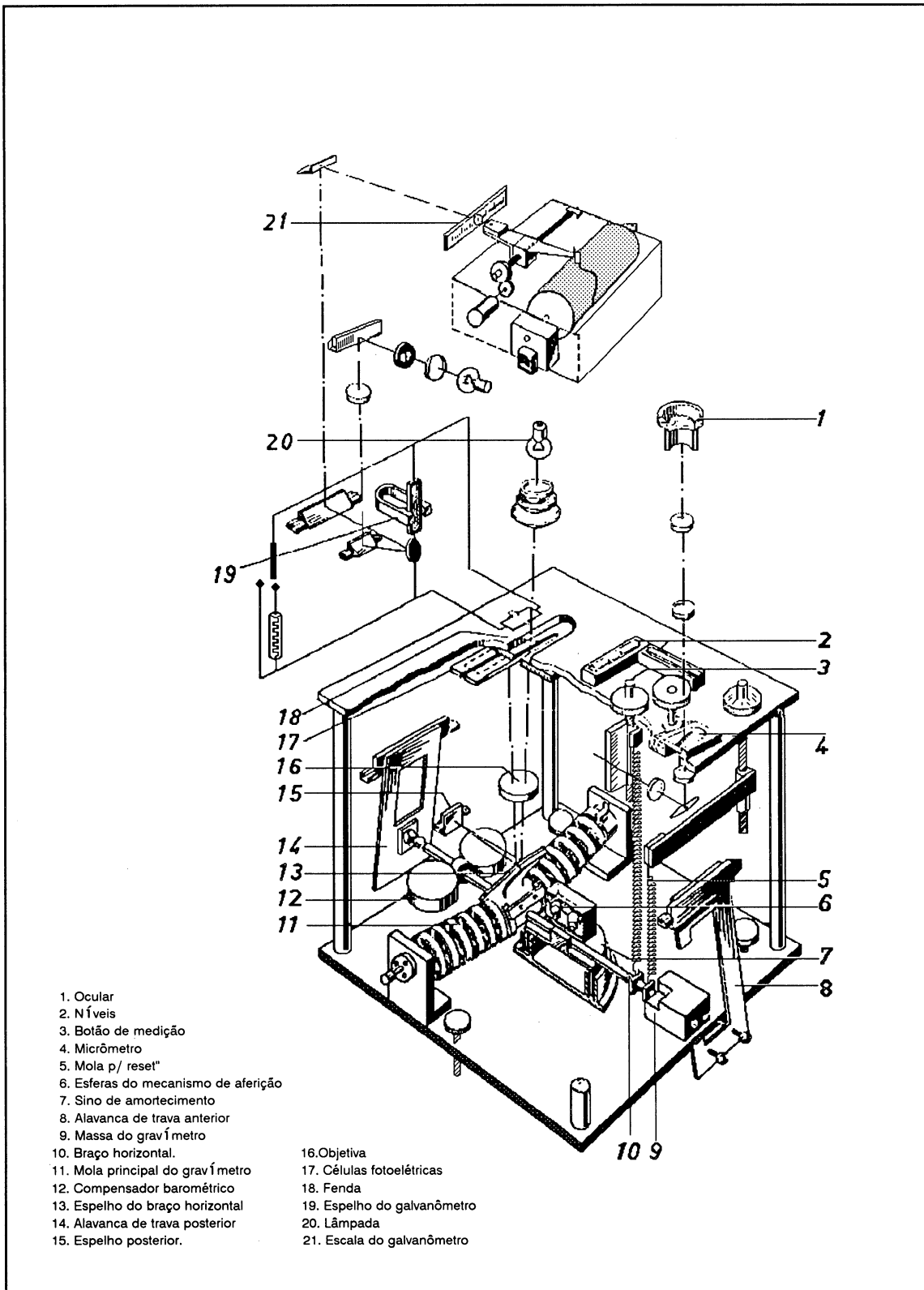


Fig.2.3.1 Representação esquemática do gravímetro Askania GS 11

2.4 OBSERVAÇÕES OBTIDAS COM O GRAVÍMETRO *ASKANIA BN-02 GS12*

Foram obtidas duas séries de observações, na estação de marés de Curitiba, com o gravímetro *ASKANIA BN-02 GS12*, cujos dados são as coordenadas horárias da variação da gravidade. A primeira forneceu dados no período de março de 1983 a abril de 1985. A segunda no período de janeiro de 1988 a maio de 1989.

Paralelamente ao registro das variações gravimétricas foram registradas as variações de temperatura e pressão atmosférica da estação, correspondentes às duas séries.

Na primeira análise das observações da série do período março-83 a abril-85, foram constatadas fortes variações no fator gravimétrico da onda predominante M_2 entre os meses março e dezembro de 1983. A curva das variações de temperatura, no mesmo período, mostrou, também, fortes variações. A explicação deste fenômeno foi encontrada no Diário de ocorrências da estação; neste período estava em operação na estação um sistema de ar-condicionado que causava flutuações significativas na temperatura. Em dezembro de 1983 tal sistema foi desligado e as variações na temperatura diminuíram sensivelmente. Este fato nos levou a eliminar as observações deste período uma vez que a abundância de dados (mais de 16 meses), assim o permitia.

2.5 OUTROS INSTRUMENTOS INSTALADOS NA ESTAÇÃO DE CURITIBA

Na estação permanente de Curitiba foram instalados vários outros gravímetros. Projetos conjuntos de pesquisa foram realizados com algumas entidades internacionais que investigam o fenômeno das marés terrestres. O convênio Brasil-Alemanha-UFPPr proporcionou a instalação do gravímetro *Askania BN-02 GS 12*. Durante a coleta de dados com este gravímetro, foram realizadas observações, em diferentes épocas, com os equipamentos descritos no Quadro 2.5.1, com registro paralelo das variações de temperatura e pressão atmosférica.

| GRAVÍMETRO | PERÍODO |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. ASK1 | MAR/83 - ABR/84 |
| 2. ASK2 | JAN/88 - MAI/89 |
| 3. GEO | OUT/83 - ABR/84 |
| 4. LCR(CIMT) 03 G | MAI/84 - JUL/84 |
| 5. LCR(CIMT) 08 G | MAI/84 - JUL/84 |
| 6. LCR(CIMT) 32 D | MAI/84 - JUL/84 |
| 7. LCR(UFPr) 99 D | MAI/84 - JUL/84 |
| 8. LCR(CIMT)-MZ 03 G | AGO/84 - OUT/84 |
| 9. LCR(CIMT)-MZ 08 G | AGO/84 - OUT/84 |
| 10. LCR(CIMT)-MZ 32 D | AGO/84 - OUT/84 |
| 11. LCR(UFPr)-MZ 99 D | AGO-OUT/84 / JUL-DEZ/85 |
| 12. ET-10 | NOV/87 - OUT/88 |

| |
|---|
| <p>ASK1 : Askania BN-02 GS12 modificado p/Prof.Bonatz - Universidade Bonn</p> <p>ASK2 : ASK1 com a conexão do 2º reostato</p> |
| <p>LCR(CIMT): LaCoste Romberg do Centro Internacional de Marés Terrestres (CIMT) - Bélgica</p> <p>LCR(CIMT)-MZ: LaCoste Romberg - do CIMT, introduzido o sistema de "feed-back"(Método Zero) por M.Vam Ruymbeke do Observatório Real da Bélgica</p> |
| <p>LCR(UFPr): LaCoste Romberg da Estação de Marés de Curitiba - UFPr</p> <p>LCR(UFPr)-MZ : LaCoste Romberg - da UFPr, introduzido o sistema de "feed-back"(Método Zero) por M.Vam Ruymbeke do Observatório Real da Bélgica</p> |
| <p>GEO : Geodynamics 783 do CIMT</p> |
| <p>ET-10: LaCoste Romberg Earth Tide meter do Proudman Oceanographic Lab., Bidston, UK</p> |

Quadro 2.5.1 Gravímetros instalados na estação de Curitiba

CAPÍTULO III

CONCEITOS TEÓRICOS E ANÁLISE DAS MARÉS

3.1 INTRODUÇÃO

Como se disse anteriormente, a maré terrestre é um fenômeno que consiste na deformação visco-elástica do globo terrestre. Ela é causada pela ação gravitacional da Lua e do Sol e varia com a posição destes dois corpos.

É quase natural a tentativa de predição do fenômeno da maré devido à sua regularidade. Porém qualquer tentativa de predição deve ser precedida de um exame minucioso do fenômeno, através da elevação da crosta, da deflexão da vertical e do valor da aceleração da gravidade, num dado intervalo de tempo para uma dada localidade. Tal exame minucioso é conhecido como análise das marés(12).

A regularidade dos movimentos astronômicos implica na presença das periodicidades dos registros das marés, e a busca destes é a principal tarefa de uma análise.

Vários métodos de análises foram desenvolvidos durante os últimos cem anos. Entre eles citamos os de Doodson (1928), Lecolazet (1956), Horn (1960), Venidicov (1966), Usandivaras-Ducarme (1969), Chojnicki (1972), Jentzsch (1976), Schüller (1976) e deMeyer (1982).(16,27)

Neste capítulo veremos os fundamentos teóricos do fenômeno das marés e o método de análise empregado nos dados obtidos na estação fundamental de Curitiba.

3.2 FORÇAS GERADORAS DA MARÉ

3.2.1 Lei de Newton e a força de maré

De acordo com a lei da atração universal, os corpos se atraem na razão direta das massas e na inversa do quadrado das distâncias, o que se exprime matematicamente pela fórmula:

$$\vec{F} = K \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad (3.2.1)$$

onde m_1 e m_2 representam as massas respectivas de dois corpos, r a distância entre seus centros de massa e K a constante da gravitação universal.

Considere-se, então, a Terra (rígida e sólida) e a Lua, conforme mostra a Fig.-(3.2.1). Sejam O o centro de gravidade da Terra e P um ponto sobre sua superfície, e ainda r e r_1 as distâncias do centro de gravidade da Lua aos pontos O e P respectivamente.

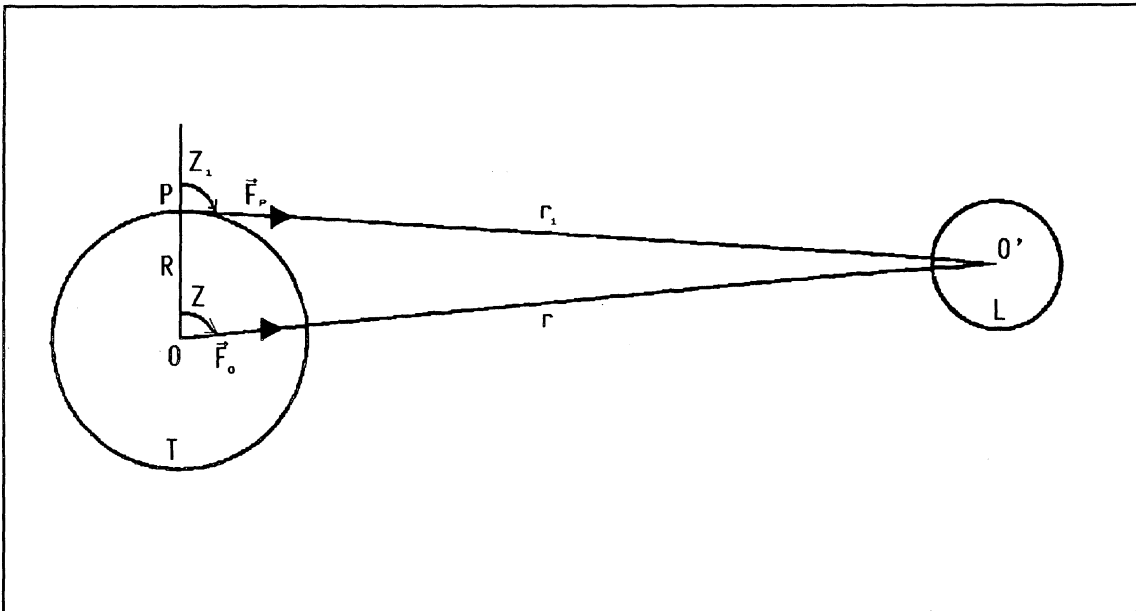


Fig.3.2.1 Representação esquemática da separação Terra-Lua

Desta maneira, a atração exercida entre Lua (L) e a partícula de massa unitária situada sobre os pontos O e P será, respectivamente:

$$\vec{F}_O = K \frac{L}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad e \quad \vec{F}_P = K \frac{L}{r_1^2} \frac{\vec{r}_1}{r_1} \quad (3.2.2)$$

A força de atração \vec{F}_O , juntamente com atrações semelhantes exercidas pelos outros corpos celestes, governam o movimento da Terra no espaço. Porém a diferença entre as forças \vec{F}_P e \vec{F}_O pode ser considerada como a força associada com a força deformadora da superfície terrestre. Definimos, então, força de maré como sendo a diferença entre as forças \vec{F}_P e \vec{F}_O :

$$\vec{F} = \vec{F}_P - \vec{F}_O \quad (3.2.3)$$

A configuração da força de maré \vec{F} é dada pela figura(3.2.2).

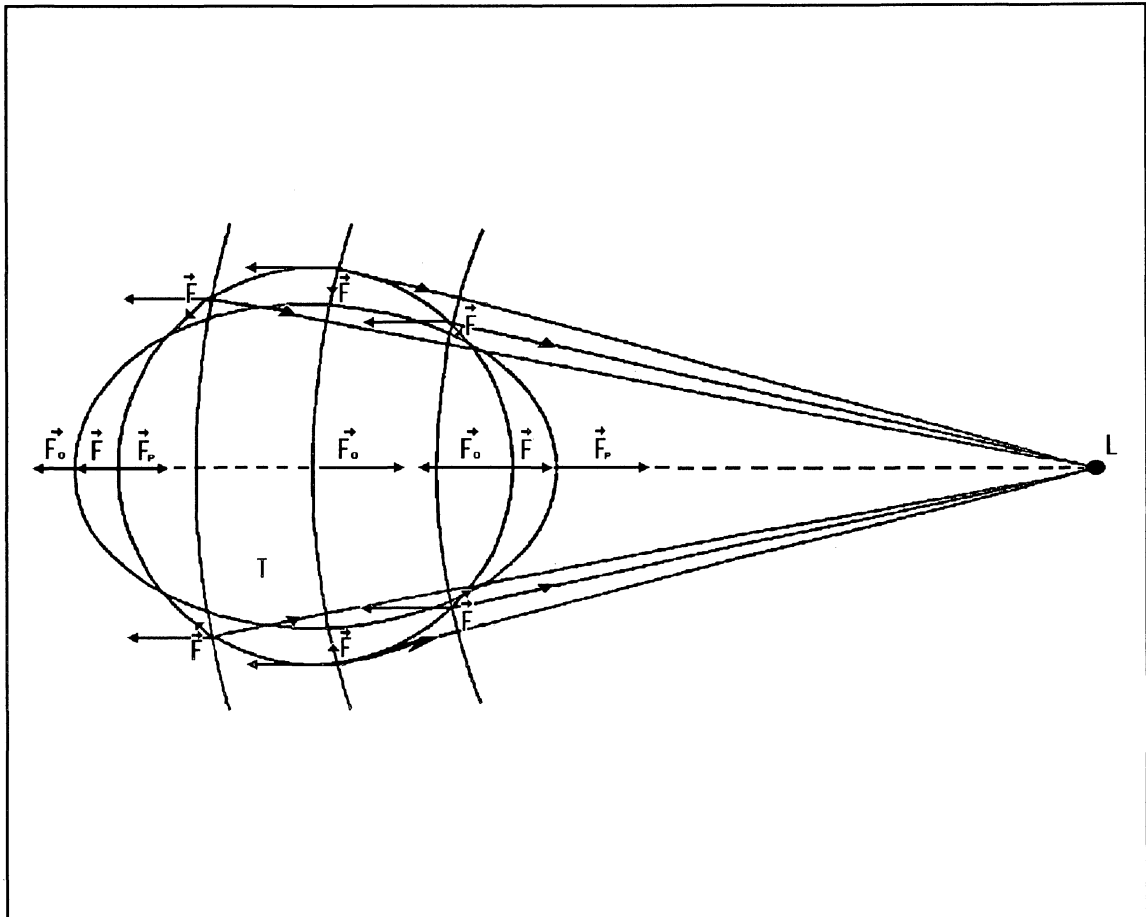


Fig.3.2.2 Configuração da força de maré

Decompondo \vec{F} em duas componentes, a horizontal e a vertical, temos respectivamente:

$$F_h = F_P^h - F_O^h = F_P \text{ sen}Z_1 - F_O \text{ sen}Z \quad (3.2.4)$$

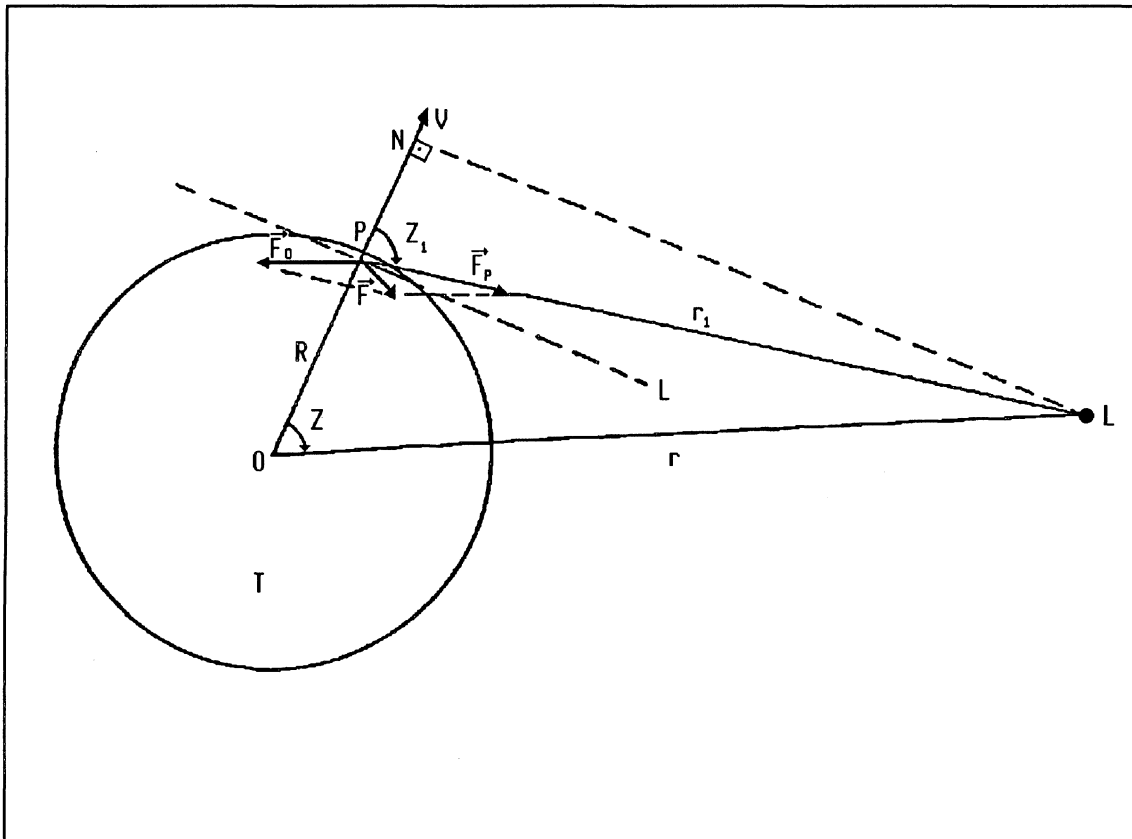
$$F_v = F_P^v - F_O^v = F_P \text{ cos}Z_1 - F_O \text{ cos}Z \quad (3.2.5)$$

Substituindo a (3.2.2) nas (3.2.4) e (3.2.5), obtém-se:

$$F_h = KL \left(\frac{\text{sen}Z_1}{r_1^2} - \frac{\text{sen}Z}{r^2} \right) \quad (3.2.6)$$

$$F_v = KL \left(\frac{\text{cos}Z_1}{r_1^2} - \frac{\text{cos}Z}{r^2} \right) \quad (3.2.7)$$

onde Z e Z_1 são, respectivamente, as distâncias zenitais geocêntrica e topocêntrica da Lua (Fig.3.2.3).

Fig.3.2.3 Distâncias zenitais Z e Z_1 da Lua

Considerando os triângulos LNO e LPO da fig.3.2.3,

tem-se:

$$\operatorname{sen} Z = \frac{\overline{LN}}{r} \quad ; \quad \operatorname{sen} Z_1 = \frac{\overline{LN}}{r_1} \quad (3.2.8)$$

$$\cos Z_1 = \frac{\overline{PN}}{r_1} \quad ; \quad \cos Z = \frac{R + \overline{PN}}{r} \quad (3.2.9)$$

Assim,

$$\operatorname{sen} Z_1 = \frac{r}{r_1} \operatorname{sen} Z \quad \text{e} \quad \cos Z_1 = \frac{r \cos Z - R}{r_1} \quad (3.2.10)$$

ainda,

$$r_1^2 = r^2 + R^2 - 2rR \cos Z \quad (3.2.11)$$

esta última equação pode ser reescrita como:

$$r_1 = r \left(1 + \frac{R^2}{r^2} - 2 \frac{R}{r} \cos Z \right)^{1/2} \quad (3.2.12)$$

Uma vez que a razão $R/r \doteq 1/60$ para a Lua e $1/23600$ para o caso do Sol (25), o

inverso da distância r_1^{-1} pode ser escrita em termos de polinômios de Legendre (25):

$$r_1^{-1} = \frac{1}{r} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} - \frac{R}{r} \cos Z \right)^{-1/2} = \frac{1}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r} \right)^n P_n(\cos Z) \quad (3.2.13)$$

onde $P_n(\cos Z)$ representa o polinômio de Legendre de grau n em $\cos Z$, e pode ser calculado com a fórmula de Rodrigues:

$$P_n(\cos Z) = \frac{1}{n! 2^n} \frac{d^n}{dt^n} (\cos^2 Z - 1)^n \quad (3.2.14)$$

ou com a seguinte fórmula:

$$P_n(\cos Z) = \sum_{k=0}^t (-1)^k \frac{1.3.5...(2n-2k-1)}{2^k k! (n-2k)!} (\cos Z)^{n-2k} \quad (3.2.15)$$

onde t é o maior número inteiro contido em $n/2$.

Substituindo a (3.2.10) e a (3.2.13) na (3.2.7), obtém-se:

$$F_v = KL \left(\frac{r \cos Z - R}{r_1^3} - \frac{\cos Z}{r^2} \right) = KL \left[\left(r \cos Z - R \right) r_1^{-3} - \frac{\cos Z}{r^2} \right] \quad (3.2.16)$$

$$F_v = KL \left\{ \frac{r \cos Z - R}{r^3} \left[\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r} \right)^n P_n(\cos Z) \right]^3 - \frac{\cos Z}{r^2} \right\} \quad (3.2.17)$$

Desenvolvendo o somatório da (3.2.17) até $n = 1$, o que acarreta um erro na truncagem da ordem de 2% e 0,002% para o caso da Lua e do Sol respectivamente (25), tem-se:

$$\begin{aligned} P_0(\cos Z) &= 1 & P_1(\cos Z) &= \cos Z \\ \sum_{n=0}^1 \left(\frac{R}{r} \right)^n P_n(\cos Z) &= P_0 + \left(\frac{R}{r} \right) P_1 = 1 + \frac{R}{r} \cos Z \end{aligned} \quad (3.2.18)$$

então a (3.2.17) se torna:

$$F_v = KL \left[\frac{\cos Z}{r^2} \left(1 + \frac{R}{r} \cos Z \right)^3 - \frac{R}{r^3} \left(1 + \frac{R}{r} \cos Z \right)^3 - \frac{\cos Z}{r^2} \right] \quad (3.2.19)$$

como

$$R \ll r \quad \therefore \quad \left(1 + \frac{R}{r} \cos Z \right)^3 \approx 1 + 3 \frac{R}{r} \cos Z \quad \text{então,}$$

$$F_v = KL \left[\frac{\cos Z}{r^2} \left(1 + 3 \frac{R}{r} \cos Z \right) - \frac{R}{r^3} \left(1 + 3 \frac{R}{r} \cos Z \right) - \frac{\cos Z}{r^2} \right] \quad (3.2.20)$$

$$F_v = KL \frac{R}{r^3} (3\cos^2 Z - 1 - 3\frac{R}{r}\cos Z) \doteq KL \frac{R}{r^3} (3\cos^2 Z - 1) \quad (3.2.21)$$

mas

$$\begin{aligned} 3\cos^2 Z - 1 &= 3(\cos^2 Z - 1/3) = 3(1 - \sin^2 Z - 1/3) = 3/2(2 - 2\sin^2 Z - 2/3) \\ &= 3/2(1 - 2\sin^2 Z - 2/3 + 1) = 3/2(\cos^2 Z + 1/3) \end{aligned} \quad (3.2.22)$$

então,

$$\begin{aligned} F_v &\doteq KL \frac{R}{r^3} (3\cos^2 Z - 1) \\ F_v &\doteq \frac{3}{2} KL \frac{R}{r^3} (\cos^2 Z + \frac{1}{3}) \end{aligned} \quad (3.2.23)$$

De maneira semelhante, a componente horizontal será

$$F_h \doteq \frac{3}{2} KL \frac{R}{r^3} \sin 2Z \quad (3.2.24)$$

As expressões obtidas para as componentes horizontal e vertical da força de maré são válidas para qualquer corpo celeste. Basta que se considere a massa L , a distância r e a distância zenital Z apropriadas.

3.3 POTENCIAL DE MARÉ DA TERRA SÓLIDA E RÍGIDA

Da Fig.3.2.1 pode-se considerar os potenciais de atração nos pontos O e P devido à massa L como sendo

$$V_o = K \frac{L}{r} \quad (3.3.1)$$

$$V_p = K \frac{L}{r_1} \quad (3.3.2)$$

Lembrando a (3.1.13) pode-se escrever o potencial em P como

$$V_p = \frac{KL}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos Z) \quad (3.3.3)$$

Fazendo o desenvolvimento da (3.3.3), vem

$$\begin{aligned} V_p &= K \frac{L}{r} + \frac{KL}{r^2} R \cos Z + \frac{KL R^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 Z - \frac{1}{2} \right) \\ &+ \frac{KL R^3}{2r^4} (5\cos^3 Z - 3\cos Z) + \dots \end{aligned} \quad (3.3.4)$$

O potencial de maré é definido como sendo o potencial diferencial entre os pontos **P** e **O** gerado pelo astro perturbador **L**:

$$W_P = V_P - V_O = \frac{KLR}{r^2} \cos Z + \frac{KLR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 Z - \frac{1}{2} \right) + \dots \quad (3.3.5)$$

ou genericamente,

$$W_P = W_1 + W_2 + W_3 + \dots \quad (3.3.6)$$

O fator KL/r^2 do primeiro termo da (3.3.5) representa uma força produzida por **L** sobre u'a massa unitária, cuja direção e sentido é de **O** para **L**:

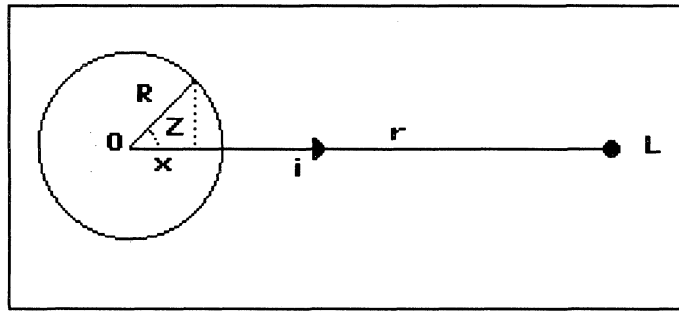


Fig.323-a Força produzida pela Lua sobre a massa unitária

$$\begin{aligned} \bar{F}_1 &= -\bar{\nabla} W_1 = -\bar{\nabla} \left(\frac{KL}{r^2} R \cos Z \right) = -\text{grad} \left(\frac{KL}{r^2} x \right) = \\ &= -\frac{\partial \left[\left(\frac{KL}{r^2} \right) x \right]}{\partial x} = -\frac{KL}{r^2} \bar{i} \end{aligned} \quad (3.3.7)$$

Como a Terra se move em torno do centro de gravidade do sistema Terra-astro perturbador, toda partícula de massa unitária do modelo fica animada por uma força centrífuga de módulo constante KL/R^2 e sentido contrário à \bar{F}_1 , neutralizando portanto esta última; então, pode-se escrever a (3.3.5) apenas com os termos restantes:

$$W_P = \frac{KLR^2}{r^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 Z - \frac{1}{2} \right) + \dots = \frac{KL}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r} \right)^n P_n(\cos Z) \quad (3.3.8)$$

que limitado ao primeiro termo ($n=2$), vem

$$W_2^P = \frac{KL R^2}{2 r^3} (3 \cos^2 Z - 1) \quad (3.3.9)$$

O fator $KLR^2/2r^3$ pode ser escrito em função da constante de Doodson, isto é

$$D = \frac{3KL(\bar{R})^2}{4(\bar{n})^3} \quad (3.3.10)$$

onde \bar{R} e \bar{r} são, respectivamente, os valores médios do raio terrestre e da distância geocêntrica do astro perturbador.

Então, a (3.3.9) pode ser reescrita como

$$W_2^P = \frac{2}{3} D \left(\frac{R}{\bar{R}} \right)^2 \left(\frac{\bar{r}}{r} \right)^3 (3 \cos^2 Z - 1) \quad (3.3.11)$$

ou, ainda, substituindo a (3.2.22) na (3.3.11)

$$W_2^P = D \left(\frac{R}{\bar{R}} \right)^2 \left(\frac{\bar{r}}{r} \right)^3 \left(\cos^2 Z + \frac{1}{3} \right) \quad (3.3.12)$$

As razões R/\bar{R} e \bar{r}/r são próximas da unidade, então em primeira aproximação pode-se escrever:

$$W_{2p} \doteq D (\cos^2 Z + 1/3) \quad (3.3.13)$$

3.4 DECOMPOSIÇÃO DO POTENCIAL DE MARÉ EM HARMÔNICOS ESFÉRICOS DE SUPERFÍCIE - FUNÇÕES SETORIAL, TESSERAL E ZONAL

A distância zenital geocêntrica do astro perturbador pode ser calculada com a fórmula dos quatro elementos da trigonometria esférica, aplicada ao triângulo de posição:

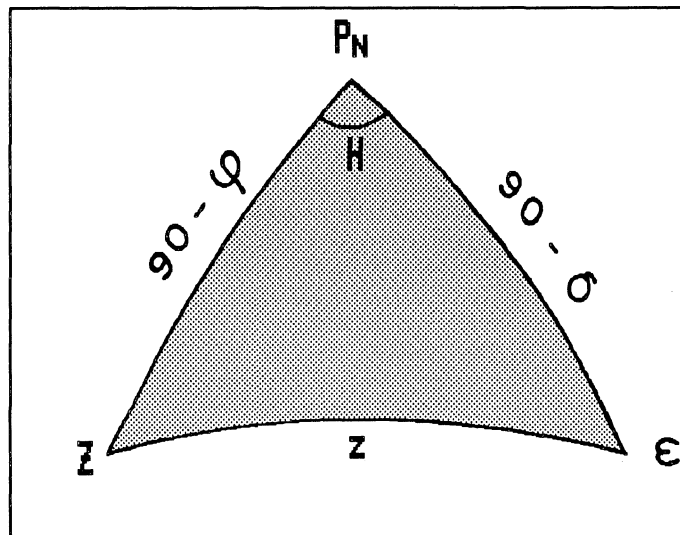


Fig.3.4.1 Triângulo de posição

assim,
$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H \quad (3.4.1)$$

como podemos observar na (3.4.1) Z é função da declinação δ do astro perturbador, da latitude local ϕ e da hora de observação $S = H + \alpha$, portanto o potencial de maré dada pela (3.3.9), que aqui é repetida

$$W_2^P = \frac{3KL R^2}{2r^3} (\cos^2 Z - \frac{1}{3}) \quad (3.4.2)$$

depende das variáveis acima citadas.

Após algumas transformações algébricas e trigonométricas da (3.4.1), obtém-se

$$\begin{aligned} \cos^2 Z - \frac{1}{3} &= \frac{1}{2} \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H + \frac{1}{2} \operatorname{sen} 2\phi \operatorname{sen} 2\delta \cos H \\ &+ \frac{3}{2} (\operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3}) (\operatorname{sen}^2 \delta - \frac{1}{3}) \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

Introduzindo esta última na (3.4.2), vem:

$$\begin{aligned} W_2^P &= \frac{3KLR^2}{4r^3} [\cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H + \operatorname{sen} 2\phi \operatorname{sen} 2\delta \cos H \\ &+ 3(\operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3}) (\operatorname{sen}^2 \delta - \frac{1}{3})] \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

ou

$$\begin{aligned} W_2^P &= D_1 [\cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H + \operatorname{sen} 2\phi \operatorname{sen} 2\delta \cos H \\ &+ 3(\operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3}) (\operatorname{sen}^2 \delta - \frac{1}{3})] \end{aligned} \quad (3.4.5)$$

onde

$$D_1 = \frac{3KLR^2}{4r^3} = D \left(\frac{R}{r} \right)^2 \left(\frac{\bar{r}}{r} \right)^3 \quad (3.4.6)$$

Pode-se observar que na (3.4.4) ou na (3.4.5) W_2^P é constituído de 3 partes

$$W_2^P = S + T + Z \quad (3.4.7)$$

com

$$S = D_1 \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H \quad (3.3.8)$$

$$T = D_1 \operatorname{sen} 2\phi \operatorname{sen} 2\delta \cos H \quad (3.4.9)$$

$$Z = 3D_1 (\operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3}) (\operatorname{sen}^2 \delta - \frac{1}{3}) \quad (3.4.10)$$

que são conhecidas, respectivamente, como funções setorial (S), tesseral (T) e zonal (Z).

Como pode-se verificar, o potencial contém três variáveis (r , δ e H) dependentes do tempo. O raio vetor \bar{r} de um corpo celeste varia com o tempo somente dentro de um estreito intervalo (ao redor do valor médio \bar{r}). De forma semelhante, a declinação δ também oscila ao redor de um valor médio para um certo período de tempo, como mostra a Fig. (3.4.2). Assim, substituindo \bar{r} e δ

por seus valores médios, em primeira aproximação, podemos ver que a variação temporal das constituintes individuais da maré são predominantemente governadas por H . Desta forma, a constituinte setorial causa variações semi-diurnas, a tesseral variações diurnas e a zonal variações de longo período.

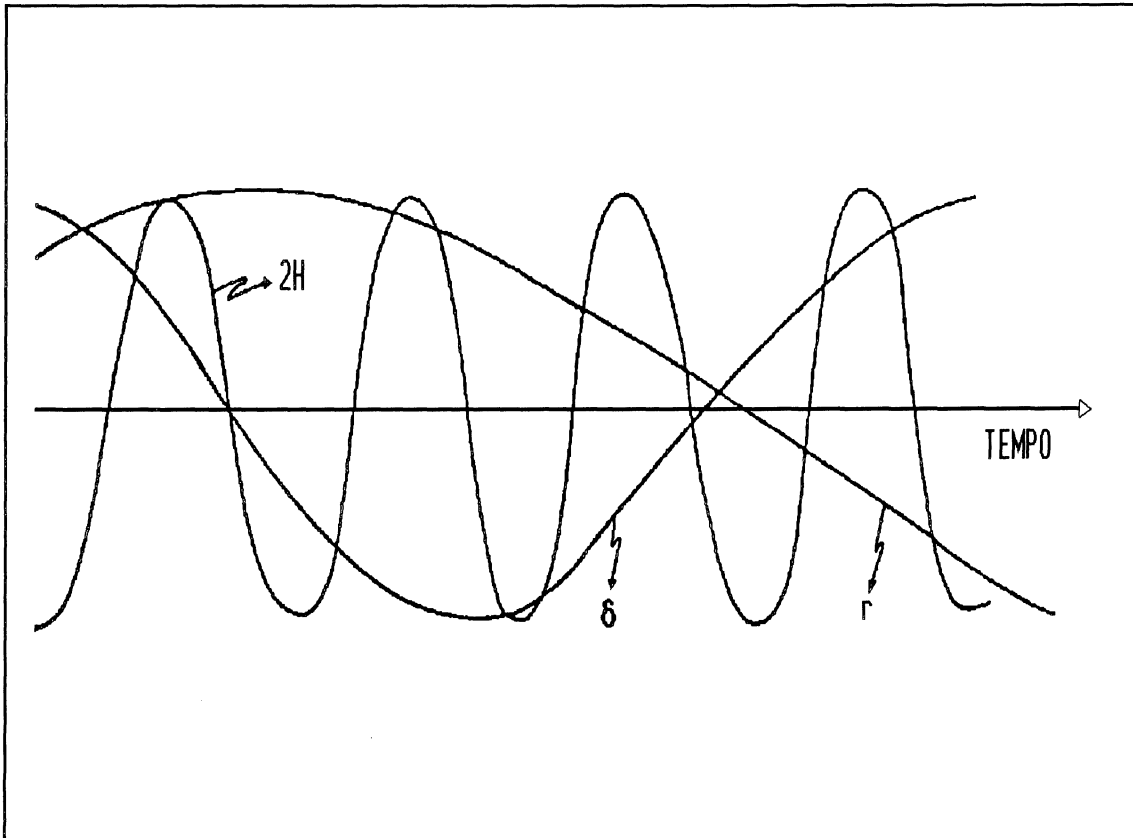


Fig.(3.4.2) Variação do ângulo horário H , da declinação δ e da distância radial r em função do tempo

3.5 ANÁLISE HARMÔNICA DAS MARÉS

3.5.1 Decomposição do potencial de marés em ondas

O potencial de marés pode ser descrito matematicamente por funções, chamadas harmônicas, que variam com o co-seno de um ângulo que cresce proporcionalmente com o tempo, vinculadas a fenômenos astronômicos.

Ao consider-se a variação de δ e r em função do tempo a variação do potencial torna-se um problema bem mais complexo. O fator \bar{r}/r , assim como as funções trigonométricas contendo δ e H , do potencial de maré [vide a (3.4.5)], exibem uma complicada variação em função do tempo devido a complexidade dos movimentos orbitais da Terra ao redor do Sol e da Lua ao redor da Ter-

ra.

As componentes destes movimentos devem ser separadas cuidadosamente a fim de se descrever o potencial de maré como uma soma de ondas puramente senoidais, isto é, ondas tendo como argumento funções lineares (ou quase) do tempo.

Tal desenvolvimento foi obtido por Ferrel em 1874, melhorado por Doodson em 1922, e mais recentemente, Cartwright-Tayler-Edden 1973, Büllersfeld 1985, Tamura 1987 e Xi 1989 publicaram extensos desenvolvimento com o auxílio de computador. (27)

Doodson escolheu seis variáveis (dependentes das órbitas dos astros) que são - no intervalo de um século - praticamente funções lineares crescentes com o tempo. Estas variáveis são:

| | |
|------------|--|
| τ | tempo lunar médio = $H + 12^h$ |
| S | longitude trópica média da Lua |
| h | longitude trópica média do Sol |
| p | longitude trópica média do perigeu lunar |
| $N^1 = -N$ | longitude trópica média do nodo ascendente lunar |
| P | longitude trópica média do perihélio |

Considerando a duração (período T):

| | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| do dia lunar médio:..... | 24,8412 horas solar médias |
| do mês trópico:..... | 27,321 582 dias solar médios |
| do ano trópico:..... | 365,242 194 dias solar médios |
| da revolução do perigeu lunar:.. | 8,8507 anos trópicos |
| da revol.do perihélio:..... | 20953 anos julianos |
| da revol.do nodo ascendente:.. | 18,613 anos julianos |

suas velocidades horárias (variação horária) podem ser calculadas pela equação $v = 360^\circ / T$.

Assim,

| | |
|--------------|--------------------|
| $\dot{\tau}$ | = 14,492 052 1 °/h |
| \dot{S} | = 0,549 016 5 °/h |
| \dot{h} | = 0,041 068 6 °/h |
| \dot{p} | = 0,004 641 8 °/h |
| \dot{N} | = 0,002 206 4 °/h |
| \dot{P} | = 0,000 002 0 °/h |

Quadro 3.5.1 Velocidades horárias dos variáveis orbitais

Estas variáveis são usadas porque sempre se pode calcular a posição real da Lua ou do Sol através delas.

O tempo solar médio é dado pela relação:

$$t = \tau + S - H \quad (3.5.1)$$

A declinação δ pode ser expressa em função das velocidades horárias (16):

$$\cos^2 \delta = 0,92080 + 0,079196 \cos 2\dot{s}t - 0,036 \cos \dot{N}t - 0,36 \cos(2\dot{s} - \dot{N})t + \dots \quad (3.5.2)$$

e a razão $(\bar{r}/\dot{h})^3$, para o caso da Lua e do Sol respectivamente:

$$\left(\frac{\bar{r}}{\dot{r}}\right)_L^3 = 1 + 0,1647 \cos(\dot{h} - \dot{P})t + 0,030 \cos(\dot{s} - 2\dot{h} + \dot{P})t + 0,024 \cos(2\dot{s} - 2\dot{h})t + \dots \quad (3.5.3)$$

$$\left(\frac{\bar{r}}{\dot{r}}\right)_S^3 = 1 + 0,05019 \cos(\dot{h} - \dot{P})t + \dots \quad (3.5.4)$$

3.5.1.1 Termo setorial do potencial de maré. Ondas semi-diurnas

O termo setorial do potencial de maré é dada por:

$$S = D_1 \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H = D \left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^2 \left(\frac{\bar{r}}{\dot{r}}\right)^3 \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H \quad (3.5.5)$$

considerando $R = \bar{R}$, vem

$$S = D \left(\frac{\bar{r}}{\dot{r}}\right)^3 \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2H \quad (3.5.6)$$

Se considerar, em primeiro lugar, o efeito lunar, podemos escrever a componente setorial (semi-diurna) em função das velocidades horárias dos elementos orbitais, substituindo a (3.5.2) e a (3.5.3) na (3.5.6):

$$S = D \cos^2 \phi [1 + 0,1647 \cos(\dot{s} - \dot{p})t + 0,030 \cos(\dot{s} - 2\dot{h} + \dot{p})t + 0,024 \cos(2\dot{s} - 2\dot{h})t] [0,9208 + 0,079196 \cos 2\dot{s}t + \dots] \cos 2\dot{\tau}t \quad (3.5.7)$$

O desenvolvimento de tal série fornece ondas agrupadas em pares resultantes da combinação de $\cos 2\dot{\tau}t$ com outros argumentos, chamadas de constituintes ou ondas *semi-diurnas*.

Com o intuito de se dar uma visão geral de como obter as constituintes individuais da

onda, façamos a seguinte aproximação da (3.5.7), com isto teremos as amplitudes aproximadas das constituintes:

$$\begin{aligned}
 S/D \cos^2 \phi &= [1 + 0,1647 \cos(\dot{s}-\dot{p})t][0,9208 + 0,079196 \cos 2\dot{s}t] \cos 2\dot{\tau}t \\
 &= 0,9208 \cos 2\dot{\tau}t + \\
 &+ 0,15166 \cos(\dot{s}-\dot{p})t \cos 2\dot{\tau}t + \\
 &+ 0,07919 \cos 2\dot{s}t \cos 2\dot{\tau}t + \\
 &+ 0,01304 \cos(\dot{s}-\dot{p}) \cos \dot{s}t \cos 2\dot{\tau}t
 \end{aligned} \tag{3.5.8}$$

a) A onda principal é dada por

$$0,9208 \cos 2\dot{\tau}t \tag{3.5.9}$$

chamada de M_2 . Aqui M indicando onda lunar (Moon) e o índice 2 caracterizando onda semi-diurna.

A amplitude da onda é dada pelo coeficiente do co-seno $2\dot{\tau}t$, $0,9208$; $2\dot{\tau}$ representa a velocidade angular da onda; $2\dot{\tau}t$ a fase no instante t . O período da onda é dado por

$T = 2\pi/2\dot{\tau} = 360^\circ/2\dot{\tau}$. Desta forma para M_2 , conforme o quadro (3.5.1), tem-se

$$\begin{aligned}
 2\dot{\tau} &= 2 \times 14,492052 = 28^\circ,984104 \text{ } ^\circ/h \\
 T_{M_2} &= 360^\circ / 2\dot{\tau} = 12^h 25^m 14,2^s
 \end{aligned} \tag{3.5.10}$$

b) As ondas L_2 e N_2 são dadas por:

$$\begin{aligned}
 &0,15166 \cos(\dot{s}-\dot{p})t \cos 2\dot{\tau}t = \\
 &+ 0,07583 \cos[2\dot{\tau} + (\dot{s}-\dot{p})]t \text{ ----} \rightarrow L_2 \\
 &+ 0,07583 \cos[2\dot{\tau} - (\dot{s}-\dot{p})]t \text{ ----} \rightarrow N_2
 \end{aligned} \tag{3.5.11}$$

do quadro (3.5.1) temos as velocidades

$$\begin{aligned}
 2\dot{\tau} + (\dot{s}-\dot{p}) &= 29,528\,478\,9 \text{ } ^\circ/h \text{ ----} \rightarrow L_2 \\
 2\dot{\tau} - (\dot{s}-\dot{p}) &= 28,439\,729\,5 \text{ } ^\circ/h \text{ ----} \rightarrow N_2
 \end{aligned} \tag{3.5.11a}$$

As velocidades de L_2 e N_2 são simétricas em relação a M_2 , isto é, a velocidade de M_2 é a média entre L_2 e N_2 . Por isto as denominações L e N , sugeridas por Darwin, pois M encontra-se entre as mesmas.

Os períodos são:

$$\begin{aligned}
 T_{L_2} &= 360^\circ / 29,528\,478\,9 = 12^h 11^m 29,8^s \\
 T_{N_2} &= 360^\circ / 28,439\,729\,5 = 12^h 39^m 30,1^s
 \end{aligned} \tag{3.5.12}$$

Um procedimento semelhante ao efeito solar gera as ondas S_2 , R_2 , T_2 , etc.

3.5.1.2 Termo tesseral do potencial de maré. Ondas diurnas

O termo tesseral do potencial de maré é dada pela (3.4.9):

$$T = D_1 \text{sen} 2\phi \text{sen} 2\delta \cos H \quad (3.5.13)$$

considerando $R = \bar{R}$, vem

$$T = D \left(\frac{\bar{r}}{r}\right)^3 \text{sen} 2\phi \text{sen} 2\delta \cos H \quad (3.5.14)$$

onde(16):

$$\text{sen} 2\delta = - 0,7663 79 \text{sen} \dot{s} t - \dots \quad (3.5.15)$$

Para o caso da Lua, temos:

$$T = D \text{sen} 2\phi [1 + 0,164 7 \cos(\dot{s} - \dot{p}) t + 0,030 \cos(\dot{s} - 2\dot{h} - \dot{p}) t + 0,024 \cos(2\dot{s} - 2\dot{h}) t] [- 0,763 79 \text{sen} \dot{s} t - \dots] \cos \dot{\tau} t \quad (3.5.16)$$

ou

$$T / D \text{sen} 2\phi = - 0,793 79 \text{sen} \dot{s} t \cos \dot{\tau} t - 0,125 78 \text{sen} \dot{s} t \cos(\dot{s} - \dot{p}) \cos \dot{\tau} t - \dots \quad (3.5.17)$$

a) As ondas ${}_m K_1$ e O_1 são obtidas a partir do primeiro termo da (3.5.17):

$$\begin{aligned} 0,763 79 \text{sen}(-\dot{s}) t \cos \dot{\tau} t &= 0,381 789 [\text{sen}(-\dot{s} - \dot{\tau}) t + \\ &+ \text{sen}(-\dot{s} + \dot{\tau}) t] = 0,381 789 [-\text{sen}(\dot{\tau} - \dot{s}) t + \text{sen}(\dot{\tau} + \dot{s}) t] \\ &= 0,381 789 \text{sen}(\dot{\tau} + \dot{s}) t \quad \text{----} \rightarrow mK_1 \\ &- 0,381 789 \text{sen}(\dot{\tau} - \dot{s}) \quad \text{----} \rightarrow O_1 \end{aligned} \quad (3.5.18)$$

cujas velocidades são:

$$\begin{aligned} \dot{\tau} + \dot{s} &= 15,041 068 6 \text{ } ^\circ/h \quad \text{----} \rightarrow mK_1 \\ \dot{\tau} - \dot{s} &= 13,943 035 \text{ } ^\circ/h \quad \text{----} \rightarrow O_1 \end{aligned} \quad (3.5.19)$$

e períodos:

$$\begin{aligned} T_{mK_1} &= 360^\circ \div 15,0410686 = 23^h 56^m 4,1^s \\ T_{O_1} &= 360^\circ \div 13,9430556 = 25^h 49^m 9,6^s \end{aligned} \quad (3.5.20)$$

b) As ondas Q_1 e J_1 obtidas do segundo termo da (3.5.9):

$$\begin{aligned}
& - 0,12578 \operatorname{sen} \dot{s} t \cos(\dot{s} - \dot{p}) t \cos \dot{t} = - 0,06289 [\operatorname{sen} \dot{s} t + \operatorname{sen}(2\dot{s} - \dot{p}) t] \\
& = 0,031445 \operatorname{sen}[(\dot{t} - \dot{s}) - (\dot{s} - \dot{p})] t \quad \text{----} \rightarrow Q_1 \\
& + 0,031445 \operatorname{sen}[(\dot{t} + \dot{s}) + (\dot{s} - \dot{p})] t \quad \text{----} \rightarrow J_1
\end{aligned} \tag{3.5.21}$$

de velocidades:

$$\begin{aligned}
(\dot{t} - \dot{s}) - (\dot{s} - \dot{p}) &= 13,39866 \text{ }^\circ/h \quad \text{----} \rightarrow Q_1 \\
(\dot{t} + \dot{s}) + (\dot{s} - \dot{p}) &= 15,58544 \text{ }^\circ/h \quad \text{----} \rightarrow J_1
\end{aligned} \tag{3.5.22}$$

e períodos:

$$\begin{aligned}
T_{Q_1} &= 26^h 25^m 6^s \\
T_{J_1} &= 23^h 05^m 54^s
\end{aligned} \tag{3.5.23}$$

As ondas diurnas solares são obtidas com um procedimento análogo à ação do Sol, gerando as ondas ${}_sK_1$ e P_1 .

3.5.1.3 Termo zonal do potencial de maré. Ondas de longo períodos

Este termo é dado pela (3.4.10):

$$Z = 3D_1 \left(\operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3} \right) \left(\operatorname{sen}^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \tag{3.5.24}$$

ou, aproximadamente ($R = \bar{R}$) por:

$$Z = 3D \left(\frac{\bar{r}}{r} \right)^3 \operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3} \left(\operatorname{sen}^2 \delta - \frac{1}{3} \right)$$

$$Z = D \left(\frac{\bar{r}}{r} \right)^3 \left(3 \operatorname{sen}^2 \phi - 1 \right) \left(\frac{2}{3} - \cos^2 \delta \right) \tag{3.5.25}$$

A substituição das (3.5.2), (3.5.3) e (3.5.4) na (3.5.17) gera as ondas lunares M_f e M_m

e as solares S_{sa} e S_a cujas velocidades e períodos são:

| ONDA | VELOCIDADES | PERÍODO |
|----------|----------------------|----------------|
| M_f | 1,098 033 $^\circ/h$ | 13,660 8 d.m. |
| M_m | 0,544 375 $^\circ/h$ | 27,554 5 d.m. |
| S_{sa} | 0,082 137 $^\circ/h$ | 182,621 7 d.m. |
| S_a | 0,041 067 $^\circ/h$ | 365,256 8 d.m. |

onde os índices **f**, **m**, **sa**, **a** significam respectivamente quinzenal (fortnight), mensal(monthly), semi-anual e anual; d.m. = dia médio.

O Quadro (3.5.2) nos fornece as principais ondas de maré. Dentre elas as predominantes (maiores amplitudes) são M_2 , S_2 , N_2 , componentes semi-diurnas, e O_1 , K_2 , componentes diurnas.

3.5.1.4 Classificação sistemática das ondas de maré

Doodson (1922) introduziu uma notação que possibilitou uma classificação automática de todas as ondas, a partir do crescimento das velocidades angulares. Ele chamou o parâmetro usado para este fim de *número do argumento*, que pode ser deduzido de uma expressão matemática através da seguinte regra:

Escreve-se o argumento como uma função das seis variáveis orbitais independentes:

$$A\dot{\tau} + B\dot{s} + C\dot{h} + D\dot{p} + E\dot{N} + F\dot{P}; \quad (3.5.26)$$

as variáveis são agrupadas sempre na mesma ordem. Obtem-se, então, o *número do argumento* pela combinação de seis cifras sucessivas:

$$A, (B+5), (C+5), (D+5), (E+5), (F+5) \quad (3.5.27)$$

onde A pode assumir um dos valores: 0, 1, 2, 3, ..., sempre positivo, enquanto os outros coeficientes variam de -4 a +4.

As três primeiras variáveis ($A\dot{\tau}$, $B\dot{s}$, $C\dot{h}$) têm as maiores velocidades. Os três primeiros algarismos ($A, B+5, C+5$) são separados dos três últimos por um ponto.

Vejamos alguns exemplos:

| Onda | Argumento | Nº do Argumento |
|-------|--|-----------------|
| M_2 | $2\dot{\tau} + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$ | 255.555 |
| N_2 | $2\dot{\tau} - \dot{s} + 0 + \dot{p} + 0 + 0$ | 245.655 |
| R_2 | $2\dot{\tau} + 2\dot{s} - \dot{h} + 0 + 0 - \dot{P}$ | 274.554 |
| J_1 | $\dot{\tau} + 2\dot{s} + 0 - \dot{p} + 0 + 0$ | 175.455 |
| M_f | $0 + 2\dot{s} + 0 + 0 + 0 + 0$ | 075.555 |

A primeira seção de três dígitos do número do argumento permite-nos dizer quais ondas podem ser separadas durante um certo período de observações horárias. Ela diferencia as ondas de maré que podem ser separadas no período. Isto é feito da seguinte maneira:

Dado um certo número do argumento $\overline{X_1 X_2 X_3} . X X X$:

a) os três primeiros dígitos $\overline{X_1 X_2 X_3}$ são chamados de *número da constituinte*, permitem a separação das diferentes ondas que o compõem desde que se tenha *um ano* de observações horárias.

b) os dois primeiros dígitos $\overline{X_1 X_2}$ denominados de *número do grupo*, separa ondas com *um mês* de observação.

c) o primeiro dígito $\overline{X_1}$ é chamado de *número da espécie* o qual separa as ondas com *alguns dias* de observação.

Em relação aos três últimos algarismos, $X X X$, do número argumento, podemos dizer que representam o efeito de uma variação muito lenta. Ondas cujos argumentos podem ser distinguidos nesta seção somente serão separadas se tivermos disponível observações contínuas por período maior que um ano.

| Onda | Nº do Argumento | Argumento | Velocidade em °/h | Amplitude x 10 ⁻⁵ | Origem L: lunar - S: solar |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|------------------------------|--|
| Componentes de longo período | | | | | |
| M ₀ | 055.555 | 0 | 0°.000 000 | + 50 458 | L achatamento constante |
| S ₀ | 055.555 | 0 | 0°.000 000 | + 23 411 | S achatamento constante |
| S _a | 056.554 | h - P | 0°.041 067 | + 1 176 | S onda elítica |
| S _{sa} | 057.555 | 2h | 0°.082 137 | + 7 287 | L onda de declinação |
| M _m | 065.455 | s - p | 0°.544 375 | + 8 254 | L onda elítica |
| M _f | 075.555 | 2s | 1°.098 033 | + 15 642 | L onda de declinação |
| Componentes diurnas | | | | | |
| Q ₁ | 135.655 | (T-s) - (s-p) | 13°.398 661 | + 7 216 | L onda elítica de O ₁ |
| O ₁ | 145.555 | T - s | 13°.943 036 | + 37 689 | L onda lunar principal |
| M ₁ | 155.655 | (T+s) - (s-p) | 14°.496 694 | - 2 964 | L onda elítica de mK ₁ |
| π ₁ | 162.556 | (t-h) - (h-P) | 14°.917 865 | + 1 029 | S onda solar de P ₁ |
| P ₁ | 163.555 | t - h | 14°.958 931 | + 17 554 | S onda solar principal |
| S ₁ | 164.556 | (t+h) - (h-P) | 15°.000 002 | - 423 | S onda elítica de sK ₁ |
| mK ₁ | 165.555 | T + s = t' | 15°.041 069 | - 36 233 | L onda de declinação |
| sK ₁ | 165.555 | t + h = t' | 15°.041 069 | - 16 817 | S onda de declinação |
| ψ ₁ | 166.554 | (T+s) + (s-P) | 15°.082 135 | - 423 | S onda elítica de sK ₁ |
| Φ ₁ | 167.555 | t + 3h | 15°.123206 | - 756 | S onda de declinação |
| J ₁ | 175.455 | (T+s) + (s-p) | 15°.585 443 | - 2 964 | L onda elítica de mK ₁ |
| OO ₁ | 185.555 | T + 3s | 16°.139 102 | - 1 623 | L onda de declinação |
| Componentes semi-diurnas | | | | | |
| 2N ₂ | 235.755 | 2T - 2(s-p) | 27°.895 355 | + 2 301 | L onda elítica de M ₂ |
| μ ₂ | 237.555 | 2T - 2(s-h) | 27°.968 208 | + 2 777 | L onda de variação |
| N ₂ | 245.655 | 2T - (s-p) | 28°.439 730 | + 17 387 | L onda elítica maior de M ₂ |
| v ₂ | 247.455 | 2T - (s-2h+p) | 28°.512 583 | + 3 303 | L onda de eveção |
| M ₂ | 255.555 | 2T | 28°.984 104 | + 90 812 | L onda principal |
| λ ₂ | 263.655 | 2T + (s-2h+p) | 29°.455 625 | - 670 | L onda de eveção |
| L ₂ | 265.455 | 2t + (s-p) | 29°.528 479 | - 2 567 | L onda elítica menor de M ₂ |
| T ₂ | 272.556 | 2t - (h-P) | 29°.958 933 | + 2 479 | S onda elítica maior de S ₂ |
| S ₂ | 273.555 | 2t | 30°.000 000 | + 42 286 | S onda principal |
| R ₂ | 274.554 | 2t + (h-P) | 30°.041 067 | - 354 | S onda elítica menor de S ₂ |
| mK ₂ | 275.555 | 2(T+s) = 2t' | 30°.082 137 | + 7 858 | L onda de declinação |
| sK ₂ | 275.555 | 2(t+h) = 2t'' | 30°.082 137 | + 3 648 | S onda de declinação |
| Componente ter-diurna | | | | | |
| M ₃ | 355.555 | 3T | 43°.476 156 | - 1 188 | L onda principal |

Quadro (3.5.2) Principais ondas de marés (Melchior,1978)

3.6 POTENCIAL DE MARÉ DA TERRA SÓLIDA E ELÁSTICA

3.6.1 Potencial de maré da Terra perturbada

Nas discussões anteriores assumiu-se uma Terra como um corpo sólido e rígido. Na realidade a Terra é um corpo parcialmente elástico, deformando-se com a força da maré. Desta forma, o potencial de maré de um ponto **P** da superfície da Terra *sólida e elástica* é constituído de três partes:

$$W_P^T = W_P + W_{rm} - W_{el} \quad (3.6.1)$$

onde,

W_P : potencial da Terra sólida indeformável dada pela (3.3.8) ou, fazendo a limitação $n = 2$, dada pela (3.3.9),

W_{rm} : variação do potencial devido a *redistribuição de massas* decorrente da deformação da Terra *elástica* em resposta a perturbação luni-solar,

W_{el} : variação do potencial devido a *deslocamento* do ponto **P**.

Como o ponto **P** se *desloca*, afastando-se do centro de gravidade da Terra, então W_{el} é negativo.

A parcela W_{rm} é um potencial adicional, positivo, pois é devido à presença do astro perturbador.

W_P é o potencial de maré definido como o potencial diferencial entre os pontos **P** e **O** (centro de gravidade) conforme a (3.3.5):

$$W_P = V_P - V_O; \quad (3.6.2)$$

pode assumir valores tanto positivos como negativos devido a sua natureza diferencial.

Para se representar a resposta da Terra sólida e elástica à ação da força de maré, considera-se um ponto **P** da superfície **S** da Terra rígida não perturbada coincidente com a superfície equipotencial **E**, conforme mostra a Fig. (3.6.1).

O potencial de maré W_P provoca na Terra sólida deformável uma nova superfície equipotencial **E**, distanciada μ_1 de **S**.

Se a Terra fosse plástica sua superfície coincidiria com o geopo E_1 ($P \equiv B$), mas sendo elástica o ponto P desloca-se para o ponto A da superfície S_1 , cuja distância radial de S é representada por μ .

A deformação provocada por W_p na Terra não rígida produz uma redistribuição das massas terrestres, induzindo uma nova variação do potencial (W_{rm}) em P , gerando a equipotencial E_2 .

Finalmente, o deslocamento de P devido a W_p produz a variação do potencial W_{el} .

Desta maneira, a aplicação da força de maré no ponto P da superfície S (coincidente com a equipotencial E) da Terra, provoca uma variação em sua superfície física, deslocando o ponto P para A , e deslocando a equipotencia E para E_2 .

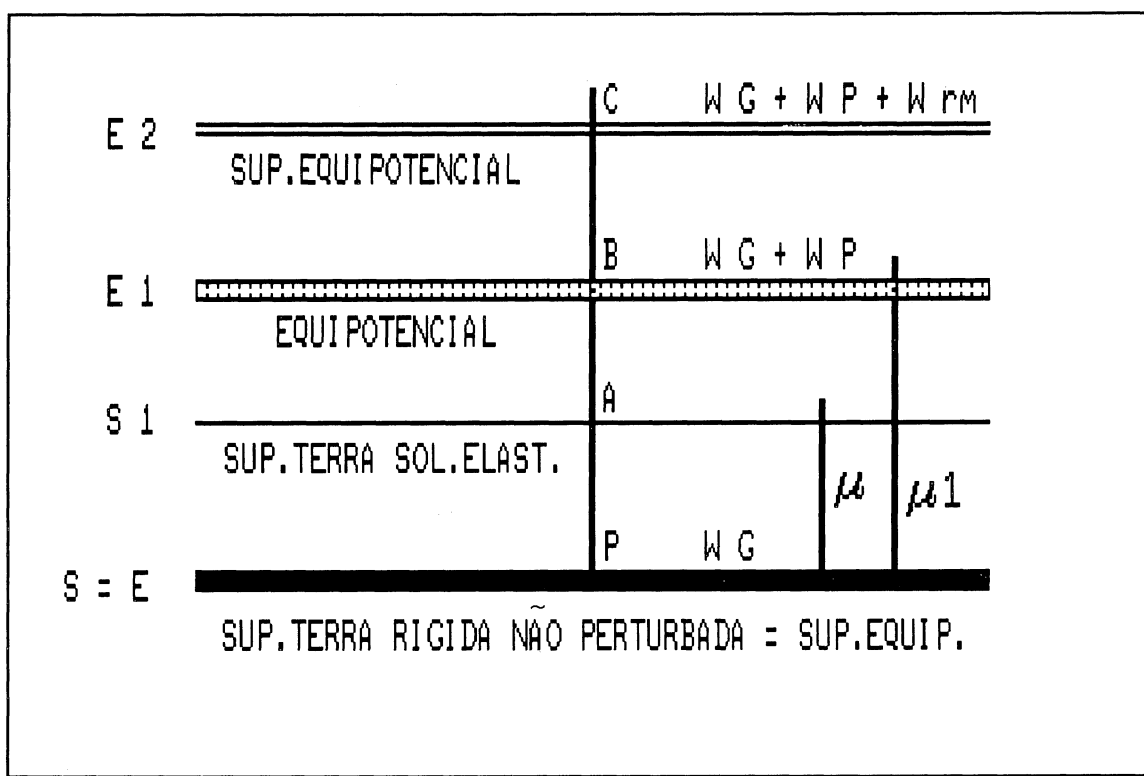


Fig.3.6.1 Representação esquemática da resposta da Terra sólida e elástica à força de maré

Para obtermos o geopotencial total W_G^T num ponto da superfície da Terra sólida, elástica e perturbada, devemos considerar, evidentemente, o geopotencial W_G da Terra sólida, rígida e não perturbada, então

$$W_G^T = W_G + W_P + W_{rm} + W_{el} \tag{3.6.3}$$

3.6.2 Potencial de maré em função dos números de Love

Em 1909, Love introduziu dois novos parâmetros da elasticidade da Terra, h e k , adimensionais que permitem a representação prática do fenômeno da deformação produzida por um potencial que pode ser desenvolvido em harmônicos esféricos.

A parcela W_p do potencial de maré provoca a deformação radial $\overline{PB} = \mu_1$, tal que a equipotencial E desloca-se para E_1 , então (25)

$$W_p = \bar{g} \cdot \bar{\mu}_1 = g \mu_1 \quad (3.6.4)$$

$$\mu_1 = \frac{W_p}{g} \quad (3.6.5)$$

Mas a superfície física da Terra elástica sofre uma deformação radial μ em relação à $S \equiv E$, devida à parcela W_{el} , então

$$W_{el} = \bar{g} \cdot \bar{\mu} = g \mu \quad (3.6.6)$$

A relação entre as duas deformações é denominada de *1º número de Love*, h :

$$h = \frac{\mu}{\mu_1} \quad (3.6.7)$$

Substituindo as (3.6.5) e (3.6.6) na (3.6.7), vem

$$h = \frac{W_{el}}{W_p} \quad (3.6.8)$$

$$W_{el} = h W_p \quad (3.6.9)$$

O *2º número de Love*, k , relaciona o potencial W_p e o W_{rm}

$$k = \frac{W_{rm}}{W_p} \quad (3.6.10)$$

$$W_{rm} = k W_p \quad (3.6.11)$$

Mas o potencial de maré dado pela $W_p^T = W_p + W_{rm} - W_{el}$ pode ser escrito em função dos números de Love, substituindo as (3.6.9) e (3.6.11) nesta última, assim

$$W_p^T = W_p (1 - h + k) \quad (3.6.12)$$

3.6.3 O fator gravimétrico δ

Diferenciando W_P^T em relação a R , temos

$$\frac{\partial W_P^T}{\partial R} = \frac{\partial W_P}{\partial R} + \frac{\partial W_{rm}}{\partial R} - \frac{\partial W_{el}}{\partial R} \quad (3.6.13)$$

onde

$$\frac{\partial W_P^T}{\partial R} = -\Delta g_{PA} = \frac{\partial W_P}{\partial R} + \frac{\partial W_{rm}}{\partial R} - \frac{\partial W_{el}}{\partial R} \quad (3.6.14)$$

Tem sido demonstrado que (14):

$$W_{el} \propto R^{-2}$$

$$W_{rm} \propto R^{-3}$$

então,

$$\frac{\partial W_{el}}{\partial R} = -\frac{2}{R} W_{el} \quad \text{e} \quad \frac{\partial W_{rm}}{\partial R} = -\frac{3}{R} W_{rm} \quad (3.6.15)$$

Substituindo as (3.6.9) e (3.6.11) na (3.6.15), vem

$$\frac{\partial W_{el}}{\partial R} = -\frac{2}{R} h W_P = -h \frac{\partial W_P}{\partial R} \quad (3.6.16)$$

$$\frac{\partial W_{rm}}{\partial R} = -\frac{3}{R} k W_P = -\frac{3}{2} k \frac{\partial W_P}{\partial R} \quad (3.6.17)$$

Introduzindo estas duas últimas na (3.6.14), temos

$$\Delta g_{PA} = -\left(1 + h - \frac{3}{2}k\right) \frac{\partial W_P}{\partial R} \quad (3.6.18)$$

$$\text{O fator} \quad \left(1 + h - \frac{3}{2}k\right) = \delta \quad (3.6.19)$$

é chamado de **fator gravimétrico** δ . Ele transforma a correção da gravidade da Terra sólida e rígida na correção da gravidade da Terra sólida e deformável.

3.7 MÉTODOS DE ANÁLISE

3.7.1 Considerações gerais

A análise das marés é uma técnica muito antiga aplicada às máres oceânicas. O propósito desta consiste na determinação empírica, porém precisa, das constantes de maré. Tem como

objetivo a preparação de efemérides a ser usada em problemas práticos de navegação, assim como na elaboração de cartas isofásicas (cotidal) em um determinado oceano. Nas investigações das marés oceânicas os valores teóricos da amplitude e fase de cada, onda obtidos dos dados experimentais, não apresentam importância prática como ocorre nas marés terrestres.

A partir de 1957 registros das marés terrestres tiveram início com o objetivo de determinar, com alta precisão, as amplitudes e fases teóricas e compará-las com as correspondentes constantes observadas. Esta comparação fornece parâmetros relacionados com a reologia da Terra.

Assim, fazer uma análise harmônica das marés terrestres significa separar de uma série temporal (dados observados) as principais constituintes das ondas de maré, e determinar as respectivas amplitudes e fases.

A maré é um fenômeno conhecido cujas equações foram objeto de estudo nos tópicos (3.2), (3.3) e (3.4), portanto as velocidades angulares (frequências), ω_i , das constituintes a serem separadas são conhecidas.

As leituras das observações de maré podem ser representadas pelo sistema de equações:

$$h_i + \bar{v}_i = \sum_{j=1} \sum_{k=1} \delta_j A_{j,k} \cos(\omega_{i,j,k} t + \alpha_j) \quad (3.7.1)$$

onde,

\bar{v}_i = resíduos estimados das observações

i = época da observação

j = grupo de ondas

k = constituintes harmônicas pertencentes ao grupo

$\delta_j = A_j^o/A_j^T$ = razão entre a amplitude observada e a amplitude teórica para o grupo j

A_{jk} = amplitude teórica de uma das constituintes de maré do grupo j calculada com base no desenvolvimento harmônico do potencial de maré visto no tópico 3.5.1

ω_{ijk} = argumento de uma constituinte k de maré, do grupo j em uma época t_i

α_j = diferença de fase, suposta constante para um mesmo grupo j

e sendo δ_{ijk} e α_j os parâmetros de maré a serem estimados.

A resolução do sistema acima é dada pelo método dos mínimos quadrados.

Venidikov tomou como parâmetros auxiliares as incógnitas ξ_j e η_j correspondentes aos componentes pares e ímpares de um grupo de ondas, assim

$$\xi_j = \delta_j \cos \alpha_j \quad \eta_j = -\delta_j \sin \alpha_j \quad (3.7.2)$$

Desenvolvendo a 3.7.1 e substituindo a 3.7.2, temos

$$h_i + \bar{v}_i = \sum_{j=1} (\xi_j \sum_{k=1} A_{jk} \cos \omega_{ijk} t + \eta_j \sum_{k=1} A_{jk} \sin \omega_{ijk}) \quad (3.7.3)$$

fazendo

$$a_{ij} = \sum_{k=1} A_{jk} \cos \omega_{ijk} t \quad \text{e} \quad b_{ij} = \sum_{k=1} A_{jk} \sin \omega_{ijk} t$$

vem,

$$h_i + \bar{v}_i = \sum_{j=1} a_{ij} \xi_j + b_{ij} \eta_j \quad (3.7.4)$$

sendo ξ_j e η_j os parâmetros a serem estimados.

Desta forma as incógnitas δ_j e α_j são dadas por

$$\begin{aligned} \delta_j &= \sqrt{\xi_j^2 + \eta_j^2} \\ \alpha_j &= -\arctan \frac{\eta_j}{\xi_j} \end{aligned} \quad (3.7.5)$$

O sistema de equações relativo às observações efetuadas, por exemplo de hora em hora, é em geral superabundante, e por isso pode ser resolvido com o método dos mínimos quadrados.

Em 1971 (4), Cartwright-Tayler propuseram um novo desenvolvimento. Em 1972 (5), uma correção neste último foi apresentada por Cartwright-Tayler-Edden e este tem sido, geralmente, utilizado até os últimos anos. Mais recentemente, Büllsfeld (1985) (3), Tamura (1987) e Xi (1989) (27), apresentaram novos desenvolvimentos tendo em vista a maior precisão das medidas obtidas com o gravímetro super-condutor.

Os parâmetros (δ_j, α_j) permanecem invariáveis para um determinado local e dão informações reológicas para o estudo das deformações da Terra. A diferença de fase α_j em relação ao potencial atuante dá importantes informações sobre a viscosidade da Terra (16). E, como se viu no item (3.6.3) o fator gravimétrico relaciona a Terra sólida e rígida à sólida e deformada.

Para que se possa realizar a análise harmônica das marés deve-se antes fazer a cor-

reção de dois fenômenos importantes:

a) *ruído*; o sinal de maré é frequentemente acompanhado de ruídos advindos de perturbações de naturezas diversas; meteorológicas, vibrações microssísmicas, perturbações eletromagnéticas, erros de leitura, etc. A minimização ou eliminação de tais ruídos feita através de filtragem.

b) *deriva instrumental (drift)*; o sinal de maré incorpora a deriva instrumental, fenômeno provocado pelo envelhecimento da mola do gravímetro. A sua eliminação, também, é feita com filtros numéricos.

3.7.2 Análise das observações com o método HYCON

O método HYCON (HYbrid Least Squares Frequency Domain CONvolution Method) tem como objetivo uma análise detalhada das observações de maré. O propósito principal é fornecer o resultado desta análise para posteriores investigações do fenômeno físico (21,22,23).

Os princípios básicos do método são:

1. O mesmo é baseado no princípio dos mínimos quadrados generalizado com a finalidade de permitir modificações no domínio das frequências, onde as propriedades da convolução são envolvidas. Isto é feito com a introdução da função janela de Hanning no procedimento dos mínimos quadrados. O objetivo disto é reduzir certas tendências (biases) devidas ao efeito das perdas (influência de certas energia de uma frequência sobre outras) (21,22).

2. O modelo matemático da resposta da Terra ao potencial de maré é o de Molodensky e inclui o desenvolvimento de Cartwright-Tayler-Edden (CTED) completado por algumas constituintes de Doodson (505 no total).

3. Uma importante característica do HYCON é a avaliação das chamadas funções de parâmetros dependentes do tempo aplicadas aos parâmetros de maré. O espectro de Fourier destas funções é calculado a fim de isolar a concentração de energias em certas frequências. Com isto as razões físicas para ocorrência destas variações temporais são explicadas (22).

4. HYCON fornece os parâmetros globais de maré e os erros de propagação a eles associados. Calcula, também, as amplitudes e fases das constituintes e seus respectivos intervalos de confiança.

5. O espectro dos resíduos observados é calculado e apresentado sob forma gráfica com a finalidade de detectar os sinais de origem que não sejam de maré.

3.7.3 Análise das observações com o método GEZA

O modelo padrão de potencial gerador de maré que tem sido utilizado é o desenvolvido por Cartwright-Taylor-Edden (CTED) (4) contendo 505 constituintes. Com o advento, há poucos anos, dos gravímetros super-condutores o desenvolvimento CTED não apresentava mais a precisão suficiente necessária quando comparado com a precisão deste gravímetro. Com base nisto, novos desenvolvimentos para o potencial gerador de marés foram apresentados por Büllersfeld, Tamura e Xi.

O método GEZA (GEzeitenAnalyse - Análise de maré) foi desenvolvido em 1989 por A.Zimmermann da Universidade de Bonn, visando atender as seguintes exigências:

1. Utilização de um modelo de potencial gerador de maré que satisfaça os quesitos do gravímetro super-condutor com relação à sua precisão. Assim, neste método é usado o **desenvolvimento ETM85** apresentado por Büllersfeld em 1985 com 657 constituintes.

2. O sistema de programas do GEZA possui uma estrutura modular, ou seja é constituído de uma biblioteca de sub-programas que possibilita o cálculo de variáveis independente do programa principal. Com isto, uma integração lógica entre os sub-programas e o programa principal é realizada, resultando uma economia considerável de memória do computador.

3. Emite resultados provisórios ou sinais parciais. Garantida pela estrutura modular do mesmo.

4. O método faz uso de um algoritmo de análise que permite a inclusão de parâmetros físicos adicionais (temperatura e pressão atmosférica).

A Fig.(3.7.3.1) mostra o fluxograma da estrutura do método GEZA. Nela pode-se observar, tanto a evolução do programa (coluna esquerda) como o fluxo de dados (coluna direita). A evolução do programa é agrupada em uma unidade lógica. A mesma é realizada através da chamada dos sub-programas. O programa possibilita, também, a entrada de sinais adicionais.

As unidades de entrada D_1 , D_2 , D_3 e D_4 representam:

D_1 - Dados dos parâmetros de controle do programa principal

D₂ - Dados dos sinais de medidas (observações)

D₃ - Dados dos sinais dos parâmetros físicos adicionais

D₄ - Tabela do modelo para o cálculo do potencial gerador de maré(ETMB85) que utiliza um polinômio de grau $n = 4$ e ainda uma outra tabela para os números de Love e Shida

Os grupos de variáveis **VS0**, **VS1**, **VS2** e **VS3** significam:

VS0 - Parâmetros de controle da evolução do programa principal

Este grupo decide a evolução posterior do programa e contém as seguintes possibilidades de controle:

- a. Nenhuma análise é realizada. Esta opção calcula o modelo de maré teórica com o ETM85.
- b. Análise de um único sinal, somente o sinal de maré medido (observado) é analisado.
- c. Análise de vários sinais, analisa o sinal de maré e outros sinais (parâmetros físicos adicionais).
- d. Possibilidade de filtragem dos dados para a análise.

VS1 - Parâmetros de controle para o modelo de maré utilizando o ETMB85

Neste grupo estão contidas todas as informações necessárias para o cálculo do potencial gerador de maré; como as coordenadas geográficas da estação de observação, data do início das observações, e espécie de observação de maré (gravimétrica, clinométrica e extensiométrica).

VS2 - Parâmetros de controle para a análise do sinal de maré

Contém a divisão dos grupos das constituintes. Através dos mesmos são informados os números dos argumentos do primeira e da última constituinte para cada grupo.

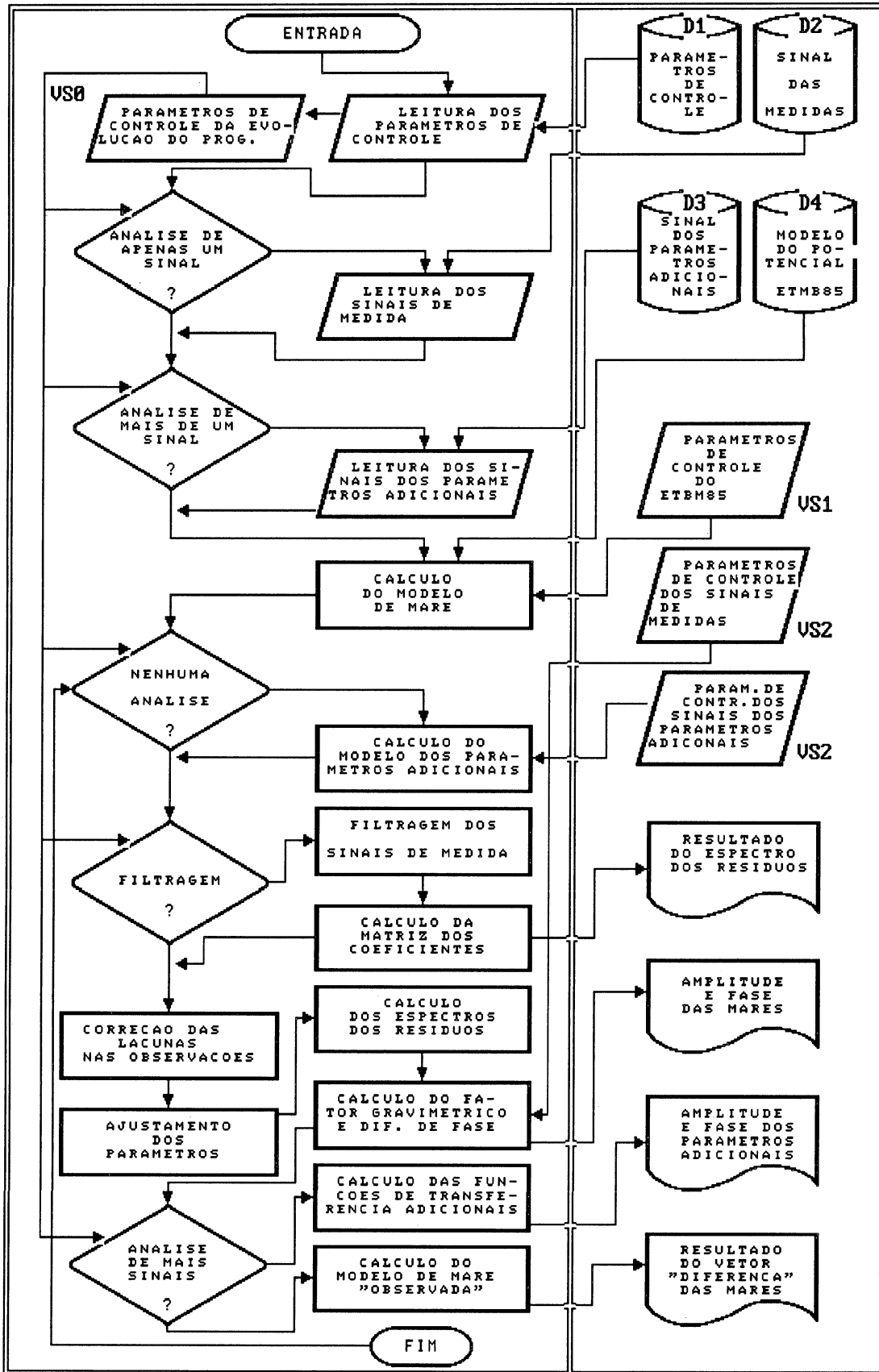


Fig.3.7.3.1 Fluxograma do programa GEZA

VS3 - Parâmetros de controle para o sinal dos parâmetros adicionais

Estão contidas as informações para a classificação do grupo de frequência ou o adiantamento máximo do tempo para a escolha do algoritmo a ser usado (domínio das frequências ou do tempo).

Como resultado final da análise o método GEZA fornece:

1. As amplitudes e fases dos principais grupos de ondas.
2. O fator gravimétrico e diferença de fase das ondas mais importantes e os erros de propagação a eles associados.
3. Os resíduos e seus espectros.
4. As amplitudes e fases dos parâmetros adicionais.
5. As marés "observadas" que são obtidas com os fatores gravimétricos calculados a partir dos dados observados.
6. O vetor "diferença" (sinal residual) definido como sendo a diferença entre os dados observados e as marés "observadas".

CAPÍTULO IV

CALIBRAÇÃO DAS DUAS SÉRIES DE OBSERVAÇÕES

4.1 PRINCÍPIOS DE UMA CALIBRAÇÃO

Os resultados das medições da aceleração da gravidade com gravímetros se expressam em divisões da escala do dispositivo de leitura. Para se converter as medidas em unidades da aceleração (miligals), deve-se determinar o fator de conversão, *ou fator de calibração, ou fator de escala*, do gravímetro. A determinação do valor da escala do dispositivo digital de leitura do gravímetro denomina-se *calibração*.

A calibração dos gravímetros pode ser realizada com os seguintes métodos:

1. Observação em pontos com valores conhecidos da aceleração da gravidade.
2. Observação das variações das leituras do gravímetro ao incliná-lo.
3. Suspensão de massas complementares.
4. Força eletrostática ou eletromagnética.
5. Força inercial.
6. Atração gravitacional.
7. Base vertical de calibração em laboratório.

A calibração do gravímetro Askania é, em geral, feita com o terceiro método que consiste no seguinte:

Em uma estação de observação, acrescentam-se massas complementares conhecidas ao peso móvel fundamental do sistema sensível do gravímetro e se observa as variações das leituras. Se à massa m do sistema móvel do gravímetro corresponde a leitura S_1 , após acrescentar a pequena massa Δm é produzida uma variação aparente da força de gravidade, a leitura será S_2 . Ao se acrescentar Δm , o peso da massa móvel aumenta em magnitude, assim

$$g \Delta m = \Delta g m \quad (4.1.1)$$

ou

$$\Delta g = g \Delta m/m \quad (4.1.2)$$

porém

$$\Delta g = c(S_2 - S_1) \quad (4.1.3)$$

onde c é o fator de calibração que se deseja determinar, então

$$c = \frac{g}{S_2 - S_1} \frac{\Delta m}{m} = \frac{g}{\Delta S} \frac{\Delta m}{m} \quad (4.1.4)$$

com g , m e Δm conhecidos e ΔS lido.

4.2 CALIBRAÇÃO USANDO A 1ª SÉRIE DE OBSERVAÇÕES - MARÇO 83 A ABRIL 85

Como vimos no capítulo II, duas séries de observações foram obtidas com o gravímetro Askania BN-O2 GS 12 na estação fundamental de Curitiba.

Para a 1ª série, correspondente ao período de março de 1983 a abril de 1985, foi efetuado a calibração através do método da suspensão de massas complementares por M. Bonatz. O valor encontrado para o aparelho instalado na estação de Curitiba foi de $0,42822 \mu\text{Gal}/\text{mm}$, com uma precisão de cerca de 1%.

4.3 PRÉ-ANÁLISE DAS OBSERVAÇÕES

A primeira etapa a ser efetuada com as observações é a correção dos saltos e picos existentes nos registros de maré.

A existência dos saltos decorre da correção da deriva inerente aos registros. Os picos encontrados são, geralmente, devidos a erros na leitura das ordenadas horárias (Fig.4.1.3).

Além destas correções é feita uma filtragem inicial da curva para eliminar os sinais externos perturbadores do sinal de maré. Esta é uma pré-filtragem que "alisa" a curva eliminando os sinais mais grosseiros. Uma filtragem final minimizando os sinais externos de menores amplitudes é realizada juntamente com a análise.

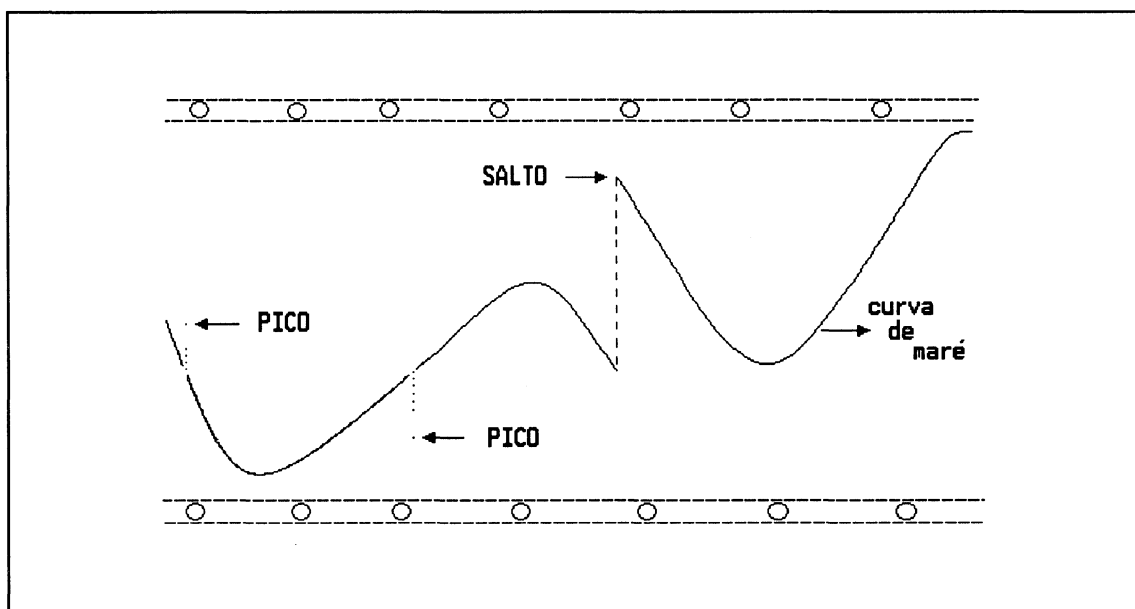


Fig. 4.1.3 Saltos e picos encontrados na curva de maré

Após a pré-filtragem e correções dos saltos e picos que são realizadas com um programa específico chamado TEST, tem início a pré-análise das observações corrigidas, uma vez que nesta etapa é feita a seleção dos dados com os quais obter-se-á a análise final.

4.3.1 Investigações sobre a mudança brusca no fator de calibração da 1ª série de observações

As pré-análises foram realizadas com o programa GEZA que permite a execução das mesmas para diferentes períodos de observações; análises mensais, trimestrais, etc. Após a primeira análise trimestral das observações corrigidas ficou constatado a existência de uma mudança brusca no fator de calibração do gravímetro Askania. Isto pode ser identificado através da observação dos valores do fator gravimétrico δ_i e das diferenças de fase κ_i das ondas principais M_2 , S_2 , O_1 e K_1 , como mostram os Quadros 4.3.1a,b e as Fig.4.3.1a,b,c,d. Observamos que na última análise (jan-abr 85) o fator gravimétrico tem o seu valor alterado significativamente em relação às análises anteriores.

| ANÁLISE TRIMESTRAL - 1983/1985 | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FATORES GRAVIMÉTRICOS E SEUS RESPECTIVOS DEVIOS PADRÕES DAS ONDAS M ₂ , S ₂ , O ₁ , K ₁ | | | | | | | | |
| TRIMESTRE | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
| MAR-JUN 83 | 1.1610 | 0.0182 | 1.2133 | 0.0352 | 1.2100 | 0.1142 | 1.1912 | 0.0766 |
| JUL-SET | 1.1962 | 0.0159 | 1.2136 | 0.0333 | 0.4234 | 0.2347 | 0.3612 | 0.1511 |
| OUT-DEZ | 1.1994 | 0.0080 | 1.1933 | 0.0154 | 1.2437 | 0.0523 | 1.2174 | 0.0328 |
| JAN-MAR84 | 1.1868 | 0.0051 | 1.1789 | 0.0089 | 1.1524 | 0.0313 | 1.1514 | 0.0212 |
| ABR-JUN | 1.1801 | 0.0104 | 1.1427 | 0.0207 | 1.1743 | 0.0530 | 0.9168 | 0.0337 |
| JUL-SET | 1.1921 | 0.0096 | 1.1721 | 0.0190 | 1.1919 | 0.0533 | 1.1285 | 0.0359 |
| OUT-DEZ | 1.1957 | 0.0070 | 1.1635 | 0.0130 | 1.2020 | 0.0419 | 1.2966 | 0.0265 |
| JAN-ABR85 | 1.0340 | 0.0084 | 1.0181 | 0.0084 | 1.0483 | 0.0224 | 1.0246 | 0.0159 |

Quadro 4.3.1a Fatores gravimétricos das ondas M₂, S₂, O₁, K₁ e seus respectivos desvios padrões - Série 1

| ANÁLISE TRIMESTRAL - 1983/1985 | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DIFERENÇA DE FASE E SEUS RESPECTIVOS DEVIOS PADRÕES DAS ONDAS M ₂ , S ₂ , O ₁ , K ₁ | | | | | | | | |
| TRIMESTRE | κM_2 | σM_2 | κS_2 | σS_2 | κO_1 | σO_1 | κK_1 | σK_1 |
| MAR-JUN 83 | -4.723 | 0.898 | -1.692 | 1.569 | -5.762 | 5.412 | -14.132 | 3.684 |
| JUL-SET | -3.487 | 0.763 | 0.881 | 1.569 | 8.208 | 31.782 | -5.207 | 23.944 |
| OUT-DEZ | 0.782 | 0.384 | 2.413 | 0.741 | 4.941 | 2.407 | -1.290 | 1.541 |
| JAN-MAR84 | 2.131 | 0.239 | 2.013 | 0.438 | -0.783 | 1.558 | -5.186 | 1.052 |
| ABR-JUN | 1.290 | 0.498 | 0.626 | 1.037 | 3.321 | 2.581 | 1.153 | 2.105 |
| JUL-SET | 1.530 | 0.459 | -1.930 | 0.932 | -0.242 | 2.563 | 9.283 | 1.828 |
| OUT-DEZ | 1.085 | 0.329 | -1.386 | 0.645 | -0.918 | 1.997 | 3.809 | 1.165 |
| JAN-ABR85 | 1.175 | 0.226 | 2.008 | 0.475 | -1.954 | 1.228 | -4.345 | 0.892 |

Quadro 4.3.1b Diferença de fase das ondas M₂, S₂, O₁, K₁ e seus respectivos desvios padrões - Série 1 (graus)

Com o objetivo de se verificar quando, época de ocorrência, e como, abrupta ou não, se processou tal mudança, foi realizada uma análise mensal dos dados. O Quadro 4.3.2 e as Figs. 4.3.2a,b,c,d,e,f mostram claramente que a mudança ocorreu entre dezembro de 1984 e janeiro de 1985.

A determinação do dia da mudança foi realizada através de análise mensais **com deslocamento (shifting) diário**. Como ficou constatado na análise anterior que a mudança surgiu entre dezembro de 1984 e janeiro de 1985, foi estabelecido um intervalo de 47 dias de observações, a partir

de 01.12.84 à 16.01.85, e 47 análises mensais com deslocamento diário foram processadas. A figura 4.3.3 representa esquematicamente o "shifting" diário.

Com esse procedimento, pode-se verificar, a partir da variação dos fatores gravimétricos δ_i , que a mudança brusca ocorreu entre os dias 7 e 8 de janeiro de 1985.

Tomando-se o fator gravimétrico da onda M_2 como referência, visto que a mesma pode ser observada como sendo a onda menos afetada pelos efeitos das perturbações diurnas externas, o Quadro 4.3.3 e a Fig. 4.3.4 mostram:

- a. o fator gravimétrico δM_2 começa a sofrer alterações na análise nº 7,
- b. o mesmo se estabiliza a partir da análise nº 39 em um valor menor (1.0290) ao das análises anteriores a de nº 7 (1.2097).

Portanto, a mudança ocorreu entre os dias 7 e 8 de janeiro de 1985. No próximo capítulo, após a seleção criteriosa dos dados, será feita a normalização destes a partir de janeiro de 1985.

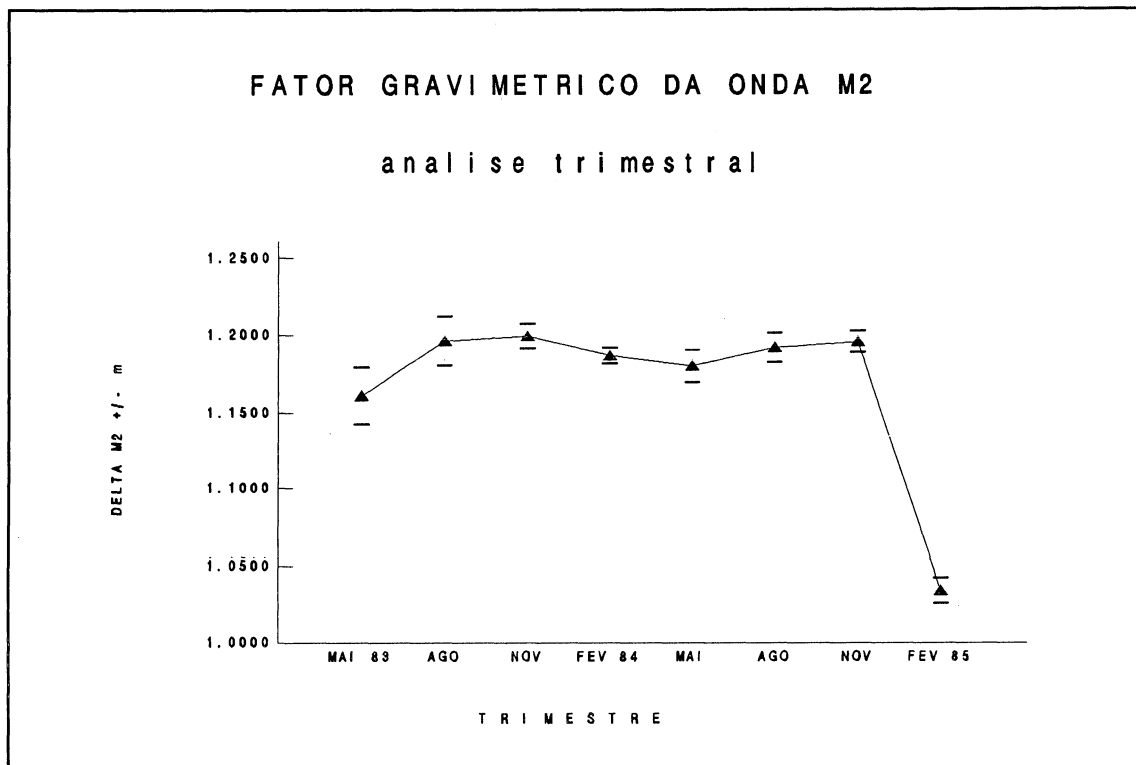


Fig.4.3.1a Fator gravimétrico de $M_2 \pm m$ = erro médio quadrático - 1ª série

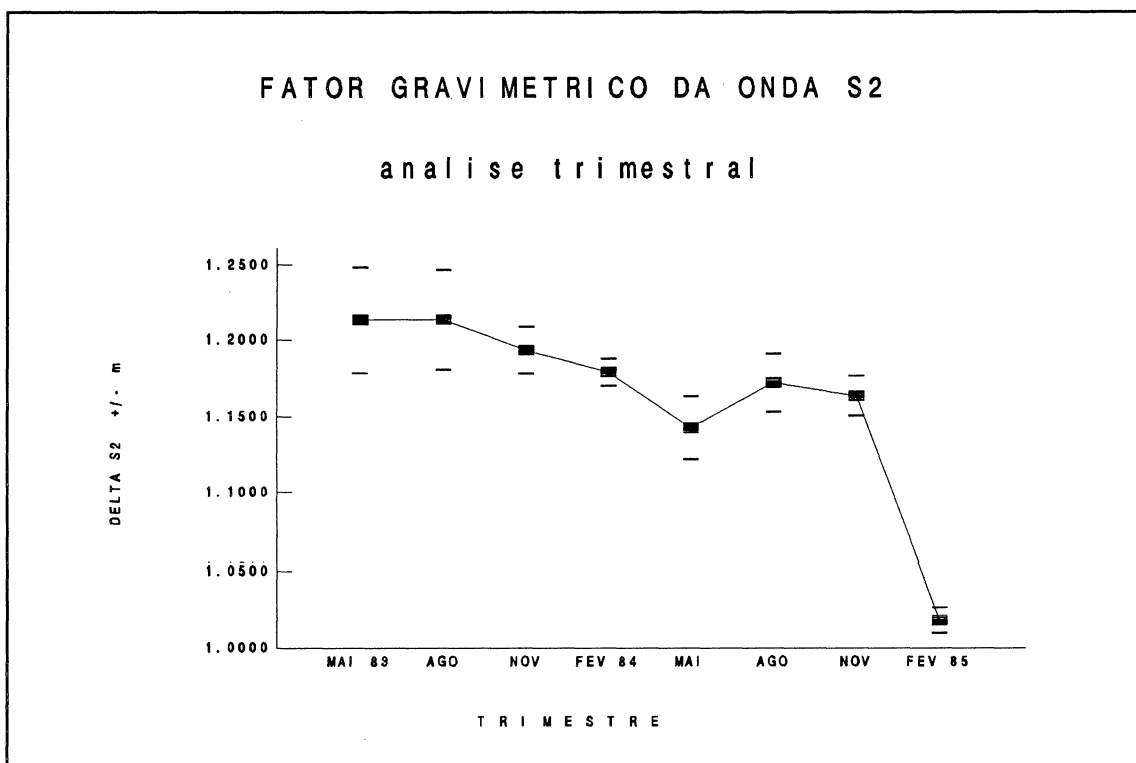


Fig.4.3.1b Fator gravimétrico de $S_2 \pm m$ = erro médio quadrático - 1ª série

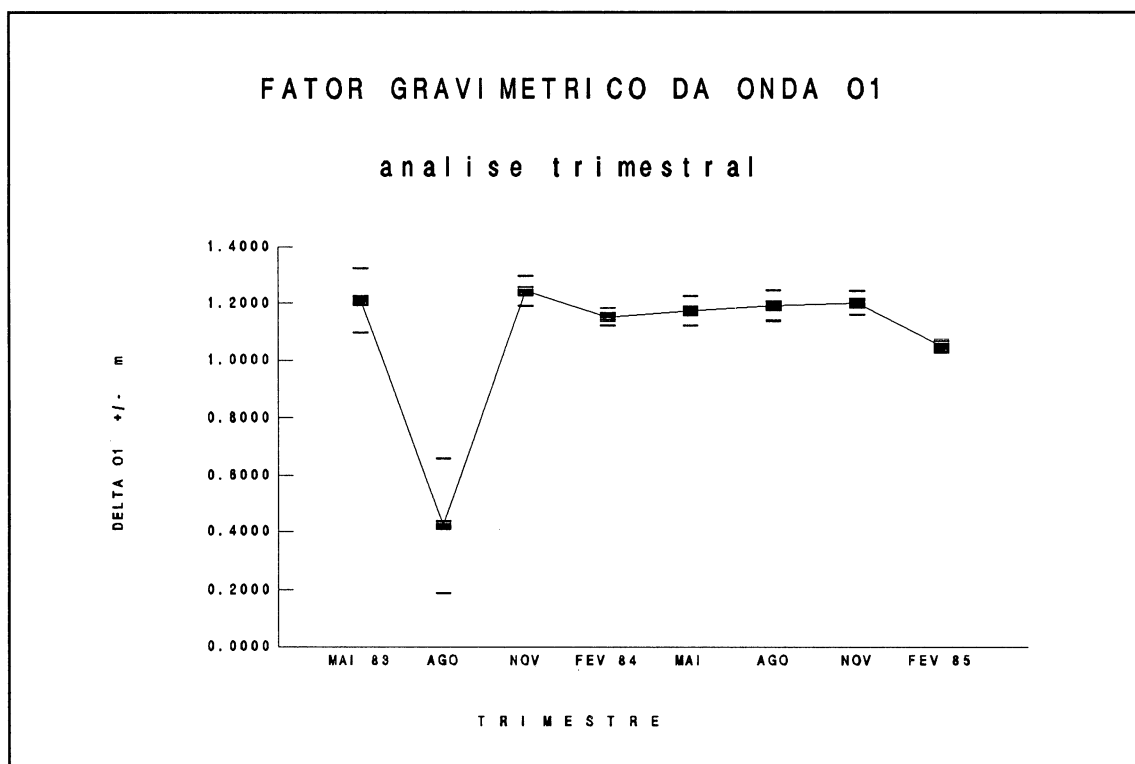


Fig.4.3.1c Fator gravimétrico de $O_1 \pm m =$ erro médio quadrático - 1ª série

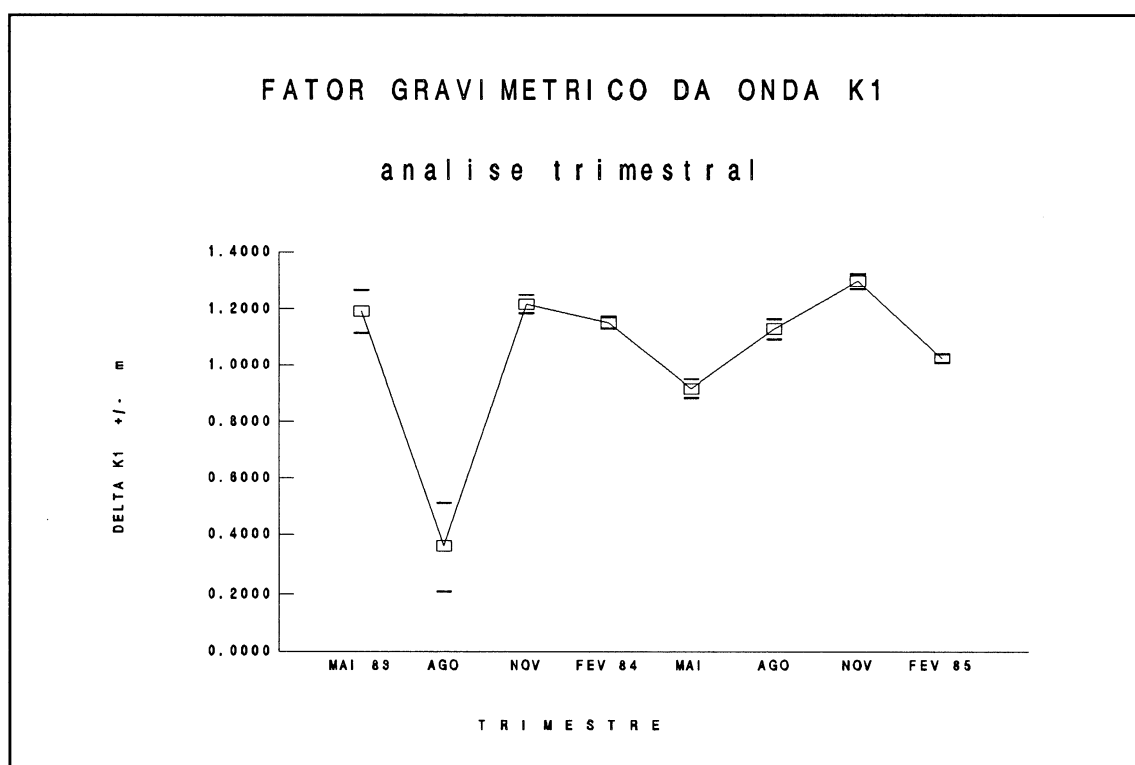
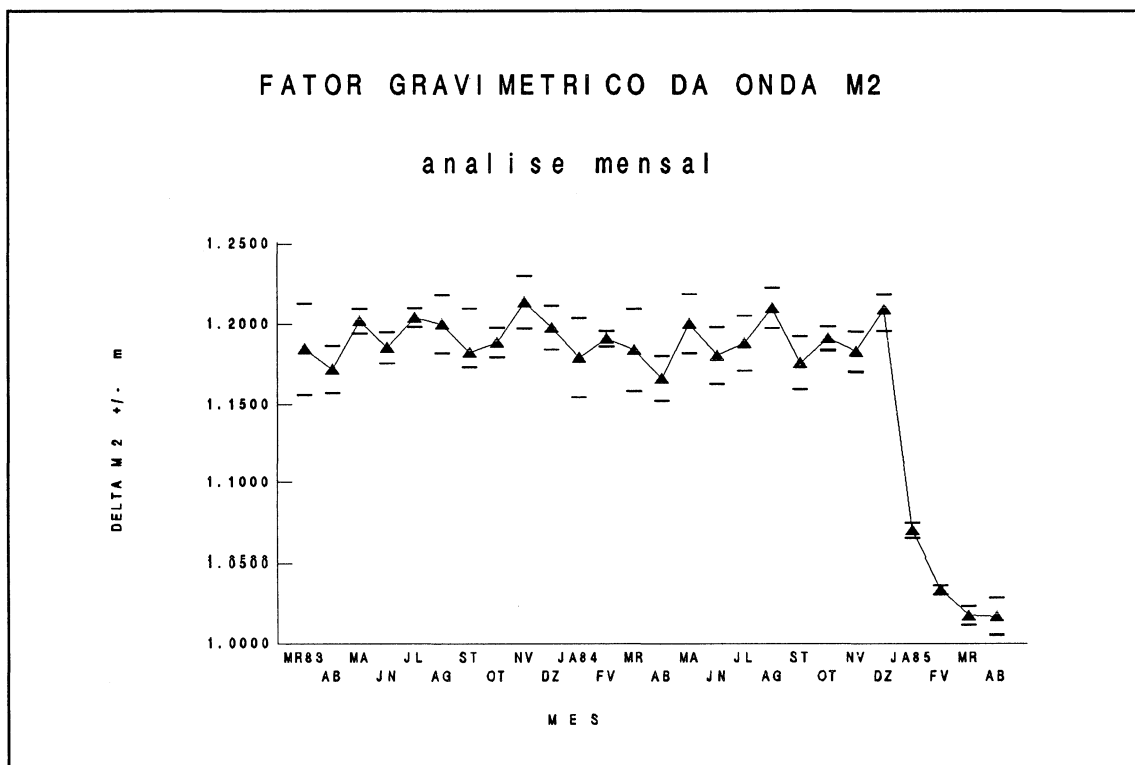
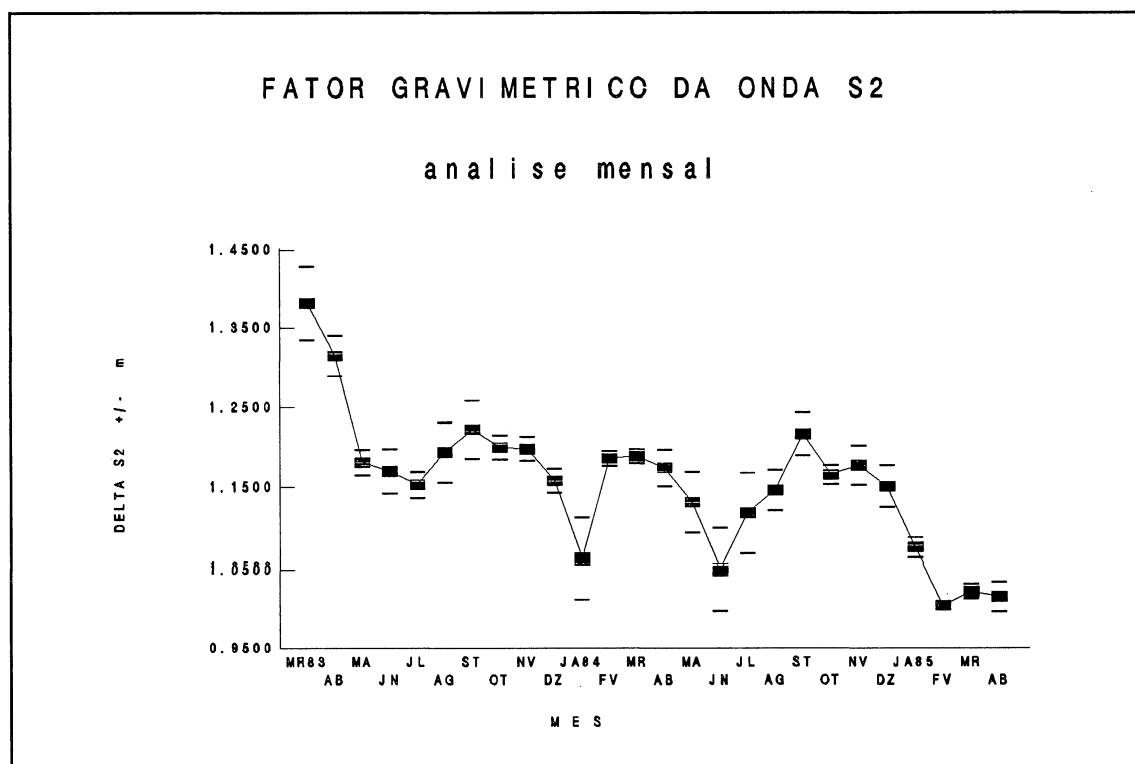


Fig.4.3.1d Fator gravimétrico de $K_1 \pm m =$ erro médio quadrático - 1ª série

| ANÁLISE MENSAL - 1983/1985 | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FATORES GRAVIMÉTRICOS DAS ONDAS M_2 , S_2 , O_1 , K_1 E SEUS RESPECTIVOS DEVIOS PADRÃO | | | | | | | | |
| MES | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
| MR83 | 1.1846 | 0.0282 | 1.3815 | 0.0472 | 1.1755 | 0.0817 | 2.3517 | 0.0742 |
| ABR | 1.1721 | 0.0145 | 1.3148 | 0.0253 | 1.4480 | 0.1027 | 1.4280 | 0.0858 |
| MAI | 1.2020 | 0.0077 | 1.1810 | 0.0161 | 1.2430 | 0.0383 | 1.1102 | 0.0236 |
| JUN | 1.1854 | 0.0096 | 1.1697 | 0.0275 | 1.3283 | 0.0470 | 0.9772 | 0.0255 |
| JUL | 1.2042 | 0.0058 | 1.1531 | 0.0164 | 1.1794 | 0.0294 | 1.0902 | 0.0164 |
| AGO | 1.2001 | 0.0181 | 1.1936 | 0.0376 | 0.9230 | 0.0316 | 1.0639 | 0.0210 |
| SET | 1.1826 | 0.0272 | 1.2220 | 0.0369 | 1.5242 | 0.0460 | 1.1333 | 0.0441 |
| OUT | 1.1887 | 0.0092 | 1.1998 | 0.0149 | 1.1242 | 0.0258 | 1.2897 | 0.0217 |
| NOV | 1.2138 | 0.0164 | 1.1977 | 0.0149 | 1.3611 | 0.0834 | 1.3037 | 0.0499 |
| DEZ | 1.1979 | 0.0137 | 1.1579 | 0.0149 | 1.3225 | 0.0807 | 1.1463 | 0.0427 |
| JA84 | 1.1793 | 0.0246 | 1.0621 | 0.0499 | 0.5752 | 0.0549 | 1.3613 | 0.0263 |
| FEV | 1.1911 | 0.0048 | 1.1858 | 0.0092 | 1.1798 | 0.0174 | 1.0874 | 0.0118 |
| MAR | 1.1841 | 0.0255 | 1.1885 | 0.0089 | 1.1832 | 0.0214 | 1.1572 | 0.0195 |
| ABR | 1.1666 | 0.0140 | 1.1740 | 0.0231 | 1.2435 | 0.0757 | 0.9796 | 0.0617 |
| MAI | 1.2005 | 0.0183 | 1.1311 | 0.0378 | 1.1071 | 0.0460 | 0.8793 | 0.0284 |
| JUN | 1.1808 | 0.0176 | 1.0485 | 0.0506 | 1.1982 | 0.0419 | 0.9131 | 0.0224 |
| JUL | 1.1883 | 0.0171 | 1.1179 | 0.0501 | 1.1719 | 0.0361 | 1.0150 | 0.0205 |
| AGO | 1.2102 | 0.0125 | 1.1461 | 0.0251 | 1.2762 | 0.0723 | 1.2885 | 0.0496 |
| SET | 1.1762 | 0.0166 | 1.2164 | 0.0270 | 1.1603 | 0.0766 | 1.1825 | 0.0687 |
| OUT | 1.1914 | 0.0075 | 1.1654 | 0.0118 | 1.2302 | 0.0390 | 1.3059 | 0.0323 |
| NOV | 1.1830 | 0.0125 | 1.1772 | 0.0243 | 1.1475 | 0.0492 | 1.2794 | 0.0304 |
| DEZ | 1.2092 | 0.0094 | 1.1511 | 0.0263 | 1.2408 | 0.0366 | 1.2851 | 0.0195 |
| JA85 | 1.0695 | 0.0048 | 1.0752 | 0.0123 | 1.1389 | 0.0219 | 1.1198 | 0.0123 |
| FEV | 1.0335 | 0.0029 | 1.0049 | 0.0055 | 1.0206 | 0.0178 | 0.9981 | 0.0125 |
| MAR | 1.0174 | 0.0058 | 1.0227 | 0.0092 | 1.0283 | 0.0270 | 0.9596 | 0.0248 |
| ABR | 1.0169 | 0.0116 | 1.0160 | 0.0188 | 1.0107 | 0.0390 | 0.9196 | 0.0318 |

Quadro 4.3.2a Fatores gravimétricos das ondas M_2 , S_2 , O_1 , K_1 e seus respectivos desvios padrões

Fig.4.3.2a Fator gravimétrico de $M_2 \pm m$ = erro médio quadrático - 1ª sérieFig.4.3.2b Fator gravimétrico de $S_2 \pm m$ = erro médio quadrático - 1ª série

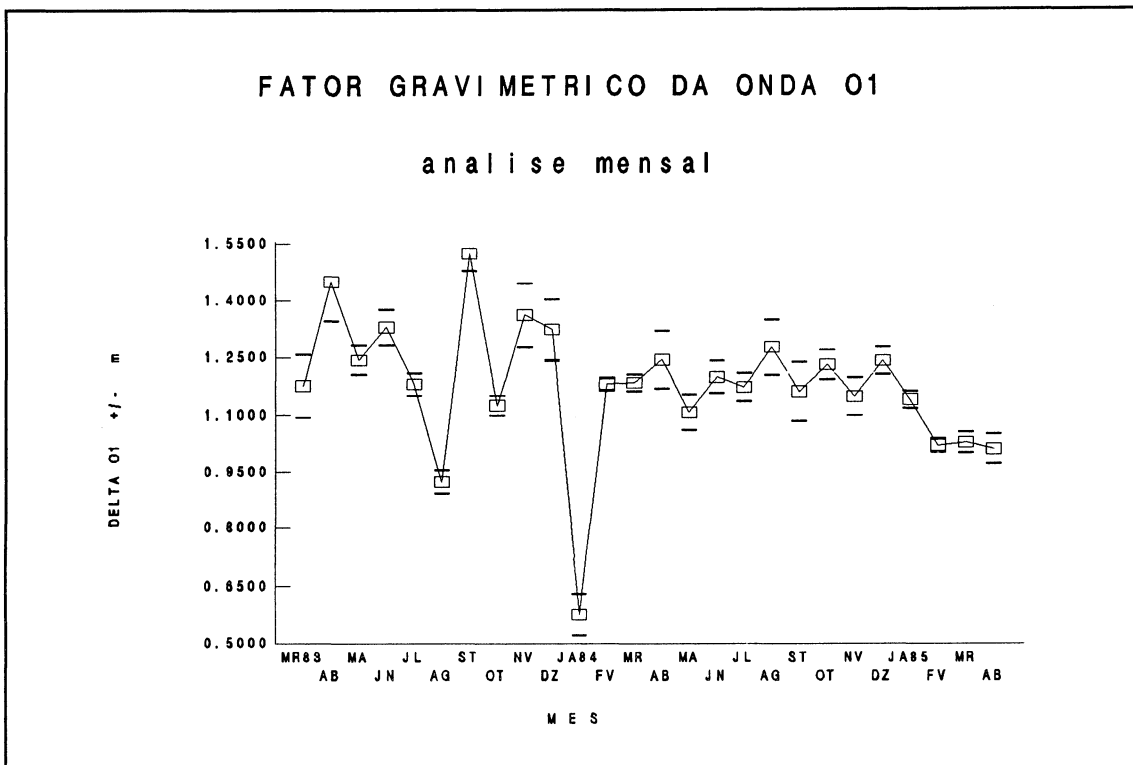


Fig.4.3.2c Fator gravimétrico de O₁ ± m = erro médio quadrático - 1ª série

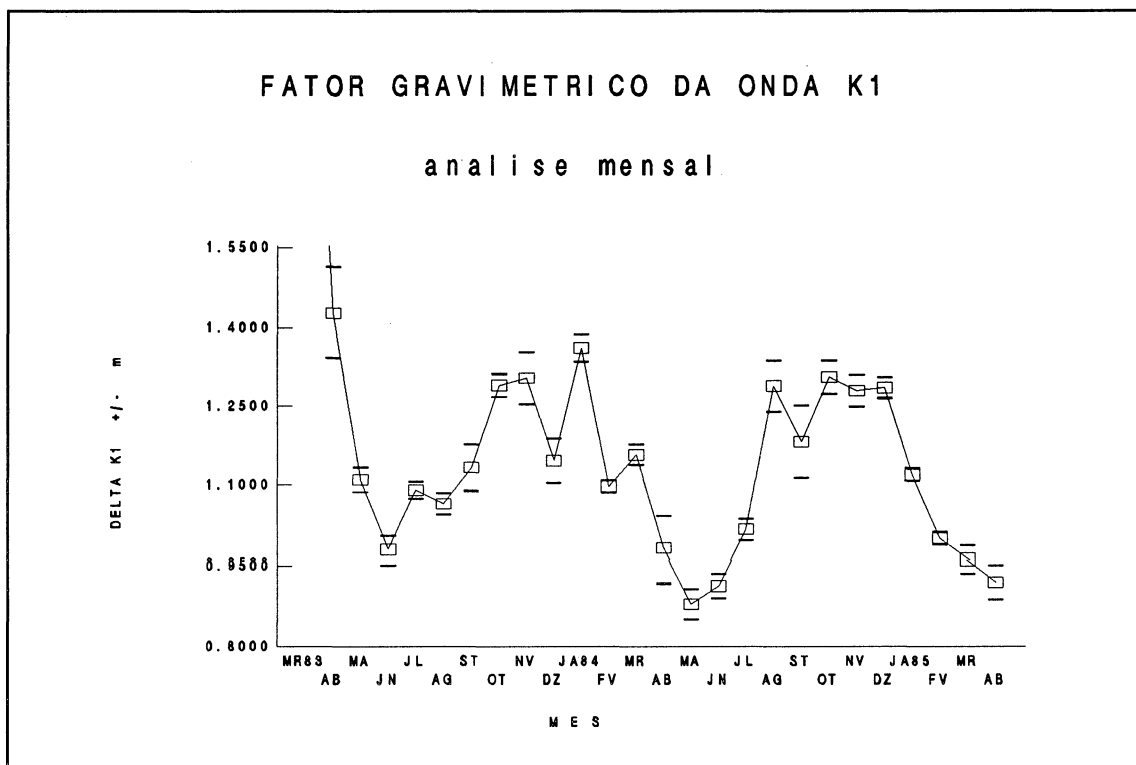
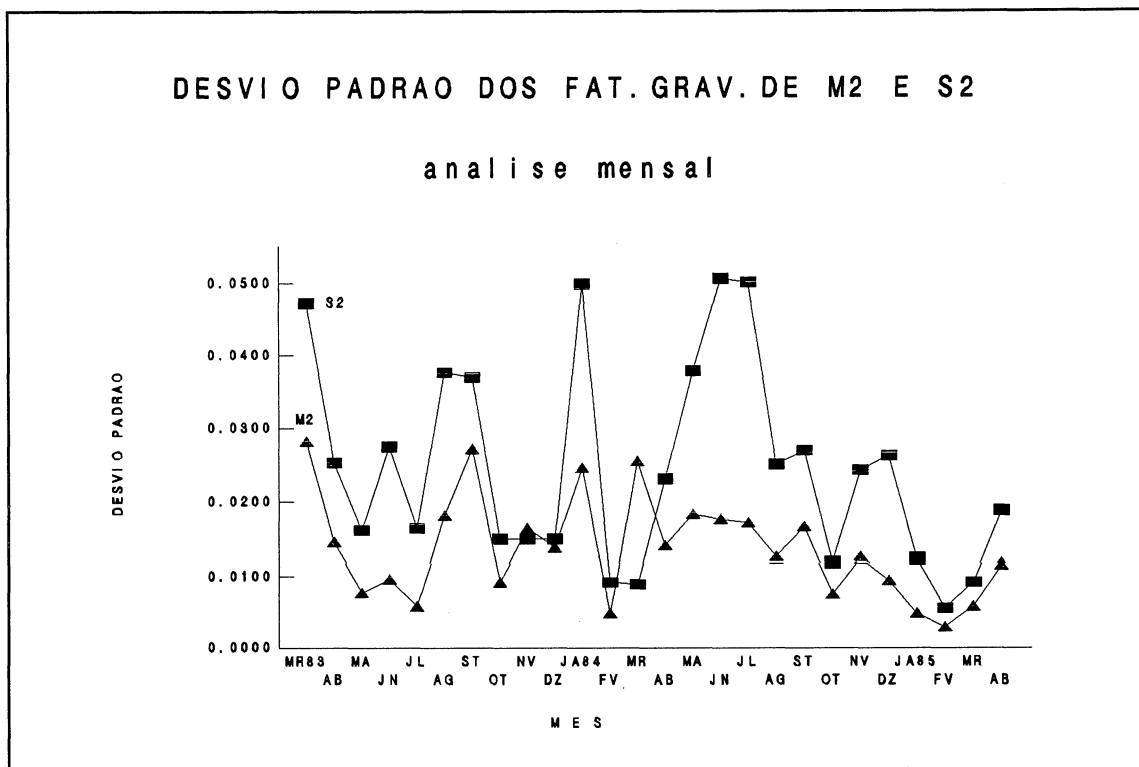
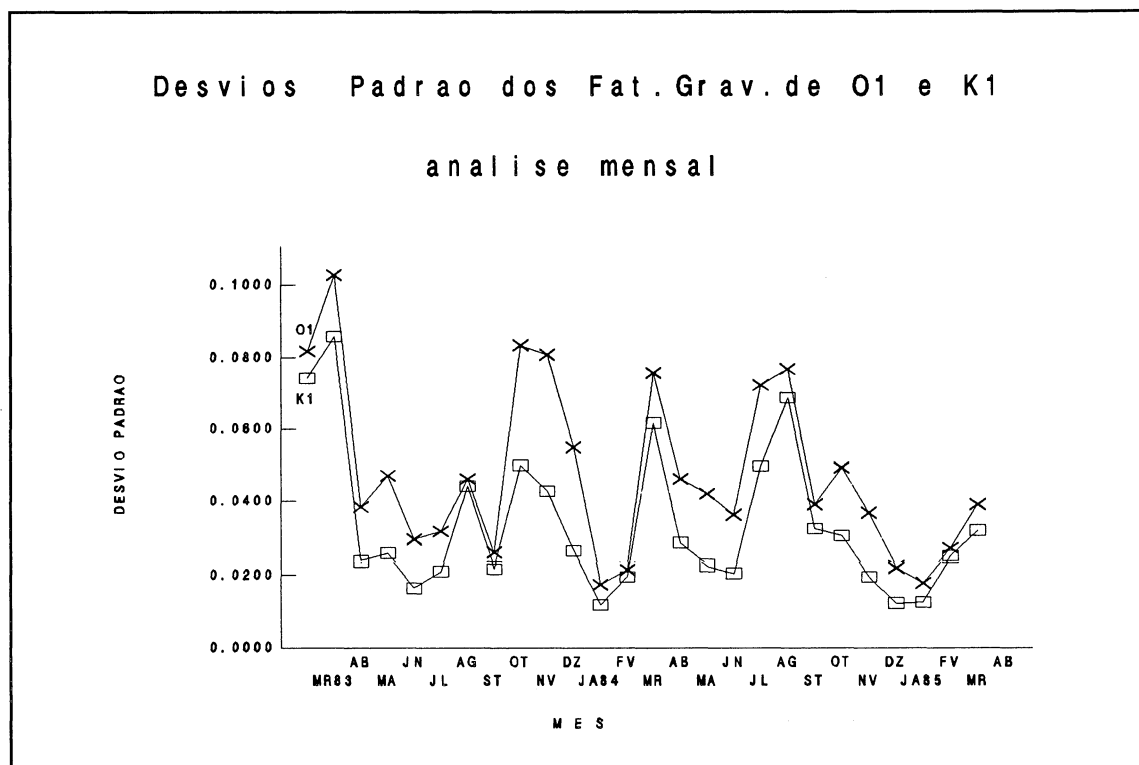


Fig.4.3.2d Fator gravimétrico de K₁ ± m = erro médio quadrático - 1ª série

Fig.4.3.2e Desvio padrão dos fatores gravimétricos de M_2 e S_2 - 1ª sérieFig.4.3.2f Desvio padrão dos fatores gravimétricos de O_1 e K_1 - 1ª série

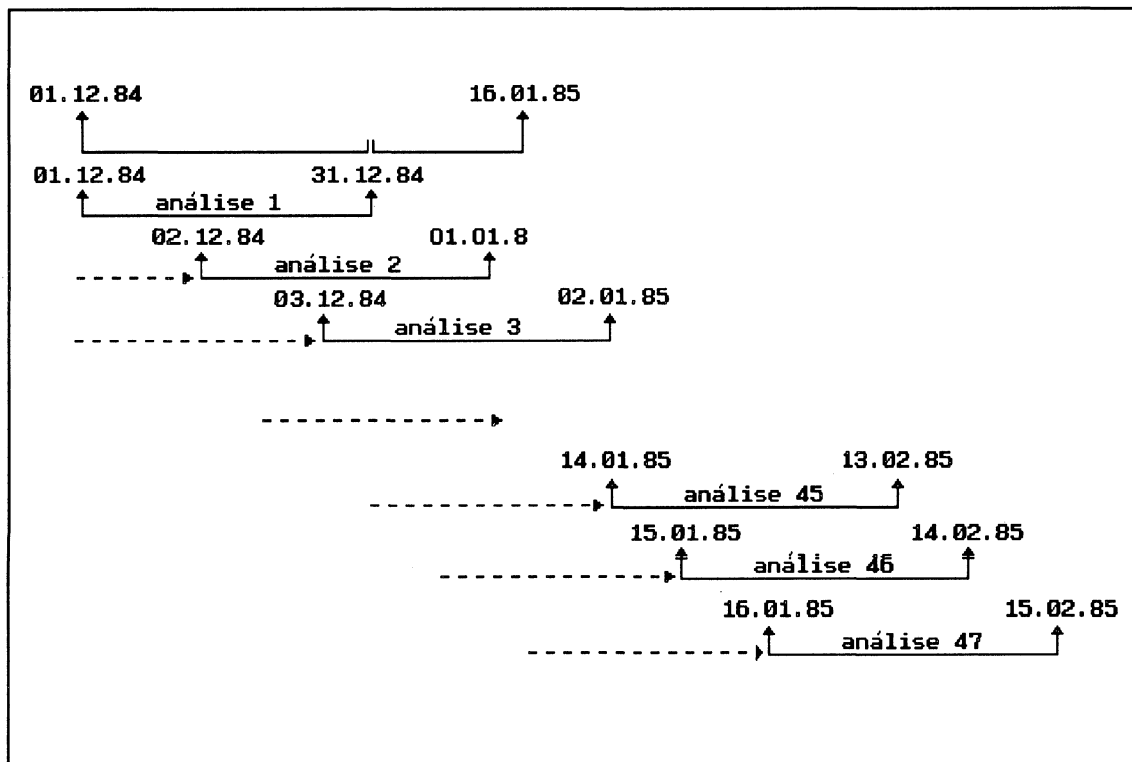


Fig.4.3.3 Representação do "shifting" (deslocamento) - análises mensais

(47 no total) com "shifting" diário

| ANÁLISE MENSAL COM "SHIFTING" DIÁRIO | | | | | | | | | |
|---|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FATORES GRAVIMÉTRICOS DAS ONDAS M_2 , S_2 , O_1 , K_1 | | | | | | | | | |
| ANÁLISE N ^o | PERÍODO | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
| 1 | 01.12.84 - 31.12.84 | 1.2092 | 0.0094 | 1.1512 | 0.0263 | 1.2408 | 0.0368 | 1.2851 | 0.0195 |
| 2 | 02.12.84 - 01.01.85 | 1.2100 | 0.0092 | 1.1649 | 0.0260 | 1.2688 | 0.0325 | 1.2695 | 0.0171 |
| 3 | 03.12.84 - 02.01.85 | 1.2109 | 0.0092 | 1.1632 | 0.0251 | 1.2562 | 0.0318 | 1.2697 | 0.0169 |
| 4 | 04.12.84 - 03.01.85 | 1.2119 | 0.0089 | 1.1644 | 0.0241 | 1.2517 | 0.0308 | 1.2685 | 0.0164 |
| 5 | 05.12.84 - 04.01.85 | 1.2112 | 0.0087 | 1.1610 | 0.0234 | 1.2497 | 0.0284 | 1.2690 | 0.0152 |
| 6 | 06.12.84 - 05.01.85 | 1.2124 | 0.0077 | 1.1577 | 0.0214 | 1.2208 | 0.0195 | 1.2608 | 0.0104 |
| 7 | 07.12.84 - 06.01.85 | 1.2097 | 0.0082 | 1.1461 | 0.0224 | 1.2186 | 0.0222 | 1.2579 | 0.0118 |
| 8 | 08.12.84 - 07.01.85 | 1.2066 | 0.0084 | 1.1326 | 0.0236 | 1.2227 | 0.0260 | 1.2553 | 0.0137 |
| 9 | 09.12.84 - 08.01.85 | 1.2061 | 0.0084 | 1.1285 | 0.0239 | 1.2078 | 0.0280 | 1.2495 | 0.0147 |
| 10 | 10.12.84 - 09.01.85 | 1.2006 | 0.0087 | 1.1143 | 0.0246 | 1.1943 | 0.0246 | 1.2394 | 0.0130 |
| 11 | 11.12.84 - 10.01.85 | 1.1933 | 0.0099 | 1.1039 | 0.0287 | 1.1902 | 0.0195 | 1.2360 | 0.0104 |
| 12 | 12.12.84 - 11.01.85 | 1.1890 | 0.0099 | 1.0974 | 0.0284 | 1.1832 | 0.0140 | 1.2304 | 0.0075 |
| 13 | 13.12.84 - 12.01.85 | 1.1789 | 0.0096 | 1.1143 | 0.0270 | 1.2003 | 0.0190 | 1.2227 | 0.0101 |
| 14 ^{continua} | 14.12.84 - 13.01.85 | 1.1757 | 0.0096 | 1.1273 | 0.0275 | 1.1897 | 0.0210 | 1.2223 | 0.0108 |

| ANÁLISE N ^o | PERÍODO <small>continuação</small> | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
|------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 15 | 05.12.84 - 14.01.85 | 1.1572 | 0.0084 | 1.1919 | 0.0239 | 1.2059 | 0.0231 | 1.2189 | 0.0108 |
| 16 | 16.12.84 - 15.01.85 | 1.1572 | 0.0084 | 1.1919 | 0.0239 | 1.2059 | 0.0231 | 1.2189 | 0.0123 |
| 17 | 17.12.84 - 16.01.85 | 1.1536 | 0.0075 | 1.1984 | 0.0212 | 1.2078 | 0.0318 | 1.2054 | 0.0171 |
| 18 | 18.12.84 - 17.01.85 | 1.1500 | 0.0072 | 1.2006 | 0.0210 | 1.2080 | 0.0313 | 1.2124 | 0.0171 |
| 19 | 19.12.84 - 18.01.85 | 1.1403 | 0.0077 | 1.1724 | 0.0217 | 1.1965 | 0.0272 | 1.2056 | 0.0149 |
| 20 | 20.12.84 - 19.01.85 | 1.1333 | 0.0067 | 1.1603 | 0.0183 | 1.2119 | 0.0294 | 1.1941 | 0.0159 |
| 21 | 21.12.84 - 20.01.85 | 1.1288 | 0.0053 | 1.1389 | 0.0145 | 1.1678 | 0.0282 | 1.1818 | 0.0152 |
| 22 | 22.12.84 - 21.01.85 | 1.1244 | 0.0065 | 1.1194 | 0.0176 | 1.1512 | 0.0328 | 1.1750 | 0.0176 |
| 23 | 23.12.84 - 22.01.85 | 1.1160 | 0.0080 | 1.0842 | 0.0212 | 1.1394 | 0.0299 | 1.1675 | 0.0161 |
| 24 | 24.12.84 - 23.01.85 | 1.1049 | 0.0082 | 1.0449 | 0.0214 | 1.1261 | 0.0241 | 1.1591 | 0.0128 |
| 25 | 25.12.84 - 24.01.85 | 1.0955 | 0.0070 | 1.0280 | 0.0183 | 1.1184 | 0.0222 | 1.1536 | 0.0118 |
| 26 | 26.12.84 - 25.01.85 | 1.0890 | 0.0055 | 1.0280 | 0.0145 | 1.0798 | 0.0214 | 1.1524 | 0.0116 |
| 27 | 27.12.84 - 26.01.85 | 1.0839 | 0.0046 | 1.0333 | 0.0120 | 1.1249 | 0.0222 | 1.1490 | 0.0120 |
| 28 | 28.12.84 - 27.01.85 | 1.0791 | 0.0043 | 1.1324 | 0.0219 | 1.1324 | 0.0219 | 1.1439 | 0.0120 |
| 29 | 29.12.84 - 28.01.85 | 1.0762 | 0.0041 | 1.0543 | 0.0096 | 1.1355 | 0.0214 | 1.1384 | 0.0120 |
| 30 | 30.12.84 - 29.01.85 | 1.0736 | 0.0041 | 1.0659 | 0.0106 | 1.1413 | 0.0205 | 1.1302 | 0.0113 |
| 31 | 31.12.84 - 30.01.85 | 1.0724 | 0.0041 | 1.0692 | 0.0104 | 1.1432 | 0.0205 | 1.1244 | 0.0116 |
| 32 | 01.01.85 - 31.01.85 | 1.0695 | 0.0048 | 1.0753 | 0.0123 | 1.1389 | 0.0219 | 1.1198 | 0.0123 |
| 33 | 02.01.85 - 01.02.85 | 1.0654 | 0.0060 | 1.0830 | 0.0147 | 1.1297 | 0.0275 | 1.1160 | 0.0154 |
| 34 | 03.01.85 - 02.02.85 | 1.0608 | 0.0065 | 1.0784 | 0.0159 | 1.1215 | 0.0294 | 1.1075 | 0.0166 |
| 35 | 04.01.85 - 03.02.85 | 1.0533 | 0.0075 | 1.0661 | 0.0186 | 1.1034 | 0.0316 | 1.0967 | 0.0178 |
| 36 | 05.01.85 - 04.02.85 | 1.0481 | 0.0077 | 1.0490 | 0.0183 | 1.0755 | 0.0311 | 1.0825 | 0.0178 |
| 37 | 06.01.85 - 05.02.85 | 1.0389 | 0.0067 | 1.0297 | 0.0161 | 1.0620 | 0.0263 | 1.0745 | 0.0149 |
| 38 | 07.01.85 - 06.02.85 | 1.0340 | 0.0060 | 1.0172 | 0.0140 | 1.0461 | 0.0205 | 1.0632 | 0.0118 |
| 39 | 08.01.85 - 07.02.85 | 1.0290 | 0.0041 | 1.0071 | 0.0094 | 1.0381 | 0.0166 | 1.0555 | 0.0096 |
| 40 | 09.01.85 - 08.02.85 | 1.0290 | 0.0039 | 1.0078 | 0.0089 | 1.0444 | 0.0186 | 1.0528 | 0.0108 |
| 41 | 10.01.85 - 09.02.85 | 1.0275 | 0.0036 | 1.0121 | 0.0082 | 1.0432 | 0.0171 | 1.0490 | 0.0099 |
| 42 | 11.01.85 - 10.02.85 | 1.0287 | 0.0036 | 1.0092 | 0.0082 | 1.0459 | 0.0125 | 1.0444 | 0.0075 |
| 43 | 12.01.85 - 11.02.85 | 1.0299 | 0.0039 | 1.0054 | 0.0084 | 1.0512 | 0.0092 | 1.0381 | 0.0055 |
| 44 | 13.01.85 - 12.02.85 | 1.0328 | 0.0034 | 1.0001 | 0.0075 | 1.0528 | 0.0116 | 1.0348 | 0.0070 |
| 45 | 14.01.85 - 13.02.85 | 1.0326 | 0.0034 | 1.0015 | 0.0070 | 1.0516 | 0.0135 | 1.0328 | 0.0082 |
| 46 | 15.01.85 - 14.02.85 | 1.0319 | 0.0034 | 1.0020 | 0.0070 | 1.0526 | 0.0157 | 1.0278 | 0.0094 |
| 47 | 16.01.85 - 15.02.85 | 1.0324 | 0.0034 | 1.0013 | 0.0070 | 1.0446 | 0.0169 | 1.0256 | 0.0104 |

Quadro 4.3.3 Fatores gravimétricos da ondas M_2 , S_2 , O_1 , K_1 e seus respectivos desvios padrões - análise Mensal com "shifting" diário

Fator Gravimetrico da Onda M2

analise mensal com shifting diario

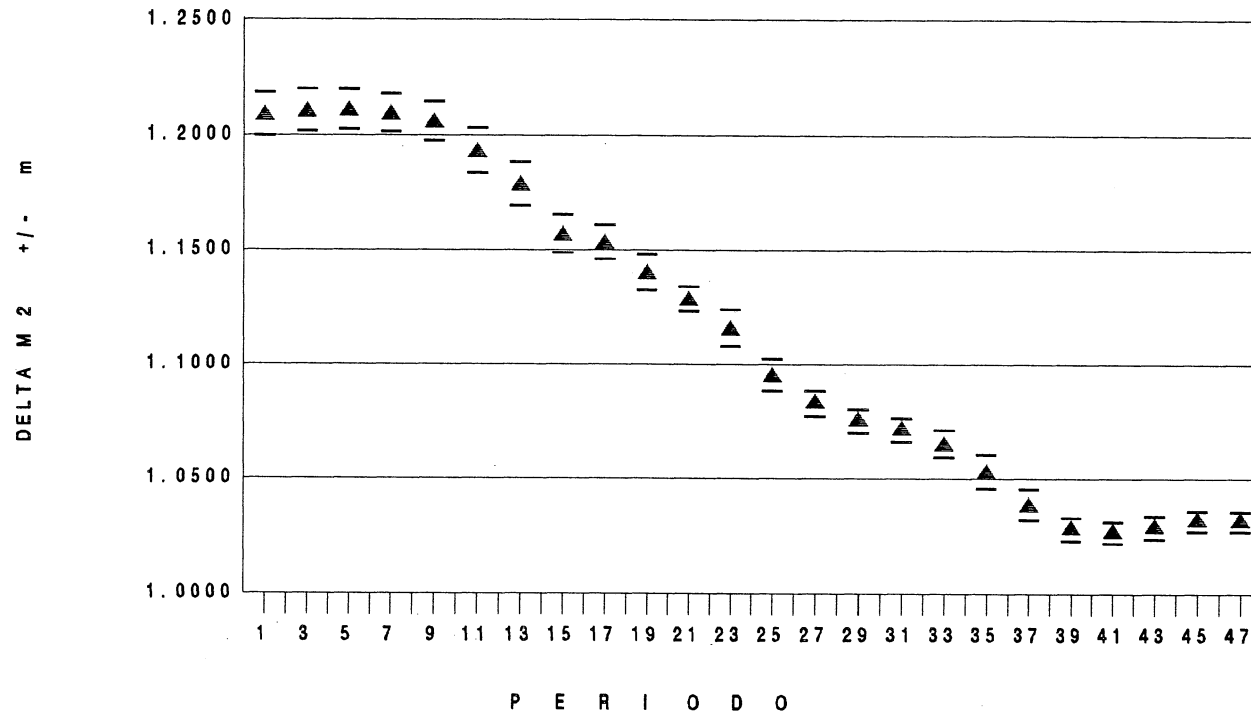


Fig.4.3.4 Fator gravimétrico de $M_2 \pm m$ = erro médio quadrático análise mensal com "shifting" diário

4.3.2 Calibração da 2ª série de observações - janeiro 88 à maio 89

Os dados que permitiriam a determinação do fator de calibração da 2ª série de observações não apresentaram, por razões técnicas, valores confiáveis; assim sendo, a primeira série foi usada para a sua avaliação. Para isto, foi tomado a fator gravimétrico da onda M_2 das duas série como parâmetro de ajuste. Adotou-se um valor FC_A arbitrário como fator de calibração da 2ª série. Após a análise (processamento) obteve-se o valor para o fator gravimétrico da onda M_2 .

A análise anual dos dados, já selecionados da 1ª série (como veremos no próximo capítulo), forneceu o fator gravimétrico $\delta_{M_2}^1$. Então o fator gravimétrico real da 2ª série FC_R em função de $\delta_{M_2}^1$, foi encontrado como sendo

$$FC_R = FC_A \cdot \frac{\delta_{M_2}^1}{\delta_{M_2}^2} \quad (4.3.1)$$

Os valores numéricos dos parâmetros acima serão vistos no capítulo V.

4.3.3 Investigações sobre a mudança brusca no fator de calibração da 2ª série de observações

Da mesma forma que ocorreu com as observações da 1ª série, verificou-se uma mudança no fator de calibração da 2ª série, correspondente a um período de 17 meses de observações; de janeiro de 1988 à maio de 1989.

Procedimento análogo ao estabelecido no tópico 4.3.1 foi realizado com a 2ª série. As análises trimestrais mostraram a existência da mudança no fator de calibração no primeiro trimestre de 1989, como podemos observar nos quadros 4.3.4a,b e nas figuras 4.3.5a,b,c,d através da variação dos fatores gravimétricos das ondas M_2 , S_2 , O_1 e K_1 .

| ANÁLISE TRIMESTRAL - 2ª SÉRIE | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FATORES GRAVIMÉTRICOS DAS ONDAS M_2 , S_2 , O_1 , K_1 E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÕES | | | | | | | | |
| TRIMESTRE | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
| JAN-MAR88 | 1.1258 | 0.0067 | 1.1366 | 0.0114 | 1.1167 | 0.0298 | 1.1534 | 0.0205 |
| ABR-JUN | 1.1760 | 0.0043 | 1.1750 | 0.0090 | 1.1620 | 0.0208 | 1.1432 | 0.0132 |
| JUL-SET | 1.1724 | 0.0051 | 1.1927 | 0.0092 | 1.1388 | 0.0349 | 1.0922 | 0.0249 |
| OUT-DEZ | 1.1808 | 0.0053 | 1.1685 | 0.0108 | 1.1678 | 0.0263 | 1.1678 | 0.0160 |
| JAN-MAR89 | 1.1220 | 0.0066 | 1.0911 | 0.0112 | 1.1421 | 0.0258 | 1.1333 | 0.0184 |
| ABR-MAI | 1.0754 | 0.0040 | 1.0700 | 0.0074 | 1.0564 | 0.0195 | 0.9936 | 0.0138 |

Quadro 4.3.4a Fatores gravimétricos das ondas M_2 , S_2 , O_1 , K_1 e seus respectivos desvios padrões - 2ª série

| ANÁLISE TRIMESTRAL - 1983/1985 | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DIFERENÇA DE FASE E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÕES DAS ONDAS M_2 , S_2 , O_1 , K_1 | | | | | | | | |
| TRIMESTRE | κM_2 | σM_2 | κS_2 | σS_2 | κO_1 | σO_1 | κK_1 | σK_1 |
| MAR-JUN 83 | | 0.898 | -1.692 | 1.569 | -5.762 | 5.412 | -14.132 | 3.684 |
| JUL-SET | | 0.763 | 0.881 | 1.569 | 8.208 | 31.782 | -5.207 | 23.944 |
| OUT-DEZ | | 0.384 | 2.413 | 0.741 | 4.941 | 2.407 | -1.290 | 1.541 |
| JAN-MAR84 | | 0.239 | 2.013 | 0.438 | -0.783 | 1.558 | -5.186 | 1.052 |
| ABR-JUN | | 0.498 | 0.626 | 1.037 | 3.321 | 2.581 | 1.153 | 2.105 |
| JUL-SET | | 0.459 | -1.930 | 0.932 | -0.242 | 2.563 | 9.283 | 1.828 |
| OUT-DEZ | | 0.329 | -1.386 | 0.645 | -0.918 | 1.997 | 3.809 | 1.165 |
| JAN-ABR85 | | 0.226 | 2.008 | 0.475 | -1.954 | 1.228 | -4.345 | 0.892 |

Quadro 4.3.4b Diferença de fase das ondas M_2 , S_2 , O_1 , K_1 e seus respectivos desvios padrões - série 1 (graus)

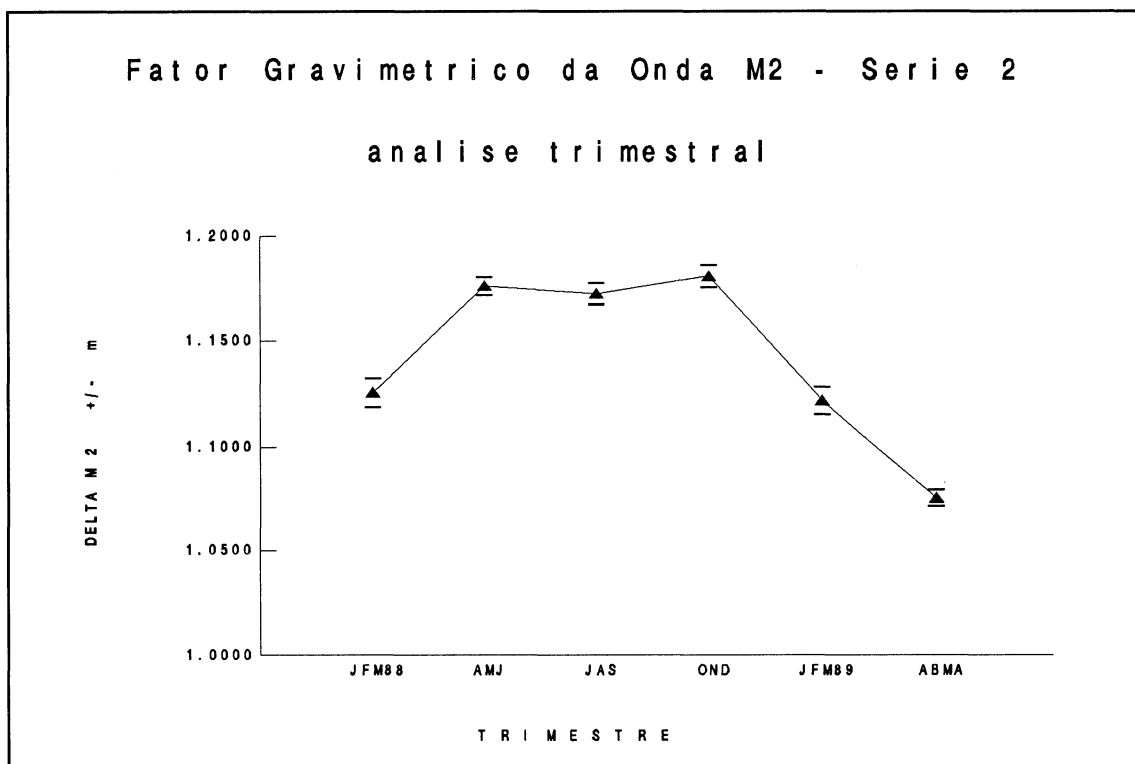


Fig.4.3.5a Fator gravimétrico de $M_2 \pm m$ = erro médio quadrático - 2ª série

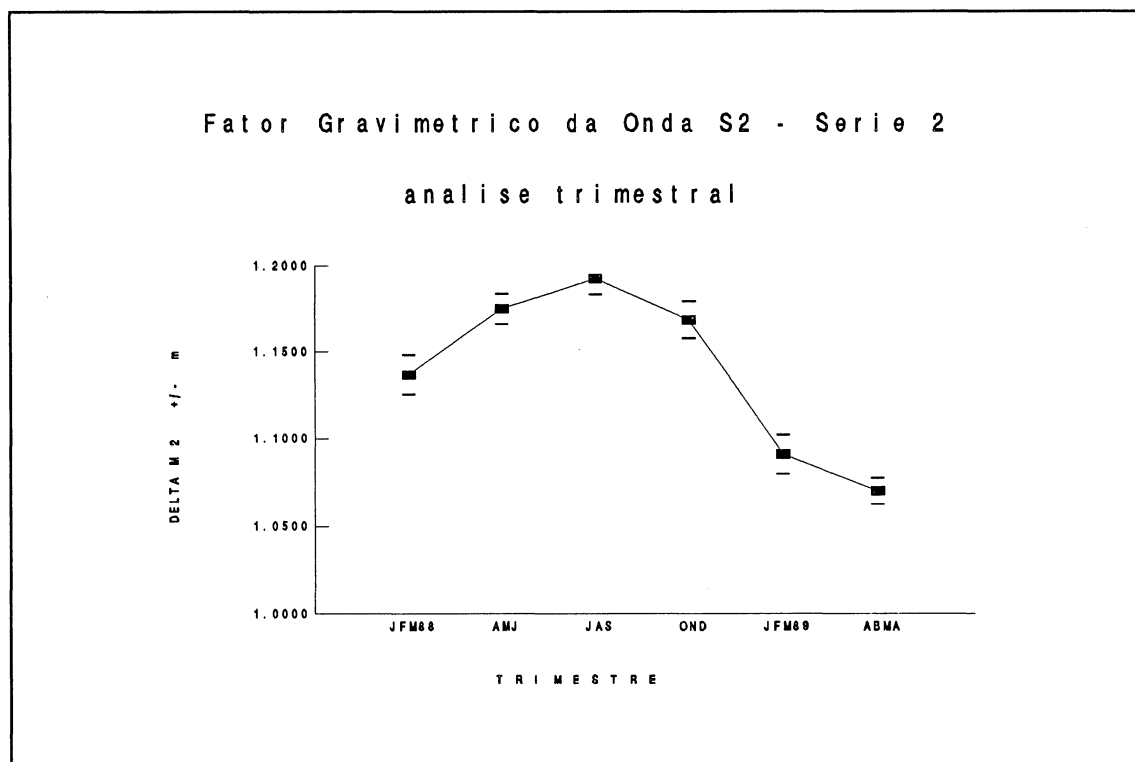


Fig.4.3.5b Fator gravimétrico de $S_2 \pm m$ = erro médio quadrático - 2ª série

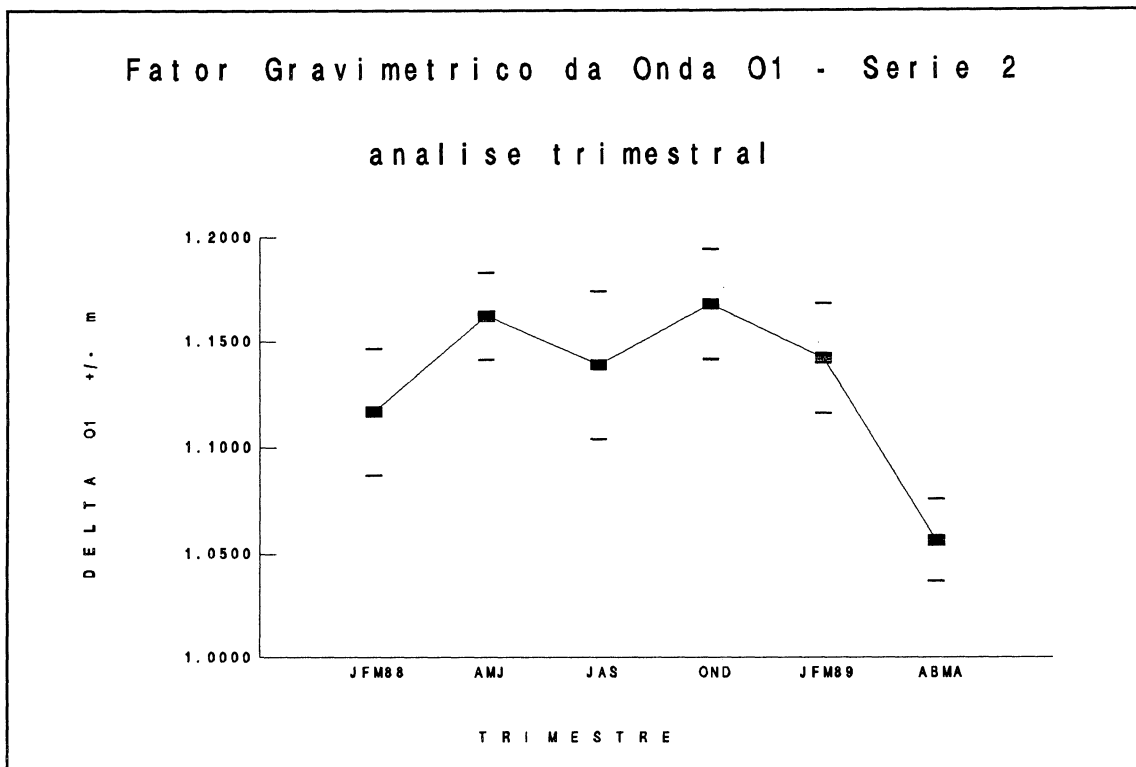


Fig.4.3.5c Fator gravimétrico de $O_1 \pm m$ = erro médio quadrático - 2ª série

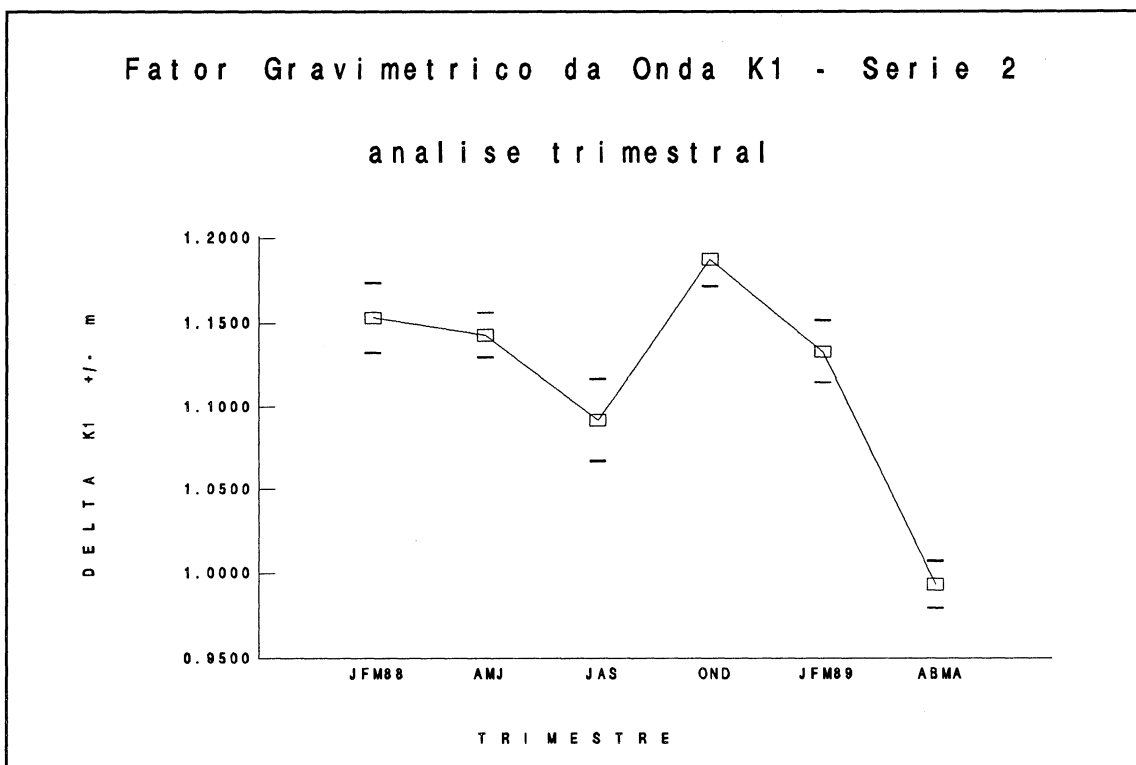


Fig.4.3.5d Fator gravimétrico de $K_1 \pm m$ = erro médio quadrático - 2ª série

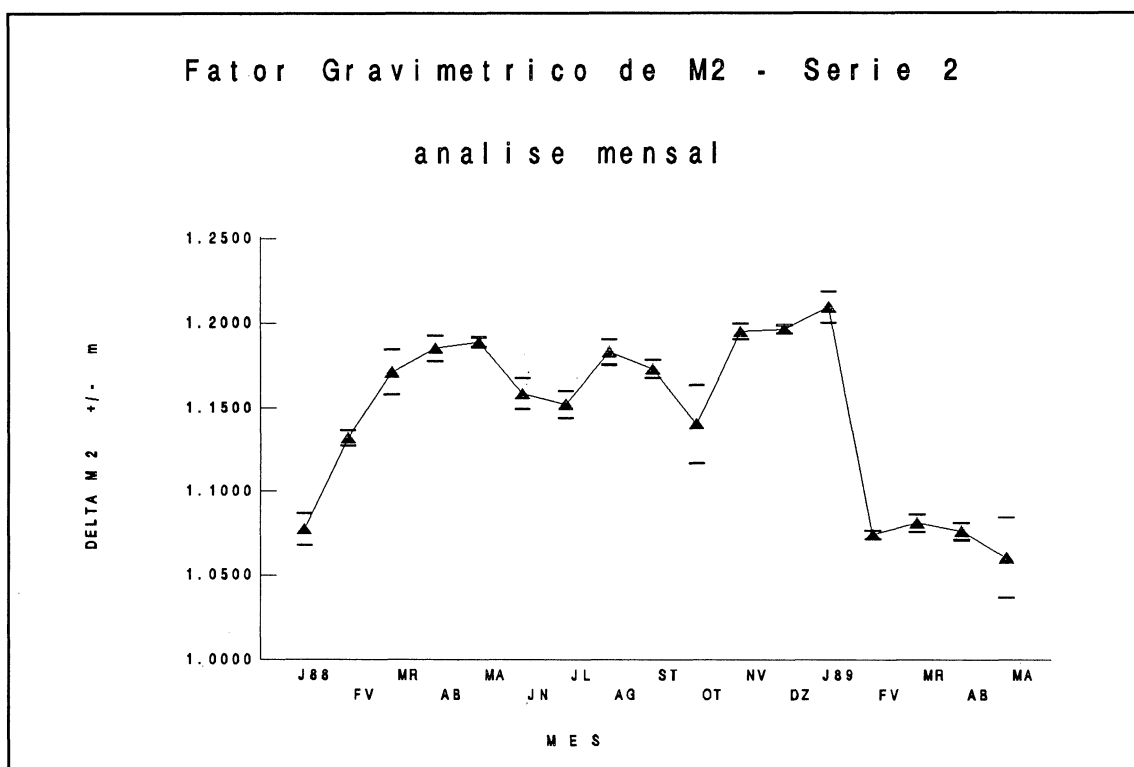
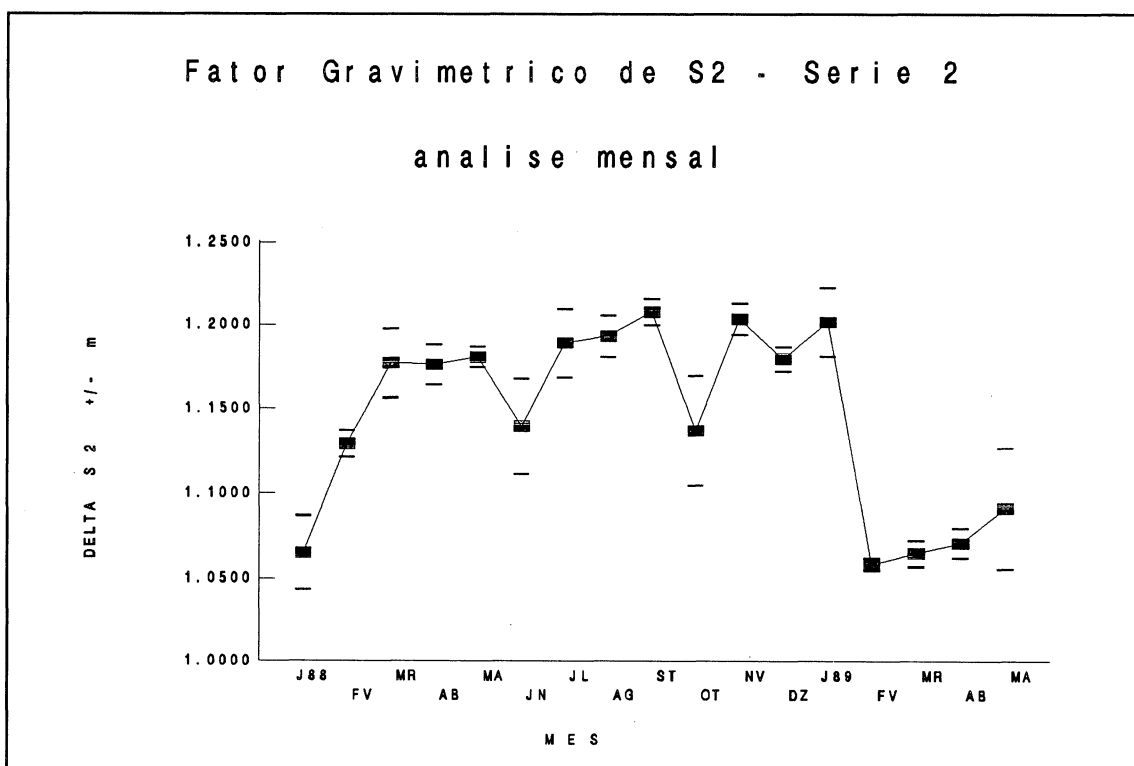
As análises mensais mostram claramente, através do Quadros 4.3.5a,b e das Fig. 4-3.6a,b,c,d que a mudança ocorreu entre janeiro e fevereiro de 1989.

Antes de se efetuar o processamento das análises mensais com "shifting" diário, foi verificado nos registros que a curva de maré no papel registrador apresentava perturbações estranhas entre os dias 30.01.89 e 02.02.89. Assim sendo, foram processados os períodos 03.12.88 a 31.12.88 e 03.02.89 à 04.03.89, totalizando 60 análises mensais com "shifting" diário. Podemos verificar no Quadro 4.3.6 e na Fig. 4.3.7 que a alteração no fator gravimétrico da onda M_2 ocorreu entre as análises nº 29 ($\delta M_2 = 1.2096$) e nº 30 ($\delta M_2 = 1.0749$) correspondentes aos dias 30.01 e 03.02 de 1989. As ordenadas horárias compreendidas entre este dias foram eliminadas das análise posteriores.

No próximo capítulo veremos como foram selecionados os dados para o processamento da análises finais, assim como a normalização das duas séries de observações.

| ANÁLISE MENSAL - 1988/1989 | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FATORES GRAVIMÉTRICOS DAS ONDAS M_2 , S_2 , O_1 , K_1 E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÕES | | | | | | | | |
| MES | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
| JAN88 | 1.0774 | 0.0095 | 1.0653 | 0.0218 | 1.1509 | 0.0230 | 1.1530 | 0.0133 |
| FEV | 1.1322 | 0.0047 | 1.1293 | 0.0077 | 1.1337 | 0.0110 | 1.1268 | 0.0080 |
| MAR | 1.1713 | 0.0131 | 1.1771 | 0.0205 | 1.1767 | 0.0392 | 1.2302 | 0.0365 |
| ABR | 1.1853 | 0.0075 | 1.1762 | 0.0118 | 1.1380 | 0.0191 | 1.1713 | 0.0156 |
| MAI | 1.1889 | 0.0028 | 1.1808 | 0.0062 | 1.2109 | 0.0062 | 1.1369 | 0.0038 |
| JUN | 1.1585 | 0.0092 | 1.1398 | 0.0281 | 1.1500 | 0.0437 | 1.1422 | 0.0255 |
| JUL | 1.1522 | 0.0080 | 1.1891 | 0.0205 | 1.1630 | 0.0173 | 1.1351 | 0.0104 |
| AGO | 1.1830 | 0.0073 | 1.1933 | 0.0124 | 1.1562 | 0.0149 | 1.0457 | 0.0110 |
| SET | 1.1731 | 0.0054 | 1.2079 | 0.0079 | 0.9534 | 0.0437 | 0.9592 | 0.0408 |
| OUT | 1.1404 | 0.0235 | 1.1371 | 0.0324 | 1.0470 | 0.1147 | 1.2191 | 0.0936 |
| NOV | 1.1949 | 0.0045 | 1.2037 | 0.0096 | 1.1677 | 0.0204 | 1.1794 | 0.0128 |
| DEZ | 1.1962 | 0.0025 | 1.1798 | 0.0073 | 1.1920 | 0.0104 | 1.2027 | 0.0056 |
| JAN89 | 1.2092 | 0.0092 | 1.2020 | 0.0206 | 1.2558 | 0.0230 | 1.2153 | 0.0133 |
| FEV | 1.0740 | 0.0024 | 1.0588 | 0.0039 | 1.0938 | 0.0103 | 1.0608 | 0.0076 |
| MAR | 1.0809 | 0.0051 | 1.0652 | 0.0076 | 1.0895 | 0.0195 | 1.0429 | 0.0182 |
| ABR | 1.0761 | 0.0051 | 1.0712 | 0.0088 | 1.0617 | 0.0180 | 0.9751 | 0.0140 |
| MAI | 1.0606 | 0.0238 | 1.0916 | 0.0354 | 1.0625 | 0.0268 | 0.9364 | 0.0141 |

Quadro 4.3.5a Fatores gravimétricos das ondas M_2 , S_2 , O_1 , K_1 e seus respectivos desvios padrões - 2ª série

Fig.4.3.6a Fator gravimétrico de M₂ ± m = erro médio quadrático - 2ª sérieFig.4.3.6b Fator gravimétrico de S₂ ± m = erro médio quadrático - 2ª série

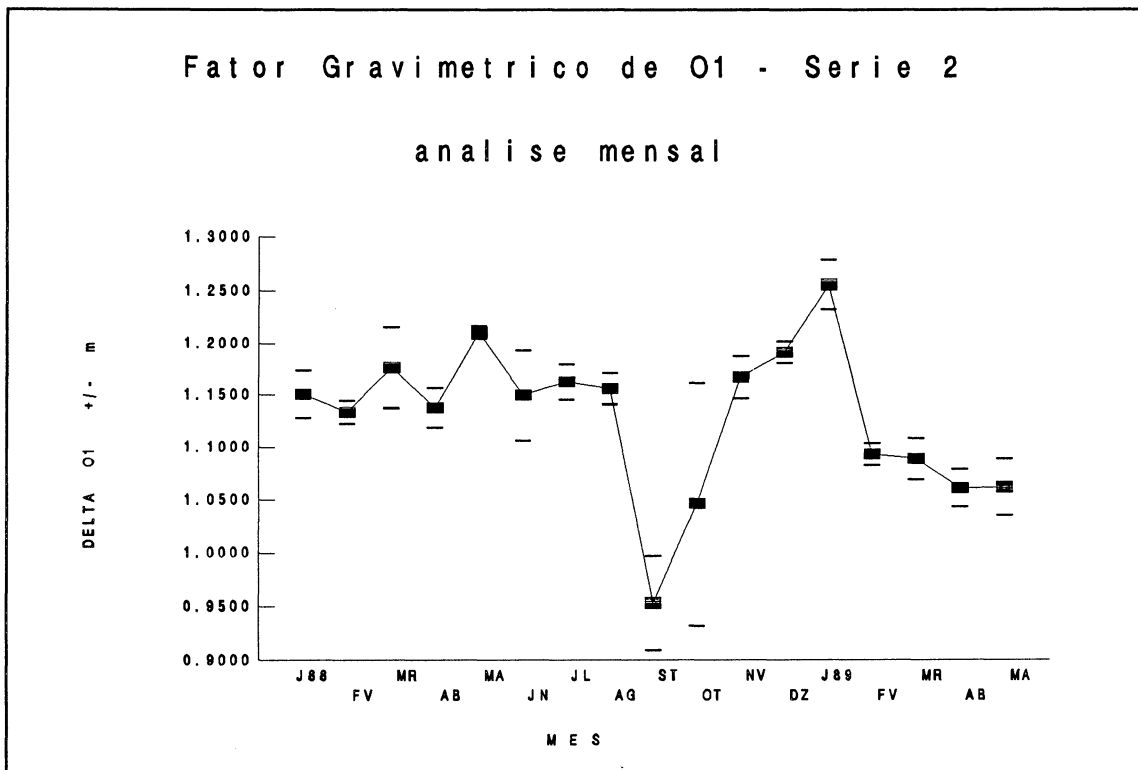


Fig.4.3.6c Fator gravimétrico de $O_1 \pm m$ = erro médio quadrático - 2ª série

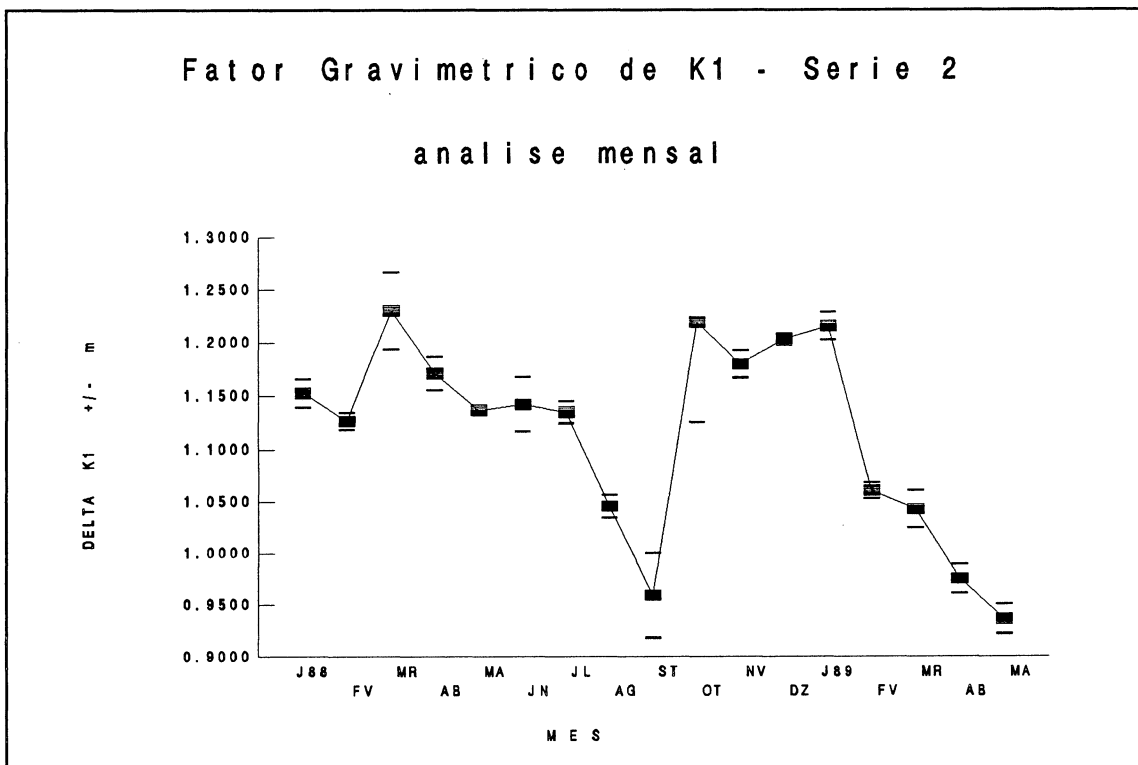


Fig.4.3.6d Fator gravimétrico de $K_1 \pm m$ = erro médio quadrático - 2ª série

| ANÁLISE MENSAL COM "SHIFTING" DIÁRIO - 2ª SÉRIE | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FATORES GRAVIMÉTRICOS DAS ONDAS M_2 , S_2 , O_1 , K_1 E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÕES | | | | | | | | | |
| ANÁLISE | PERIODO | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
| 1 | 03.12 - 01.01 | 1.1948 | 0.0021 | 1.1855 | 0.0060 | 1.1985 | 0.0086 | 1.1990 | 0.0046 |
| 2 | 04.12 - 02.01 | 1.1949 | 0.0022 | 1.1862 | 0.0063 | 1.1955 | 0.0080 | 1.2008 | 0.0043 |
| 3 | 05.12 - 03.01 | 1.1946 | 0.0022 | 1.1864 | 0.0063 | 1.1950 | 0.0080 | 1.2008 | 0.0043 |
| 4 | 06.12 - 04.01 | 1.1960 | 0.0022 | 1.1883 | 0.0063 | 1.1830 | 0.0119 | 1.2001 | 0.0064 |
| 5 | 07.12 - 05.01 | 1.1968 | 0.0028 | 1.1897 | 0.0080 | 1.1907 | 0.0084 | 1.2004 | 0.0045 |
| 6 | 08.12 - 06.01 | 1.2037 | 0.0061 | 1.2111 | 0.0175 | 1.2164 | 0.0296 | 1.2100 | 0.0160 |
| 7 | 09.12 - 07.01 | 1.2040 | 0.0061 | 1.2131 | 0.0177 | 1.2237 | 0.0314 | 1.2129 | 0.0169 |
| 8 | 10.12 - 08.01 | 1.2042 | 0.0063 | 1.2120 | 0.0183 | 1.2206 | 0.0267 | 1.2100 | 0.0144 |
| 9 | 11.12 - 09.01 | 1.2053 | 0.0065 | 1.2169 | 0.0187 | 1.2226 | 0.0210 | 1.2152 | 0.0114 |
| 10 | 12.12 - 10.01 | 1.2064 | 0.0065 | 1.2226 | 0.0187 | 1.2209 | 0.0216 | 1.2186 | 0.0117 |
| 11 | 13.12 - 11.01 | 1.2070 | 0.0067 | 1.2250 | 0.0191 | 1.2205 | 0.0212 | 1.2173 | 0.0116 |
| 12 | 14.12 - 12.01 | 1.2077 | 0.0069 | 1.2261 | 0.0195 | 1.2195 | 0.0205 | 1.2163 | 0.0113 |
| 13 | 15.12 - 13.01 | 1.2080 | 0.0070 | 1.2260 | 0.0195 | 1.2223 | 0.0219 | 1.2148 | 0.0121 |
| 14 | 16.12 - 14.01 | 1.2093 | 0.0069 | 1.2206 | 0.0192 | 1.2317 | 0.0208 | 1.2101 | 0.0115 |
| 15 | 17.12 - 15.01 | 1.2095 | 0.0069 | 1.2195 | 0.0188 | 1.2342 | 0.0196 | 1.2077 | 0.0108 |
| 16 | 18.12 - 16.01 | 1.2102 | 0.0069 | 1.2181 | 0.0185 | 1.2337 | 0.0207 | 1.2040 | 0.0113 |
| 17 | 19.12 - 17.01 | 1.2119 | 0.0070 | 1.2139 | 0.0185 | 1.2311 | 0.0221 | 1.2028 | 0.0122 |
| 18 | 20.12 - 18.01 | 1.2131 | 0.0071 | 1.2094 | 0.0184 | 1.2323 | 0.0222 | 1.2014 | 0.0122 |
| 19 | 21.12 - 19.01 | 1.2103 | 0.0080 | 1.2110 | 0.0205 | 1.2460 | 0.0289 | 1.2066 | 0.0160 |
| 20 | 22.12 - 20.01 | 1.2101 | 0.0085 | 1.2002 | 0.0215 | 1.2470 | 0.0347 | 1.2088 | 0.0193 |
| 21 | 23.12 - 21.01 | 1.2106 | 0.0086 | 1.2031 | 0.0213 | 1.2436 | 0.0336 | 1.2099 | 0.0187 |
| 22 | 24.12 - 22.01 | 1.2099 | 0.0086 | 1.2004 | 0.0210 | 1.2413 | 0.0319 | 1.2092 | 0.0178 |
| 23 | 25.12 - 23.01 | 1.2107 | 0.0089 | 1.2024 | 0.0215 | 1.2437 | 0.0294 | 1.2124 | 0.0165 |
| 24 | 26.12 - 24.01 | 1.2090 | 0.0088 | 1.1973 | 0.0210 | 1.2558 | 0.0283 | 1.2136 | 0.0160 |
| 25 | 27.12 - 25.01 | 1.2093 | 0.0088 | 1.2017 | 0.0208 | 1.2530 | 0.0269 | 1.2166 | 0.0153 |
| 26 | 28.12 - 26.01 | 1.2090 | 0.0089 | 1.2011 | 0.0207 | 1.2500 | 0.0256 | 1.2190 | 0.0146 |
| 27 | 29.12 - 27.01 | 1.2088 | 0.0089 | 1.2024 | 0.0205 | 1.2484 | 0.0259 | 1.2201 | 0.0149 |
| 28 | 30.12 - 28.01 | 1.2088 | 0.0090 | 1.2026 | 0.0203 | 1.2484 | 0.0260 | 1.2198 | 0.0150 |
| 29 | 31.12 - 29.01 | 1.2096 | 0.0089 | 1.2011 | 0.0199 | 1.2551 | 0.0270 | 1.2159 | 0.0157 |
| 30 | 03.02 - 04.03 | 1.0749 | 0.0019 | 1.0659 | 0.0030 | 1.0782 | 0.0126 | 1.0514 | 0.0096 |
| 31 | 04.02 - 05.03 | 1.0755 | 0.0022 | 1.0670 | 0.0035 | 1.0840 | 0.0099 | 1.0505 | 0.0076 |
| 32 ^{continua} | 05.02 - 06.03 | 1.0758 | 0.0019 | 1.0669 | 0.0030 | 1.0846 | 0.0075 | 1.0503 | 0.0058 |

| ANÁLISE | PERIODO continuação | δM_2 | σM_2 | δS_2 | σS_2 | δO_1 | σO_1 | δK_1 | σK_1 |
|---------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 33 | 06.02 - 07.03 | 1.0768 | 0.0019 | 1.0679 | 0.0030 | 1.0845 | 0.0071 | 1.0505 | 0.0056 |
| 34 | 07.02 - 08.03 | 1.0778 | 0.0019 | 1.0692 | 0.0030 | 1.0842 | 0.0076 | 1.0494 | 0.0061 |
| 35 | 08.02 - 09.03 | 1.0792 | 0.0017 | 1.0711 | 0.0026 | 1.0846 | 0.0078 | 1.0486 | 0.0063 |
| 36 | 09.02 - 10.03 | 1.0835 | 0.0037 | 1.0736 | 0.0058 | 1.0674 | 0.0158 | 1.0495 | 0.0129 |
| 37 | 10.02 - 11.03 | 1.0862 | 0.0041 | 1.0706 | 0.0063 | 1.0632 | 0.0209 | 1.0455 | 0.0172 |
| 38 | 11.02 - 12.03 | 1.0832 | 0.0041 | 1.0705 | 0.0062 | 1.0629 | 0.0188 | 1.0493 | 0.0555 |
| 39 | 12.02 - 13.03 | 1.0833 | 0.0041 | 1.0707 | 0.0062 | 1.0608 | 0.0152 | 1.0512 | 0.0127 |
| 40 | 13.02 - 14.03 | 1.0834 | 0.0042 | 1.0710 | 0.0064 | 1.0579 | 0.0142 | 1.0517 | 0.0120 |
| 41 | 14.02 - 15.03 | 1.0834 | 0.0042 | 1.0711 | 0.0063 | 1.0558 | 0.0156 | 1.0517 | 0.0133 |
| 42 | 15.02 - 16.03 | 1.0840 | 0.0041 | 1.0700 | 0.0063 | 1.0566 | 0.0158 | 1.0525 | 0.0136 |
| 43 | 16.02 - 17.03 | 1.0842 | 0.0041 | 1.0691 | 0.0062 | 1.0589 | 0.0145 | 1.0545 | 0.0126 |
| 44 | 17.02 - 18.03 | 1.0841 | 0.0041 | 1.0683 | 0.0061 | 1.0615 | 0.0144 | 1.0561 | 0.0126 |
| 45 | 18.02 - 19.03 | 1.0837 | 0.0041 | 1.0674 | 0.0062 | 1.0616 | 0.0144 | 1.0562 | 0.0127 |
| 46 | 19.02 - 20.03 | 1.0830 | 0.0048 | 1.0680 | 0.0071 | 1.0629 | 0.0171 | 1.0510 | 0.0152 |
| 47 | 20.02 - 21.03 | 1.0810 | 0.0051 | 1.0649 | 0.0076 | 1.0753 | 0.0218 | 1.0435 | 0.0195 |
| 48 | 21.02 - 22.03 | 1.0811 | 0.0050 | 1.0651 | 0.0075 | 1.0790 | 0.0216 | 1.0433 | 0.0195 |
| 49 | 22.02 - 23.03 | 1.0820 | 0.0051 | 1.0661 | 0.0075 | 1.0777 | 0.0202 | 1.0453 | 0.0183 |
| 50 | 23.02 - 24.03 | 1.0816 | 0.0050 | 1.0650 | 0.0075 | 1.0819 | 0.0172 | 1.0429 | 0.0158 |
| 51 | 24.02 - 25.03 | 1.0811 | 0.0051 | 1.0646 | 0.0075 | 1.0830 | 0.0171 | 1.0399 | 0.0157 |
| 52 | 25.02 - 26.03 | 1.0805 | 0.0050 | 1.0646 | 0.0075 | 1.0849 | 0.0183 | 1.0388 | 0.0169 |
| 53 | 26.02 - 27.03 | 1.0807 | 0.0050 | 1.0645 | 0.0075 | 1.0837 | 0.0183 | 1.0401 | 0.0170 |
| 54 | 27.02 - 28.03 | 1.0808 | 0.0051 | 1.0650 | 0.0075 | 1.0845 | 0.0180 | 1.0421 | 0.0167 |
| 55 | 28.02 - 29.03 | 1.0809 | 0.0050 | 1.0655 | 0.0075 | 1.0877 | 0.0185 | 1.0433 | 0.0172 |
| 56 | 01.03 - 30.03 | 1.0809 | 0.0051 | 1.0652 | 0.0076 | 1.0895 | 0.0190 | 1.0429 | 0.0178 |
| 57 | 02.03 - 31.03 | 1.0811 | 0.0053 | 1.0653 | 0.0079 | 1.0883 | 0.0204 | 1.0423 | 0.0191 |
| 58 | 03.03 - 01.04 | 1.0812 | 0.0055 | 1.0648 | 0.0082 | 1.0903 | 0.0204 | 1.0444 | 0.0192 |
| 59 | 04.03 - 02.04 | 1.0837 | 0.0059 | 1.0660 | 0.0087 | 1.1003 | 0.0200 | 1.0499 | 0.0187 |
| 60 | 05.03 - 03.04 | 1.0864 | 0.0063 | 1.0639 | 0.0092 | 1.1004 | 0.0208 | 1.0475 | 0.0195 |

Quadro 4.3.6 Fatores gravimétricos de M_2 , S_2 , O_1 e K_1 e seus respectivos desvios padrões

análise mensal com "shifting" diário - 2ª série

FATOR GRAVIMETRICO DA ONDA M2 - SERIE 2

analise mensal com shifting diario

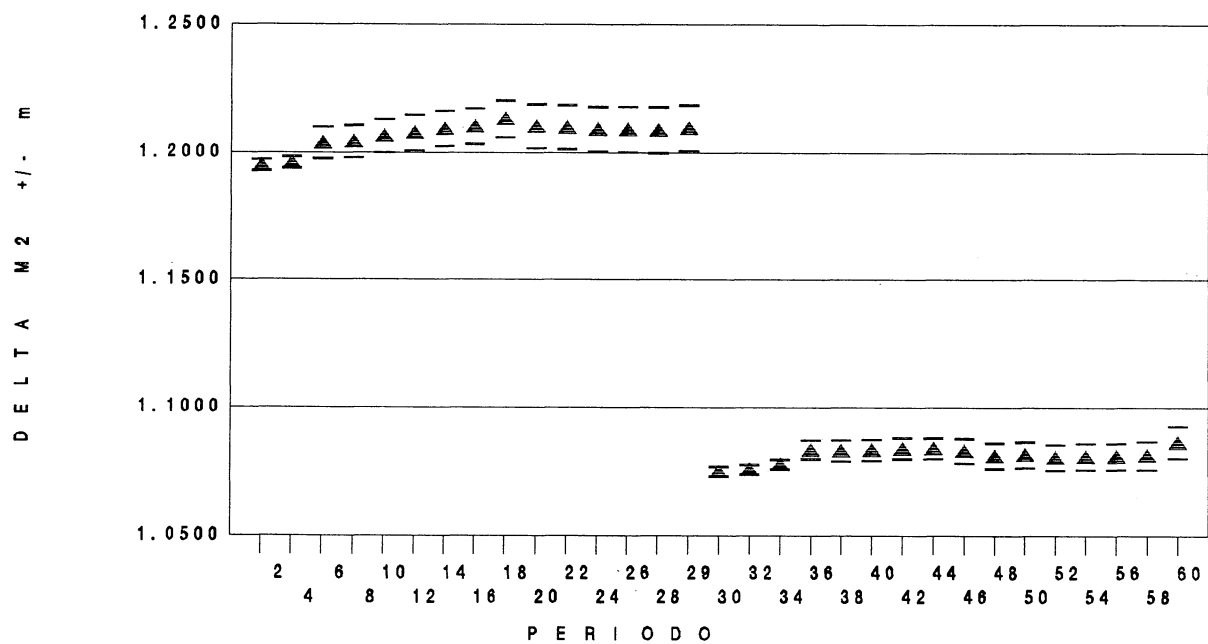


Fig.4.3.7 Fatores gravimétricos de $M_2 \pm m$ = erro médio quadrático análise mensal com "shifting" diário

CAPÍTULO V

SELEÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DAS DUAS SÉRIES

5.1 SELEÇÃO DOS DADOS

Como foi visto no capítulo III, o potencial de maré pode ser descrito como a soma de ondas vinculadas a fenômenos astronômicos. Tais ondas podem ser de caráter ter-diurno, semi-diurno, diurno e de longo período.

Os sinais de marés são acompanhados de ruídos advindos de perturbações de naturezas diversas (meteorológicas, vibrações microssísmicas, etc.) que devem ser eliminados ou minimizados.

As análises fornecem como produto final, entre outros:

1. As amplitudes e fases dos principais grupos de ondas e seus respectivos desvios padrões.
2. O fator gravimétrico e a diferença de fase das ondas mais importantes e os erros a eles associados.
3. Os resíduos e seus espectros.

Os desvios padrões dos agrupamentos de ondas (diurnas, semi-diurnas e ter-diurnas) determinam a qualidade das observações e da análise. Quanto maiores forem os desvios mais perturbadas são as observações.

Admitem-se como aceitáveis desvios padrões menores que 10, 5 e 2 microgals, respectivamente, para as ondas diurnas, semi-diurnas e ter-diurnas (19).

Quanto aos erros médios quadráticos associados aos fatores gravimétricos δ_{ij} e diferenças de fases α_{ij} , são aceitos erros de 2 a 5% e de 8 a 15%, respectivamente (19).

As ondas diurnas e semi-diurnas são afetadas, principalmente pelas variações da temperatura e pressão atmosférica (1, 13,10) tais variações, portanto devem ser consideradas na análise.

Até o momento foram feitas as pré-análises sem se preocupar com as fontes de erros acima citadas. A seleção dos dados foi efetuada tomando-se as variações na temperatura co-

mo a principal causa de perturbação nas observações.

Ao se observar a curva dos resíduos, pôde-se notar que os mesmos eram maiores quando, para o mesmo período de observação, a curva da temperatura apresentava variações mais intensas, (Figs. 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 para a 1ª série e 5.1.4, 5.1.5, para a 2ª série).

Assim, quando os resíduos apresentavam valores maiores que $10 \mu\text{Gal}$ e resultantes da variação da temperatura da sala do gravímetro, as observações deste período foram eliminadas da análise. Isto foi feito tendo em vista que a perturbação nas observações deveu-se à variação da temperatura e ainda devido a número abundante de ordenadas horárias (2 anos \approx 17 500 observações para a 1ª série e 1,4 anos \approx 12 500 observações para a 2ª série).

As Figs. 4.3.1c e 4.1.3d (Cap.IV) mostram uma grande variação nos fatores gravimétricos das ondas O_1 e K_1 no período de março a novembro de 1983. Este fato deve-se a perturbações externas (variações da temperatura) pois estas têm caráter diurno e, portanto, perturbando sensivelmente as ondas O_1 e K_1 .

Foi constatado nos registros diários que um aparelho de ar-condicionado estava em operação neste período. O mesmo fazia com que a temperatura da sala do gravímetro oscilasse mais acentuadamente do que quando sem a sua presença. Por esse motivo ele fora desligado em 28.09.83. Assim sendo, as observações deste período (março-setembro 83) foram eliminadas das análises posteriores.

Pode-se, também, notar na Fig. 5.1.6 que os desvios padrões das ondas diurnas entre março e setembro de 1983 apresentavam valores muito superiores a $10 \mu\text{Gal}$, não admissíveis à precisão da análise, reforçando a tese da eliminação destas observações. Portanto, o período de observações analisada foi de outubro de 1983 a abril de 1985.

A Fig. 5.1.7 mostra os desvios padrões muito grandes no trimestre janeiro-março de 1988. Ao se observar os registros diários, estes relatavam que nos meses de janeiro e fevereiro de 1988, houve problemas com o registrador da curva de maré com isto várias trocas de registradores foram efetuadas. Desta forma as observações obtidas não foram consideradas confiáveis e por isso os dados desta época foram eliminados. Para esta série, então, o período de observações analisadas ficou sendo de março de 1988 à maio de 1989.

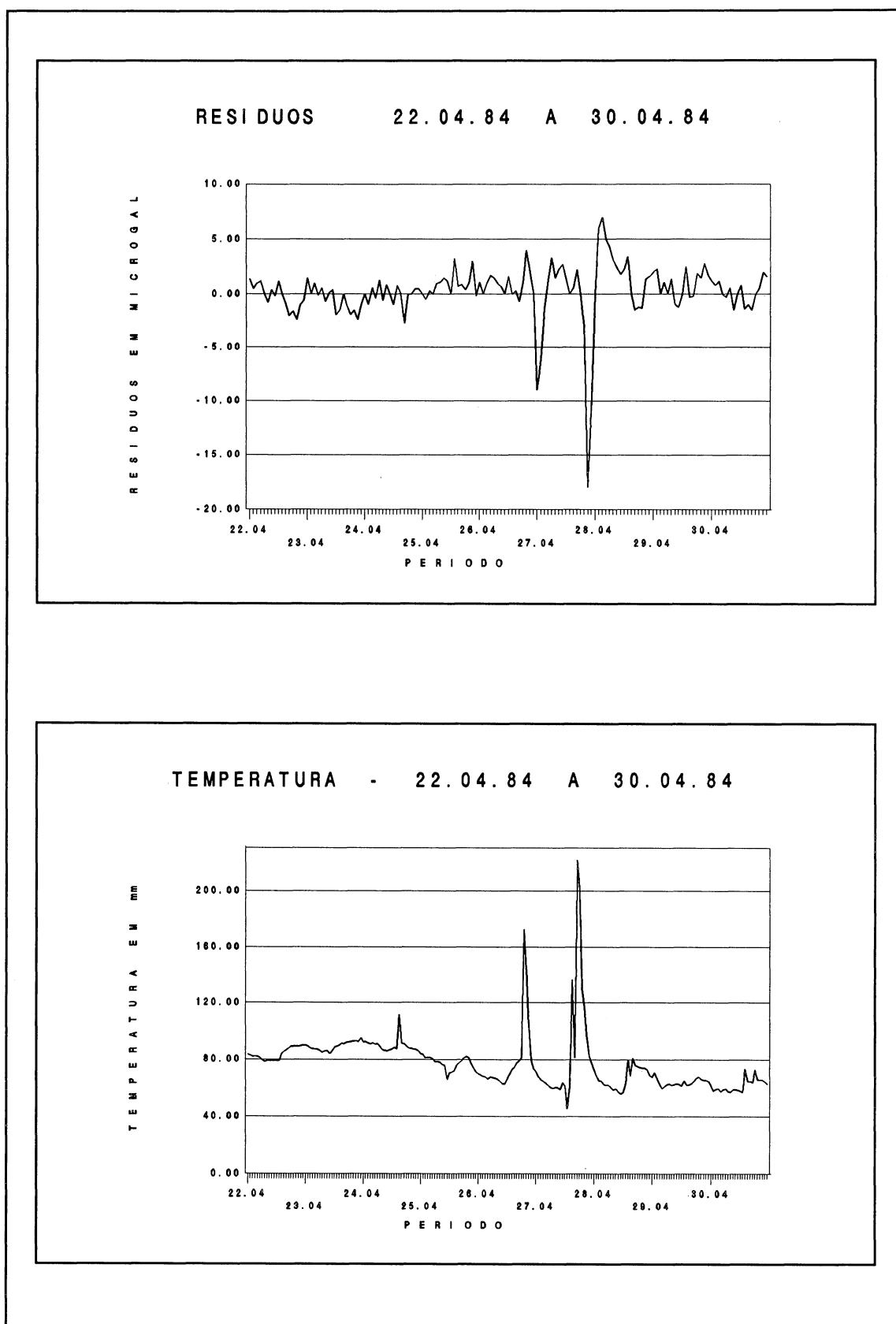


Fig.5.1.1 Curvas dos resíduos e da variação da temperatura na sala do gravímetro no período citado

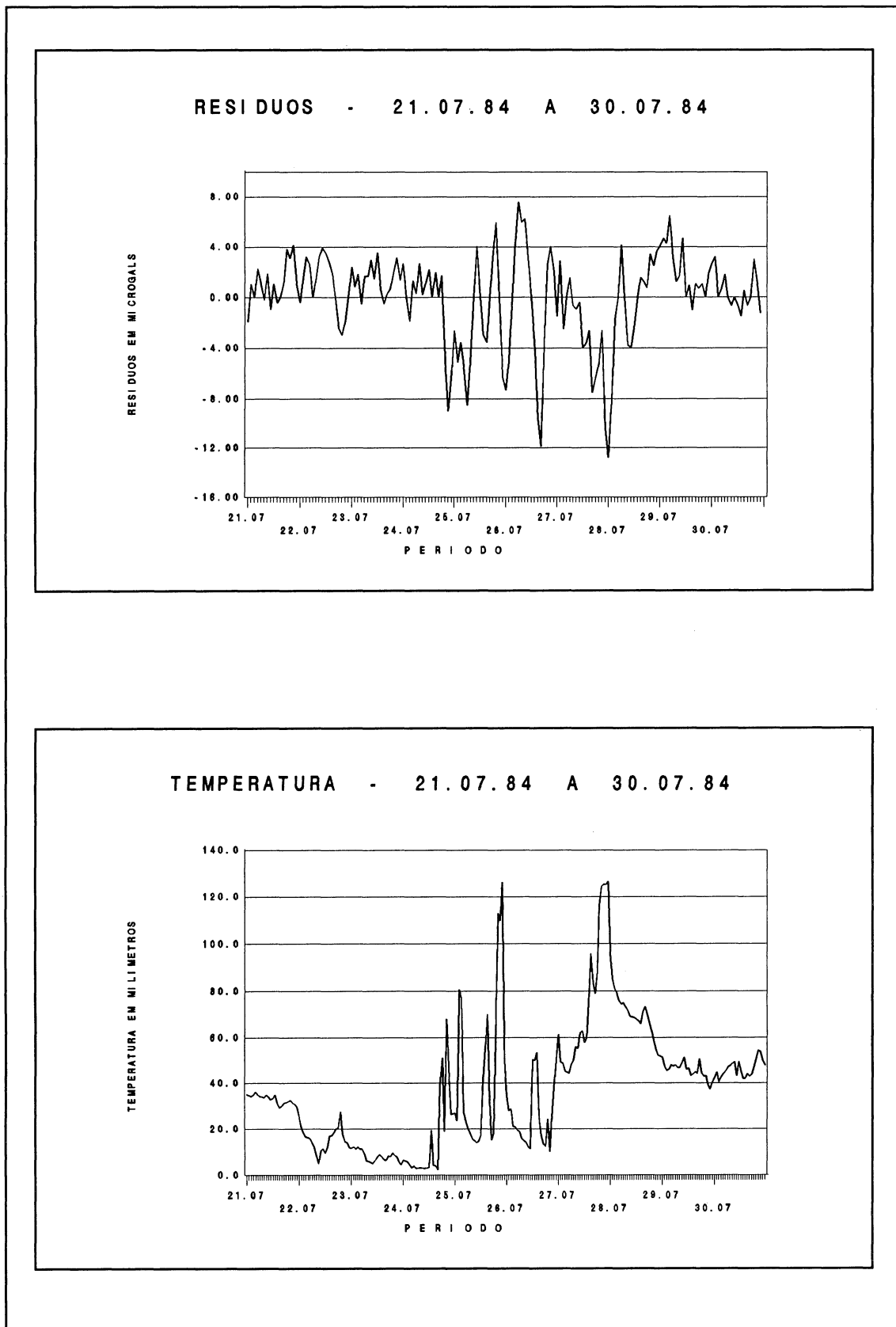


Fig.5.1.2 Curvas dos residuos e da variaçao da temperatura na sala do gravimetro no periodo citado

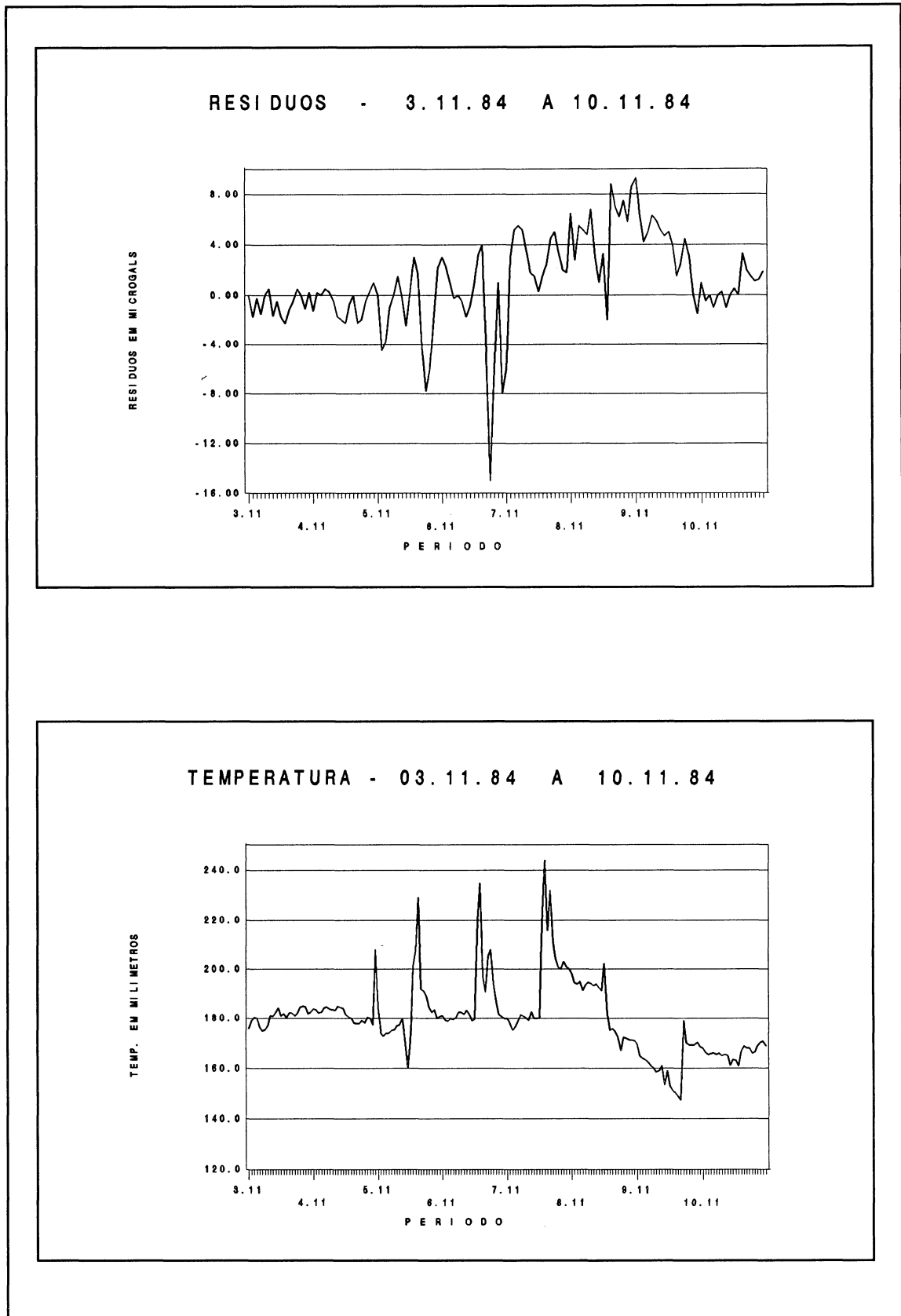


Fig.5.1.3 Curvas dos residuos e da variação da temperatura na sala do gravímetro no período citado

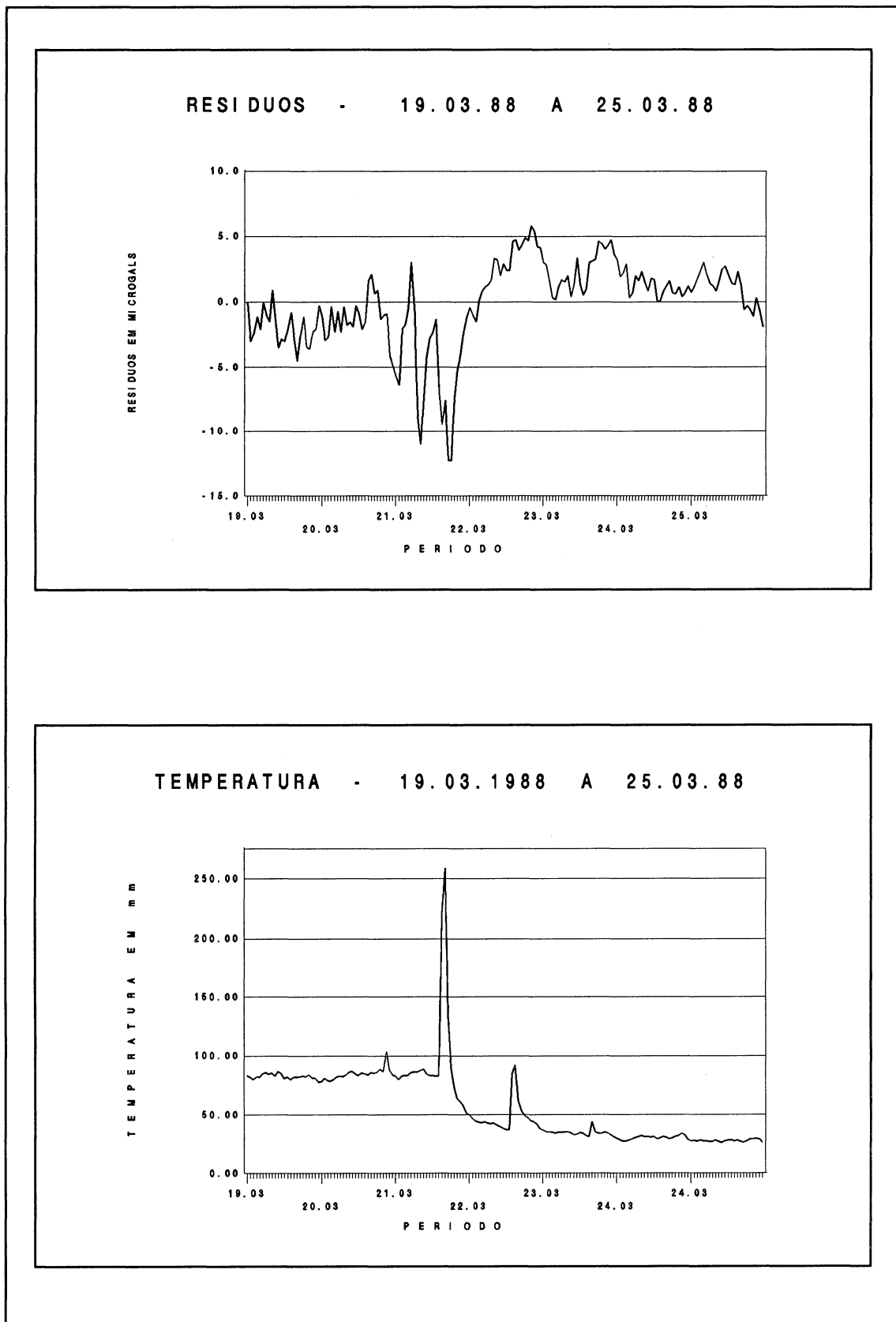


Fig.5.1.4 Curvas dos residuos e da variação da temperatura na sala do gravímetro no período citado

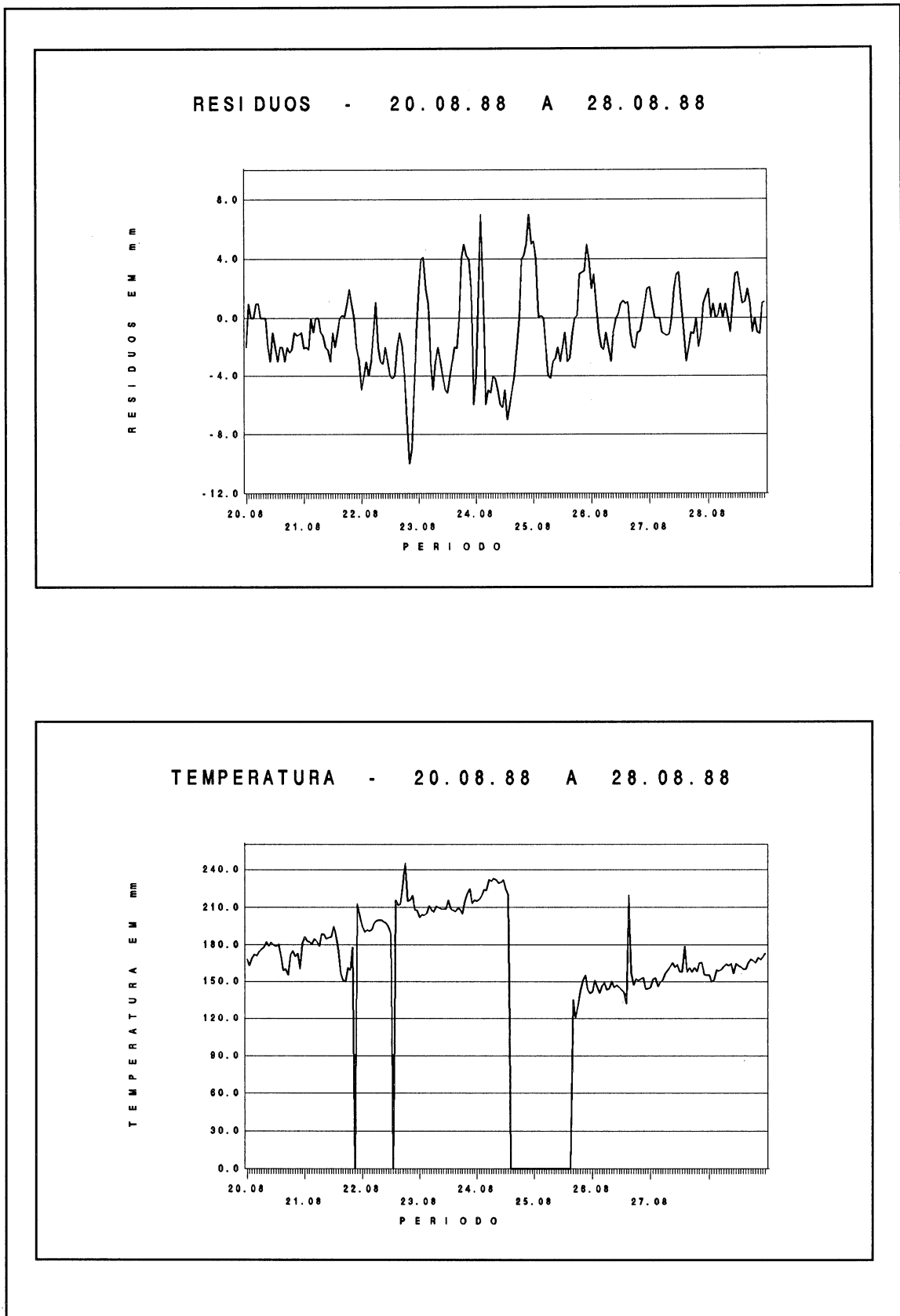


Fig.5.1.5 Curvas dos resíduos e da variação da temperatura na sala do gravímetro no período citado

As Quadros 5.1.1 e 5.1.2, assim como as figuras 5.1.6 e 5.1.7 mostram os desvios padrão dos grupos de ondas das duas séries de observações. Notamos que os mesmos, para as ondas semi-diurnas, foram maiores que o aceitável na análise ($5 \mu\text{Gal}$).

Identificados os períodos de variações da temperatura e os correspondentes resíduos, foi feita a seleção dos dados, e novo processamento efetuado.

Os períodos das séries selecionadas foram maiores que 1 ano de observações, necessários para a separação dos principais grupos de onda. A primeira série ficou com aproximadamente 17 meses e a segunda com 15 meses.

As Quadros 5.1.3 e 5.1.4 mostram os valores dos desvios padrão dos grupos de ondas de longo período, diurnas e global **após a seleção dos dados**. Pode-se observar que os mesmos diminuíram em relação aos dos Quadros 5.1.1 e 5.1.2 como era esperado, melhorando, desta forma, nossa análise.

As Figs. 5.1.8, 5.1.9, 5.1.10, 5.1.11, 5.1.12 e 5.1.13 mostram a comparação dos desvios padrão dos grupos de ondas **antes e após** a seleção dos dados, das quais pode-se ter uma visão global da melhoria das análises.

Algumas amostras dos resíduos antes e após a triagem dos dados, são vistas nas Figs. 5.1.14, 5.1.15, 5.1.16, 5.1.17, 5.1.18 e 5.1.19.

| DESVIOS PADRÕES DOS GRUPOS DE ONDAS: | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|------------|------------------|---------------------|
| PERÍODO | LONGO PERÍODO(LP) | DIURNAS(D) | SEMI-DIURNAS(SM) | GLOBAL(LP + D + SM) |
| MAR-JUN83 | 16.591 | 25.524 | 19.926 | 8.940 |
| JUL-SET83 | 9.350 | 42.173 | 13.660 | 9.468 |
| OUT-DEZ83 | 18.564 | 10.495 | 7.632 | 6.304 |
| JAN-MAR84 | 9.675 | 6.075 | 4.270 | 3.725 |
| ABR-JUN84 | 12.410 | 10.682 | 9.538 | 5.602 |
| JUL-SET84 | 14.516 | 10.986 | 9.037 | 5.610 |
| OUT-DEZ84 | 13.654 | 8.716 | 6.434 | 4.853 |
| JAN-ABR85 | 5.648 | 5.427 | 5.164 | 3.002 |

Quadro 5.1.1 Desvios padrões dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global da 1ª série de observações antes da seleção dos dados (μ Gal)

| DESVIOS PADRÕES DOS GRUPOS DE ONDAS: | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|------------|------------------|---------------------|
| PERÍODO | LONGO PERÍODO(LP) | DIURNAS(D) | SEMI-DIURNAS(SD) | GLOBAL(LP + D + SD) |
| JAN-MAR88 | 15.772 | 6.100 | 5.726 | 4.621 |
| ABR-JUN88 | 8.238 | 4.320 | 3.617 | 2.712 |
| JUL-SET88 | 9.041 | 7.032 | 4.018 | 3.014 |
| OUT-DEZ88 | 8.037 | 5.023 | 4.120 | 3.115 |
| JAN-MAR89 | 7.032 | 5.102 | 6.028 | 3.095 |
| ABR-MAI89 | 6.116 | 3.014 | 3.101 | 2.049 |

Quadro 5.1.2 Desvios padrões dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global da 2ª série de observações antes da seleção dos dados (μ Gal)

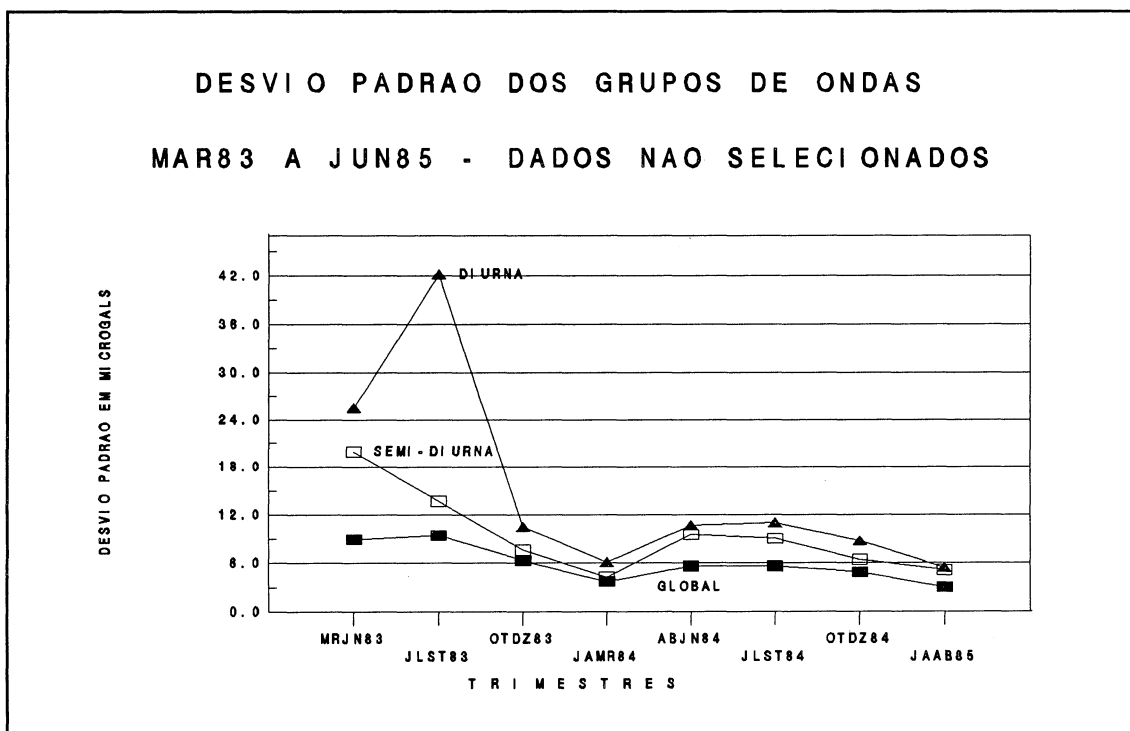


Fig. 5.1.6 Desvios padrões dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global da 1ª série antes da seleção dos dados (μ Gal)

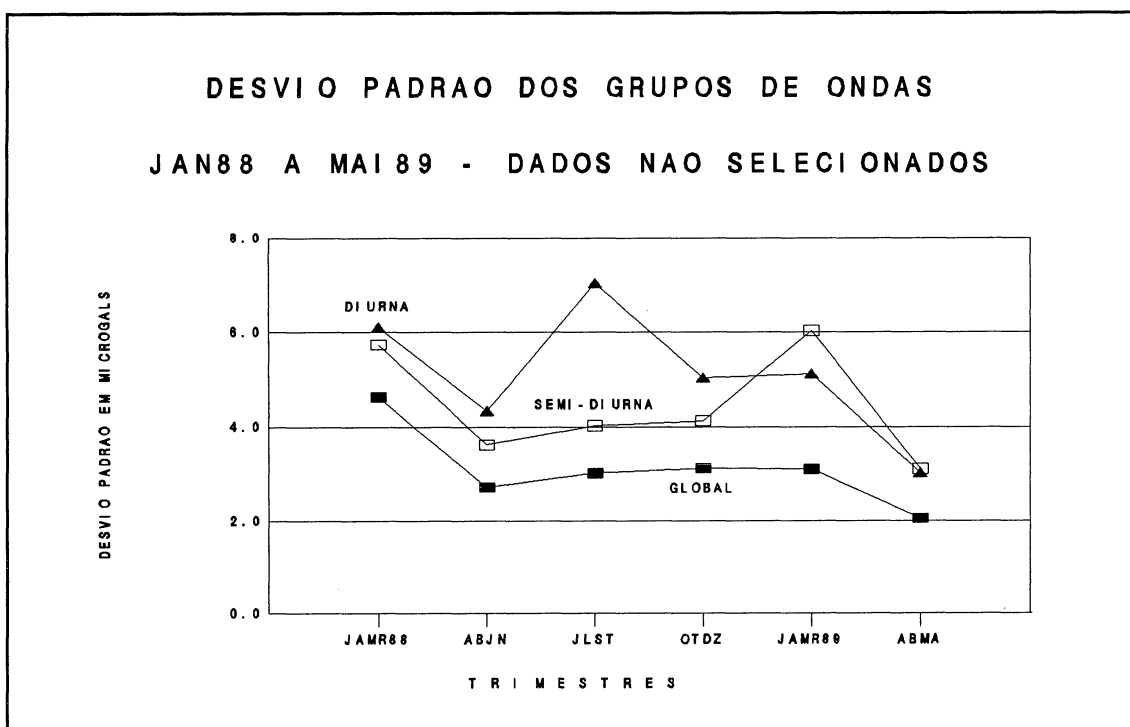


Fig. 5.1.7 Desvios padrões dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global da 2ª série antes da seleção dos dados (μ Gal)

| DESVIOS PADRÕES DOS GRUPOS DE ONDAS - OUT 83 A ABR 85 - DADOS SELECIONADOS | | | | |
|--|-------------------|------------|------------------|---------------------|
| PERÍODO | LONGO PERÍODO(LP) | DIURNAS(D) | SEMI-DIURNAS(SM) | GLOBAL(LP + D + SD) |
| OUT-DEZ83 | 1.744 | 2.529 | 2.688 | 2.124 |
| JAN-MAR84 | 3.279 | 4.122 | 2.724 | 2.428 |
| ABR-JUN | 3.622 | 4.231 | 3.104 | 2.433 |
| JUL-SET | 5.488 | 4.690 | 4.839 | 2.865 |
| OUT-DEZ | 3.971 | 4.594 | 2.965 | 2.351 |
| JAN-ABR85 | 3.353 | 3.954 | 3.069 | 2.167 |

Quadro 5.1.3 Desvios padrões dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global da 1ª série de observações após a seleção dos dados

| DESVIOS PADRÕES DOS GRUPOS DE ONDAS - MAR 88 A MAI 89 - DADOS SELECIONADOS | | | | |
|--|-------------------|------------|------------------|---------------------|
| PERÍODO | LONGO PERÍODO(LP) | DIURNAS(D) | SEMI-DIURNAS(SM) | GLOBAL(LP + D + SM) |
| MAR-JUN88 | 3.262 | 1.874 | 2.064 | 1.357 |
| JUL-SET88 | 3.721 | 1.877 | 1.498 | 1.437 |
| OUT-DEZ89 | 2.987 | 1.740 | 2.400 | 1.319 |
| JAN-MAR89 | 2.756 | 1.600 | 1.819 | 1.192 |
| MAR-MA89 | 2.526 | 1.461 | 1.239 | 1.065 |

Quadro 5.1.4 Desvios padrões dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global da 2ª série após a seleção dos dados

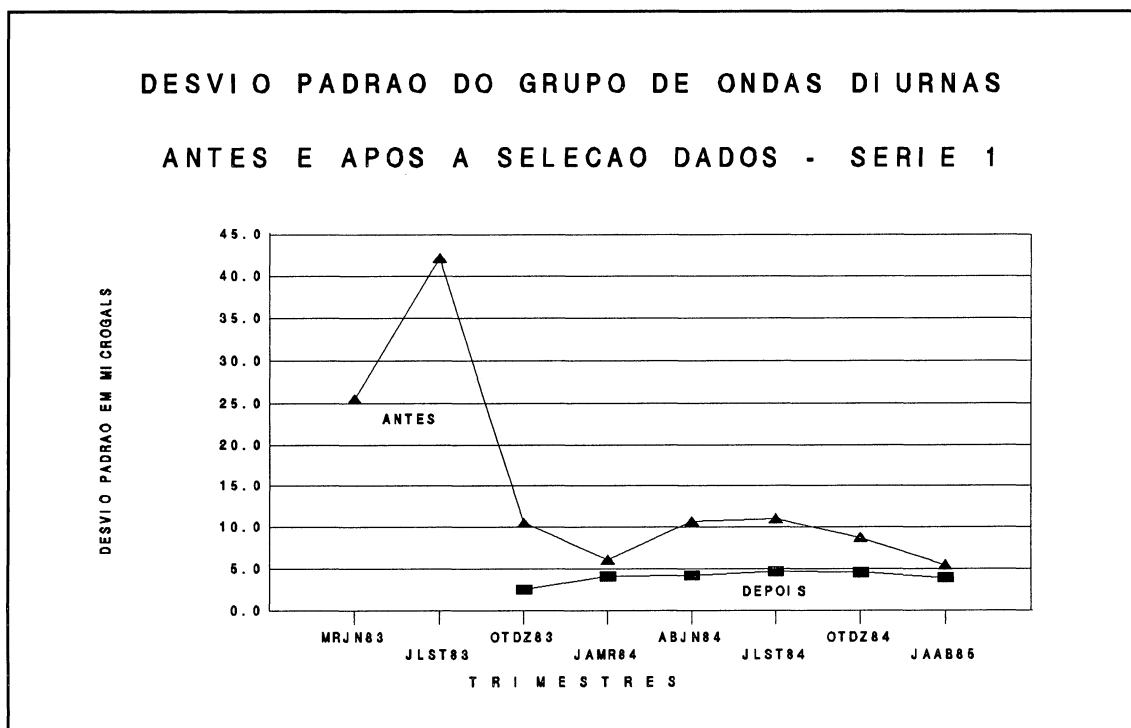


Fig. 5.1.8 Desvios padrões do grupo de ondas diurnas antes e após a seleção dos dados

1ª série de observações (μ Gal)

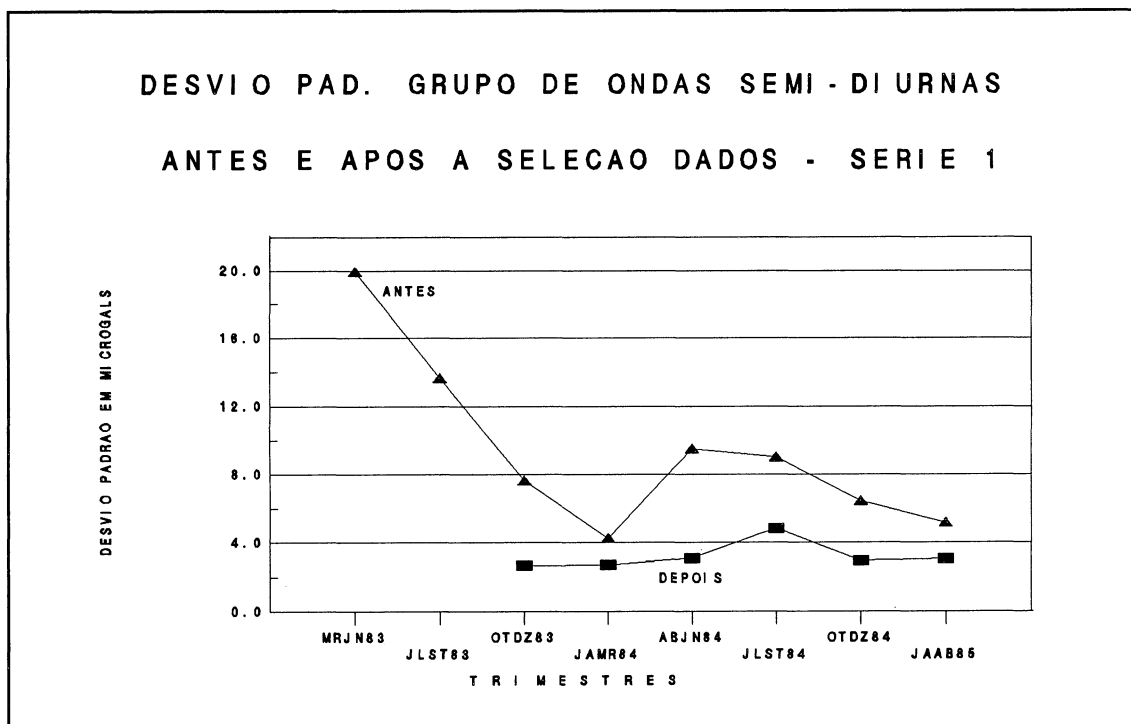


Fig. 5.1.9 Desvios padrões do grupo de ondas semi-diurnas antes e após a seleção dos dados

1ª série de observações (μ Gal)

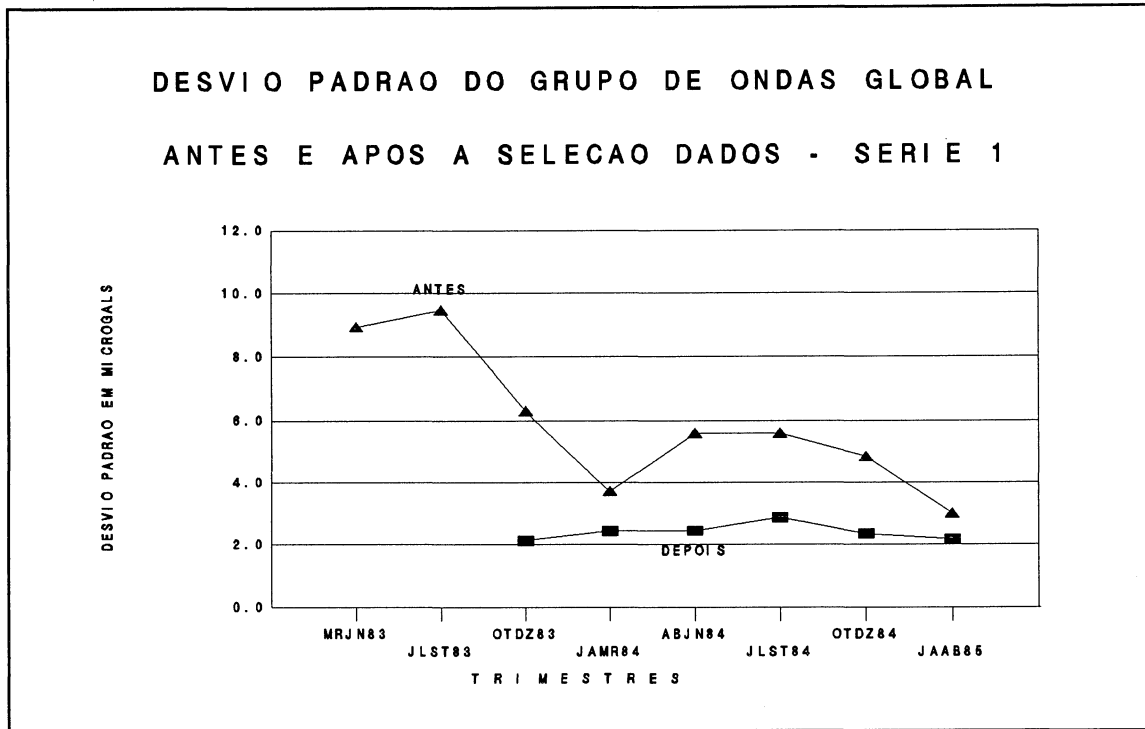


Fig. 5.1.10 Desvios padrões do grupo de ondas global(LP+D+SD) antes e após a seleção dos dados

1ª série de observações (μ Gal)

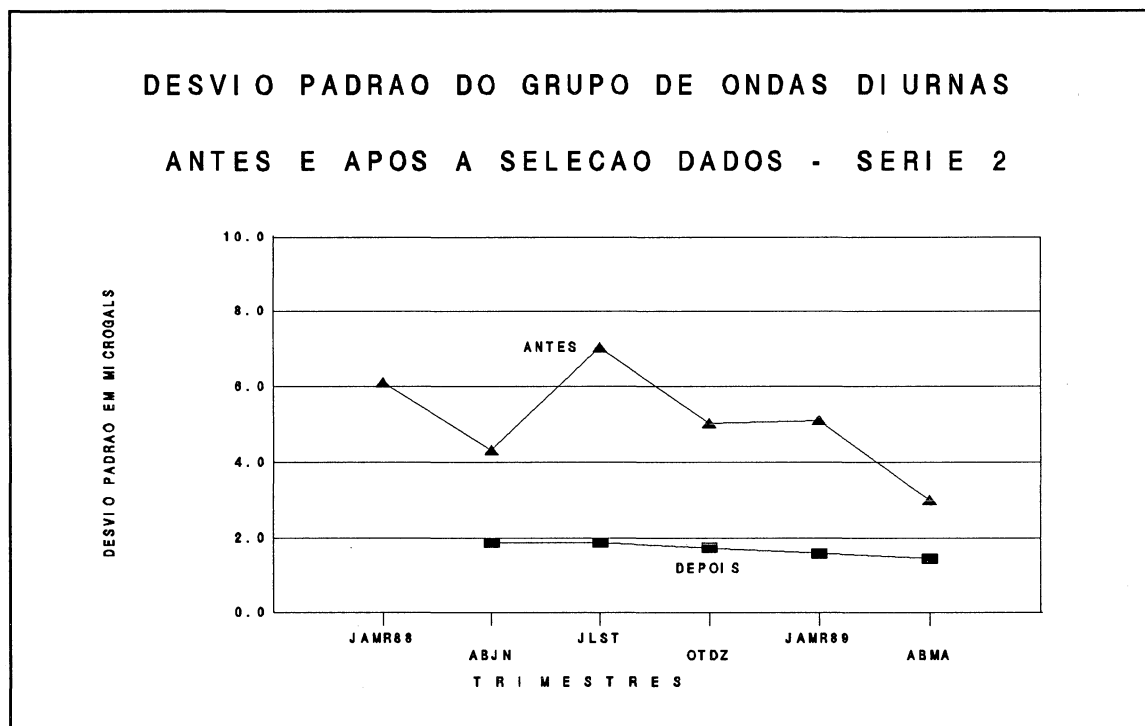


Fig. 5.1.11 Desvios padrões do grupo de ondas diurnas antes e após a seleção dos dados

2ª série de observações (μ Gal)

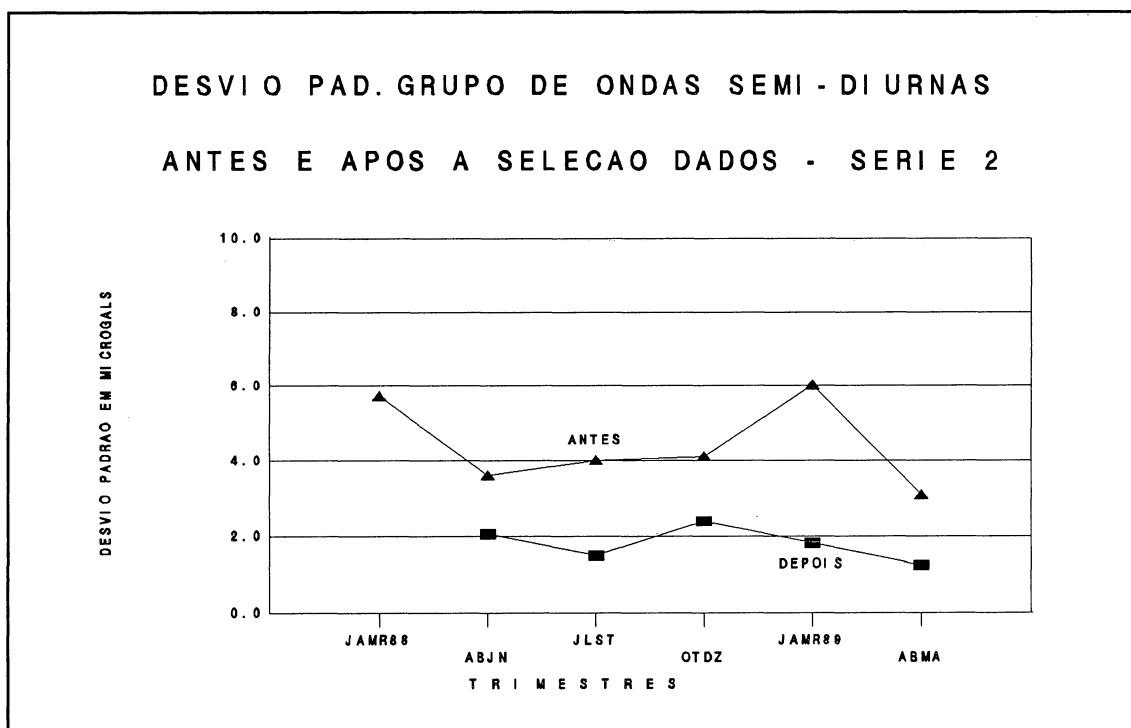


Fig.5.1.12 Desvios padrões do grupo de ondas semi-diurnas antes e após a seleção dos dados
2ª série de observações (μ Gal)

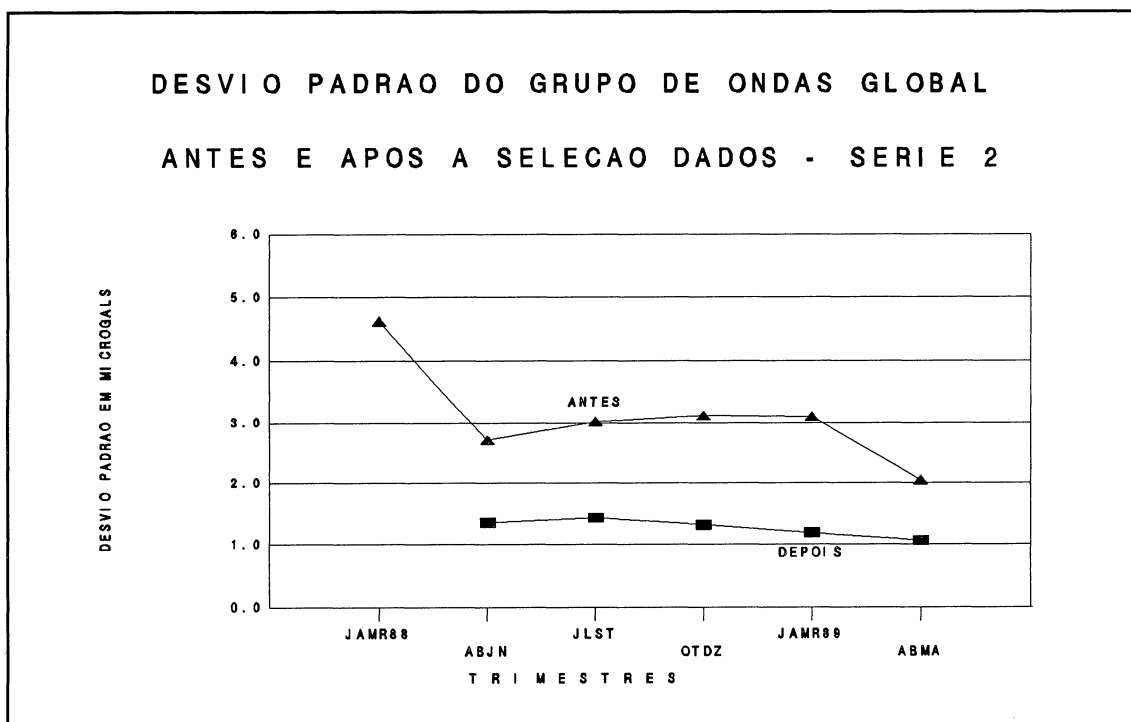


Fig. 5.1.13 Desvios padrões do grupo de ondas global antes e após a seleção dos dados
2ª série de observações (μ Gal)

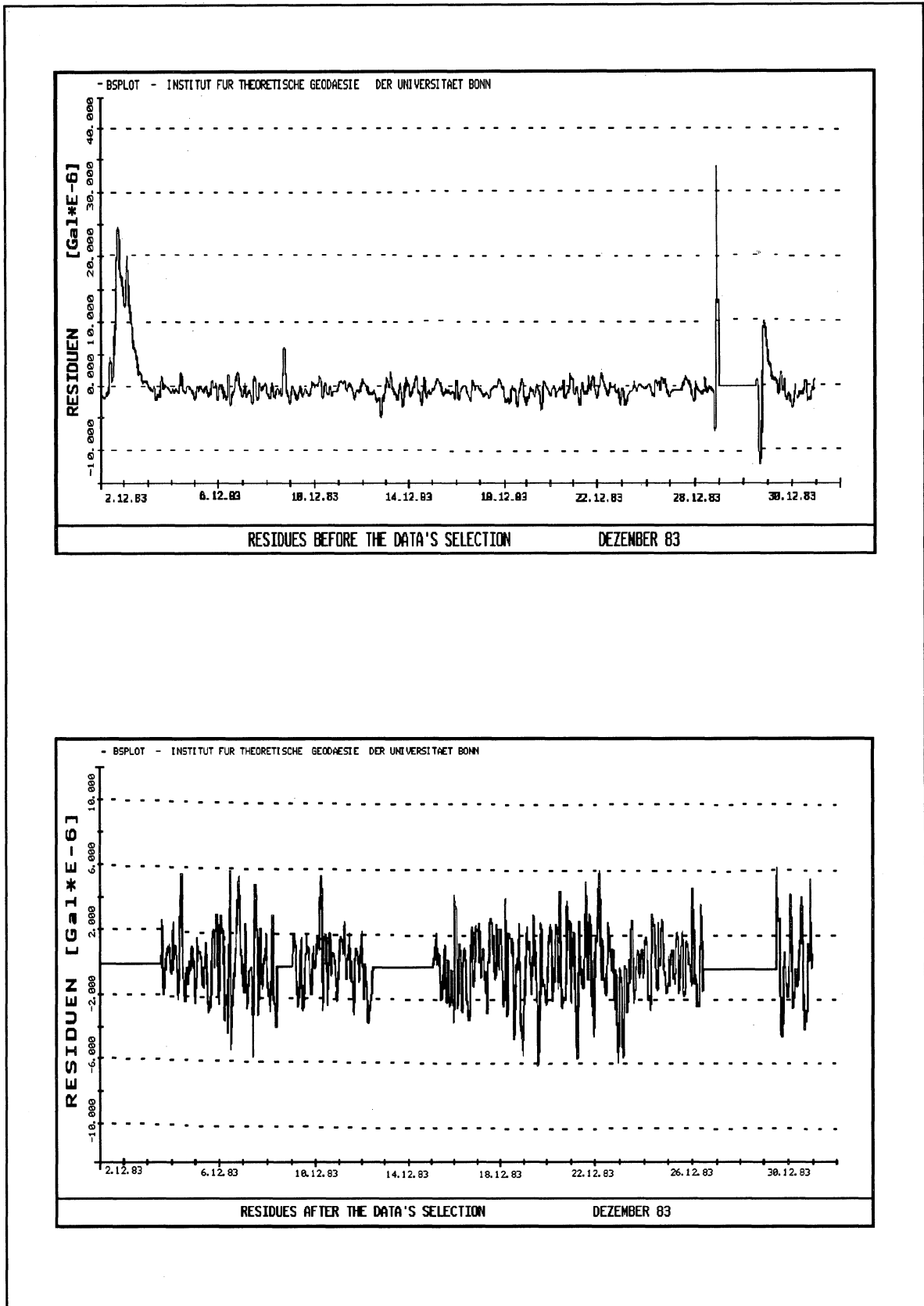


Fig. 5.1.14 Curvas dos resíduos antes e após a seleção dos dados

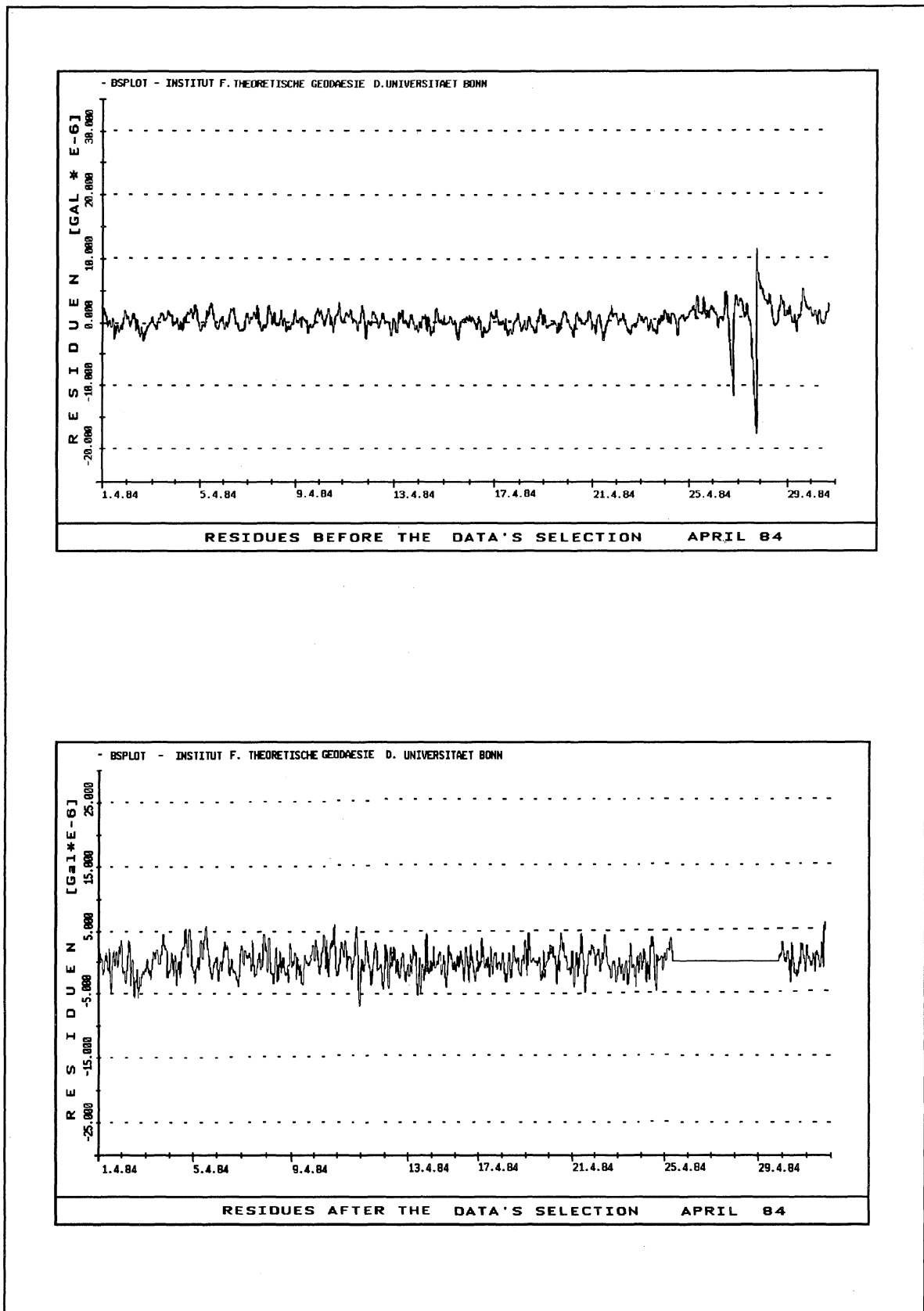


Fig. 5.1.15 Curvas dos resíduos antes e após a seleção dos dados

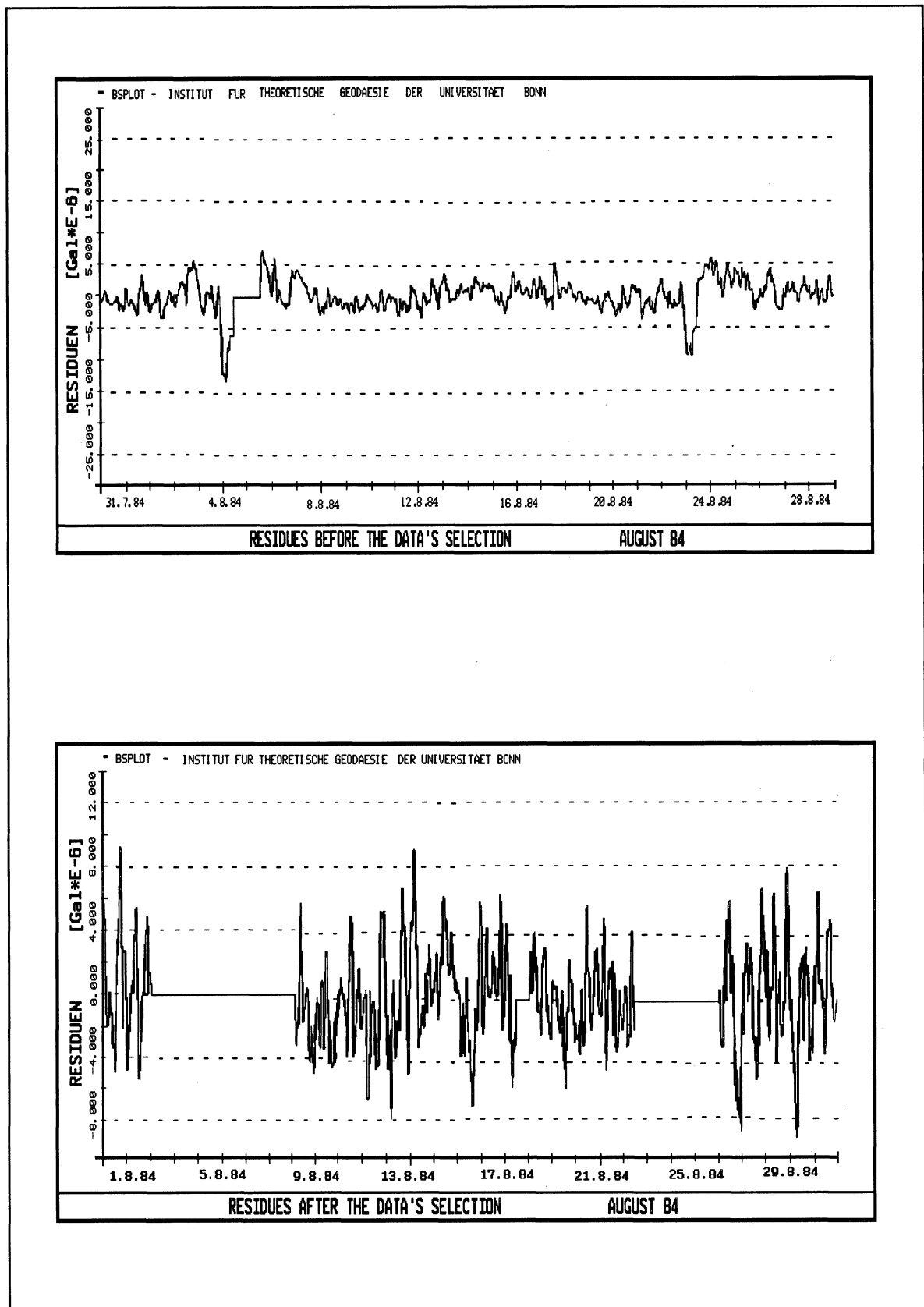


Fig. 5.1.16 Curvas dos resíduos antes e após a seleção dos dados

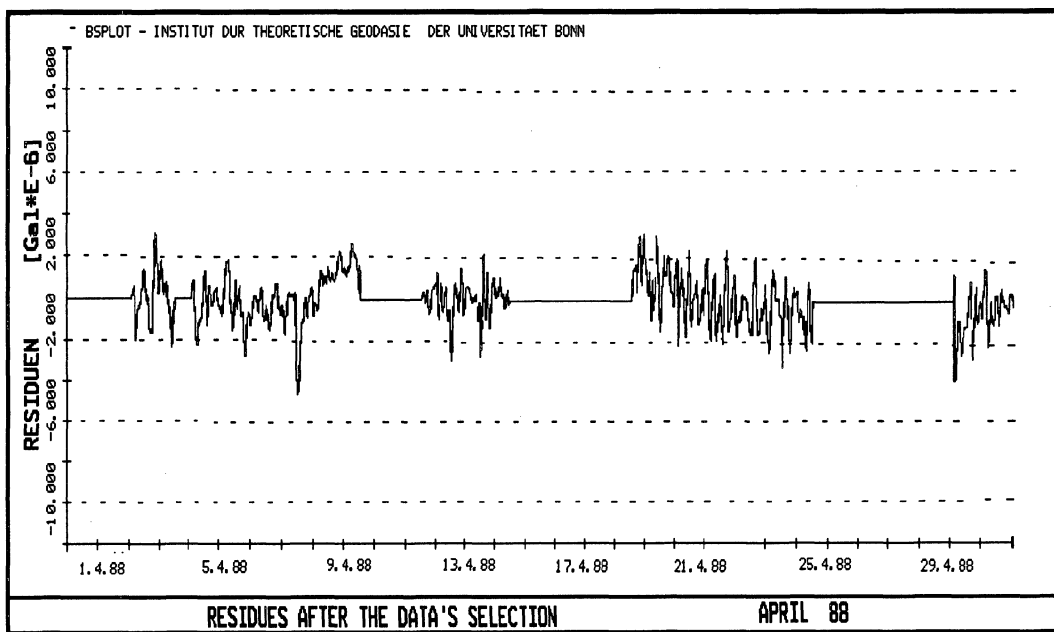
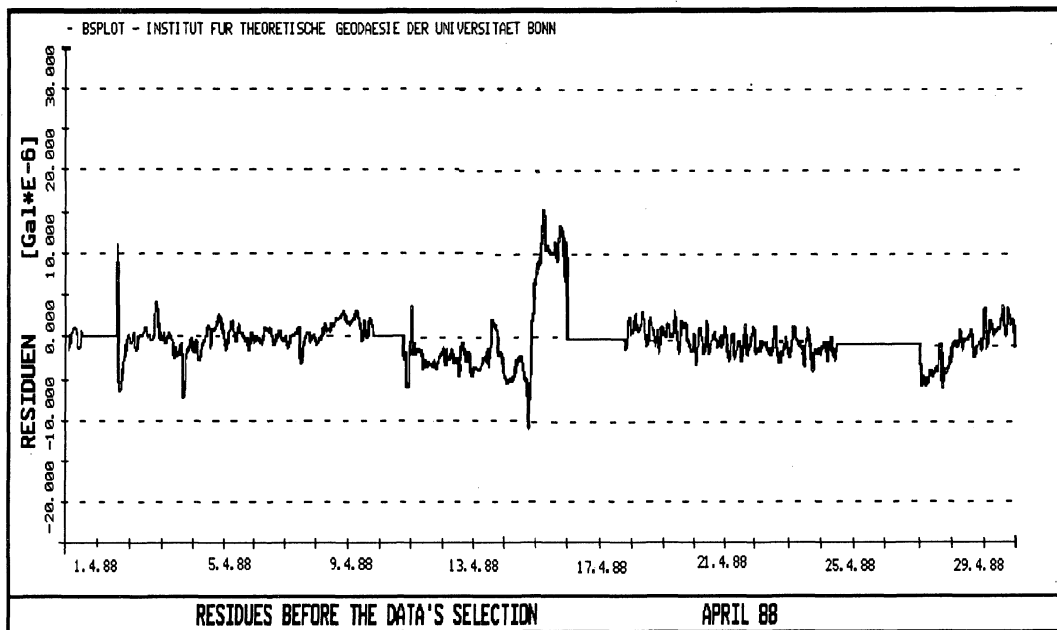


Fig. 5.1.17 Curvas dos resíduos antes e após a seleção dos dados

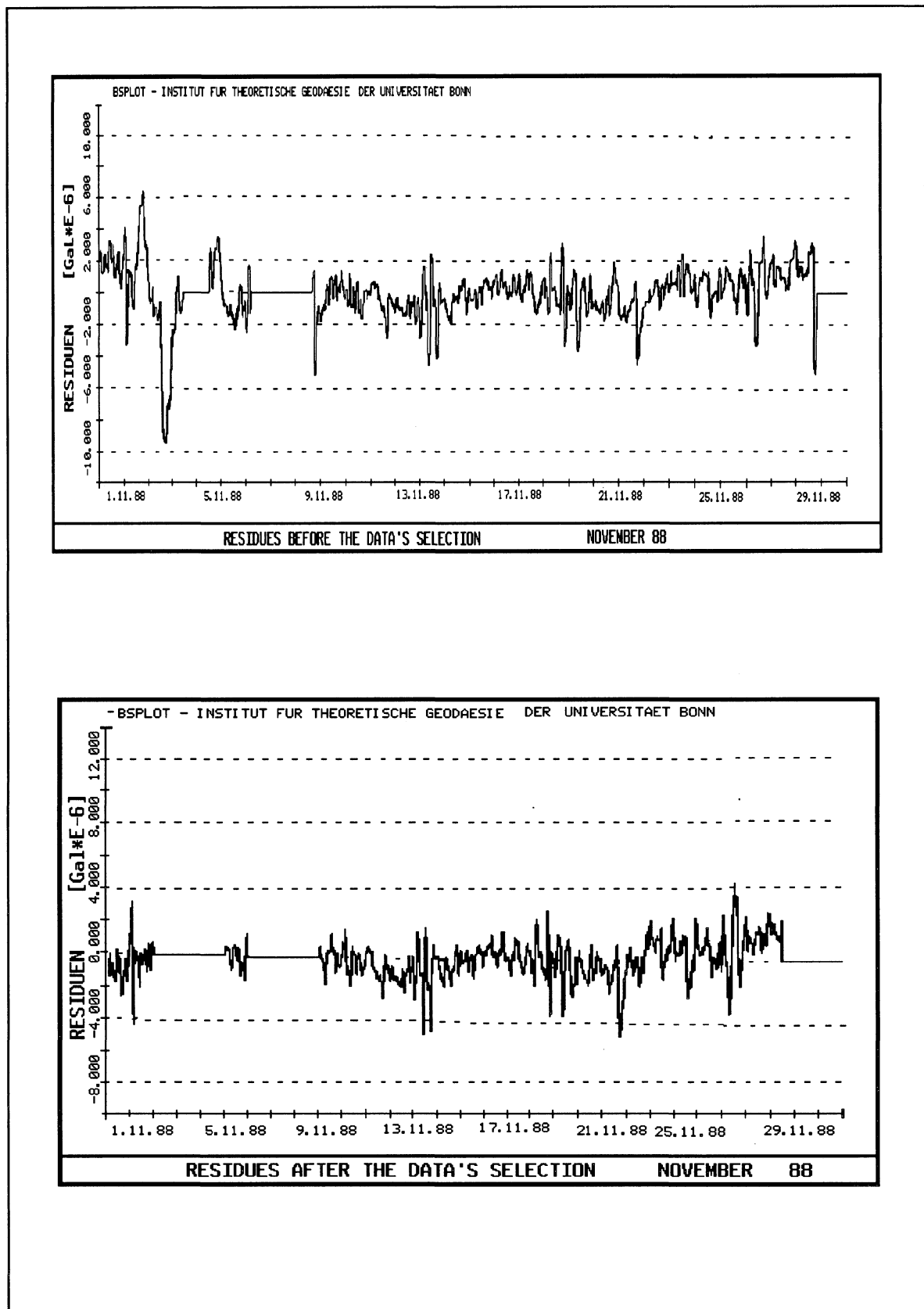


Fig. 5.1.18 Curvas dos resíduos antes e após a seleção dos dados

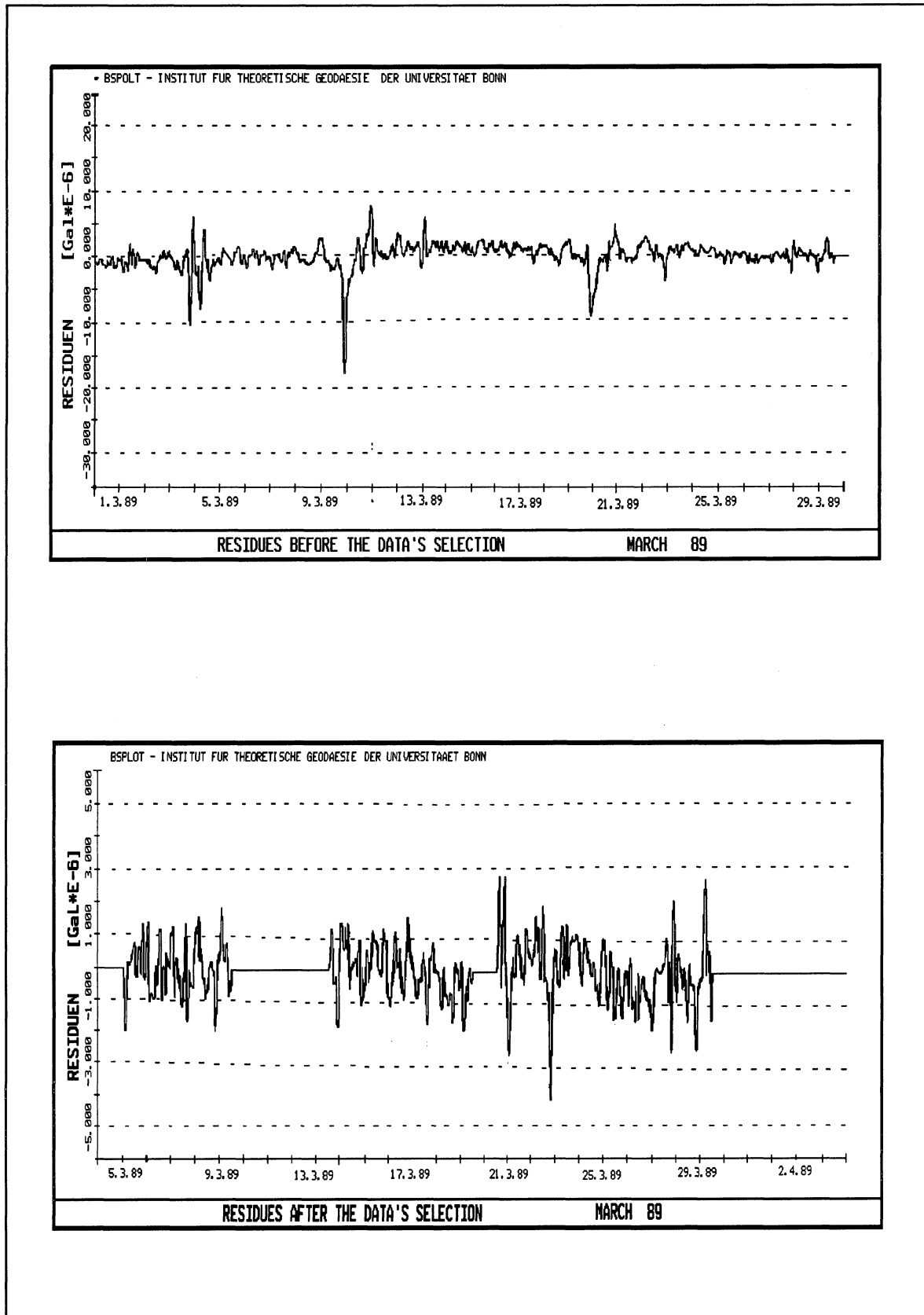


Fig. 5.1.19 Curvas dos resíduos antes e após a seleção dos dados

5.2 NORMALIZAÇÃO DA 1ª SÉRIE DE OBSERVAÇÕES

Viu-se no capítulo IV a ocorrência de uma mudança brusca no fator de calibração entre os dias 7 e 8 de janeiro de 1985.

Vai-se agora normalizar esta série de dados. Isto significa dizer que se irá eliminar o salto ocorrido e obter os dados com sensibilidade homogênea.

Para isto, como já se disse no capítulo IV, foi tomado o fator gravimétrico da onda M_2 (por ser a principal) como fator de normalização. Foram realizadas as análises dos 5 primeiros trimestres e o quadrimestre janeiro-abril de 1985 com os dados já selecionados, de onde se obteve os seguintes valores para o fator gravimétrico da onda M_2 e seus respectivos desvios padrões:

| FATOR GRAVIMÉTRICO DA ONDA $M_2 \pm$ DESVIO PADRÃO | | |
|--|--------------|--------------|
| PERÍODO | δM_2 | σM_2 |
| OUT-DEZ83 | 1.1936 | 0.0042 |
| JAN-MAR84 | 1.1890 | 0.0037 |
| ABR-JUN | 1.1915 | 0.0062 |
| JUL-SET | 1.1946 | 0.0080 |
| OUT-DEZ | 1.1849 | 0.0050 |
| JAN-ABR85 | 1.0246 | 0.0029 |

Tabela 5.2.1 Fatores gravimétricos da onda M_2 e seus respectivos desvios padrão da 1ª série - análises trimestrais

O fator de normalização $N1$ foi considerado como sendo a razão entre a média de δM_2 dos 5 primeiros trimestres e o valor de δM_2 do quadrimestre janeiro-abril de 1985, ou seja:

$$N1 = \frac{\text{média de } \delta M_2 \text{ dos 5 primeiros trimestres}}{\delta M_2 \text{ jan-abr85}} \quad (5.2.1)$$

$$N1 = \frac{1.1907}{1.0246} = 1.1621$$

Desta forma, o fator de calibração normalizado **FCN1** para o quadrimestre janeiro-abril de 1985 obtido foi:

$$FCN1 = \text{Fator de calibração antigo} \times N1 \quad (5.2.2)$$

$$FCN1 = 0.4282 \times 1.1621 = 0.4976$$

A análise deste último período com o novo fator de calibração, $FCN1 = 0.4976$, forneceu o fator gravimétrico para a onda M_2 igual a

$$\delta M_2 (\text{jan-abr85}) = 1.1906 \pm 0.0036 \quad (5.2.3)$$

Obtivemos desta maneira a primeira série de observações selecionada e normalizada.

5.3 NORMALIZAÇÃO E CALIBRAÇÃO DA 2ª SÉRIE DE OBSERVAÇÕES

O salto da 2ª série ocorreu entre 30 de janeiro e 2 de fevereiro de 1989.

Analogamente à primeira série, o fator de normalização desta série também foi obtida através do fator gravimétrico da onda M_2 , (Quadro 5.3.1).

| FATOR GRAVIMÉTRICO DA ONDA $M_2 \pm$ DESVIOS PADRÃO | | |
|---|--------------|--------------|
| ANÁLISE TRIMESTRAL | | |
| PERÍODO | δM_2 | σM_2 |
| MAR-JUN88 | 1.1778 | 0.0024 |
| JUL-SET | 1.1900 | 0.0022 |
| OUT88-JAN89 | 1.1893 | 0.0027 |
| FEV-MAI89 | 1.0737 | 0.0015 |

Quadro 5.3.1 Fatores gravimétricos da onda M_2 e seus respectivos desvios padrão da 2ª série - Análises Trimestrais

O fator de normalização $N2$ encontrado foi

$$N2 = \frac{\text{média de } \delta M_2 \text{ dos 3 primeiros períodos}}{\delta M_2 (\text{fev-mai89})} \quad (5.3.1)$$

$$N2 = \frac{1.1857}{1.0737} = 1.1043$$

O fator de calibração normalizado $FCN2$ para o período fevereiro-maio de 1989 obtido foi

$$\begin{aligned}
 FCN2 &= \text{Fator de calibração antigo} \times N2 \\
 FCN2 &= 0.1777 \times 1.1043 = 0.1785
 \end{aligned}
 \tag{5.3.2}$$

O valor do fator gravimétrico da onda M_2 deste último período obtido com o fator de calibração normalizado $FCN2$ foi

$$\delta M_2 \text{ (fev-mai89)} = 1.1857 \pm 0.0016
 \tag{5.3.2}$$

Portanto, tem-se a 2ª série selecionada e normalizada, porém sua calibração continua sendo aparente. Ela deve ser calibrada em função da 1ª série, como foi visto no capítulo IV.

Para que se possa, então, obtê-la vamos lembrar a (4.3.1) que aqui se reescreve para facilidade do leitor

$$FC_R = FC_A \cdot \frac{\delta_{M2}^1}{\delta_{M2}^2}
 \tag{4.3.1}$$

onde FC_R : Fator de calibração relativa da 2ª série

FC_A : Fator de calibração arbitrária da 2ª série = 0.1777

δ_{M2}^1 : Fator gravimétrico médio anual = 1.1913 (será visto no próximo capítulo)

δ_{M2}^2 : Fator gravimétrico médio anual obtido com fator de calibração arbitrário = 1.1858 (será visto no próximo capítulo)

então,

$$FC_R = 0.1785$$

Finalmente tem-se as duas séries calibradas, selecionadas e normalizadas. No próximo capítulo far-se-á as análises anuais que permitirão obter os fatores gravimétricos e diferenças de fases dos principais grupos de ondas.

CAPÍTULO VI

ANÁLISES ANUAIS E SEUS RESULTADOS

6.1 ANÁLISE ANUAL DA 1ª SÉRIE DE OBSERVAÇÕES

Neste capítulo serão enfocadas as análises anuais que nos permitirão separar um maior número de ondas. Até o capítulo anterior as análises efetuadas separavam 17 grupos de ondas. Para que possamos obter 20 grupos, utilizaremos o critério de *Rayleigh* o qual nos diz que só é possível separarmos duas ondas se a diferença entre as suas frequências for:

$$\Delta \omega = \omega_i - \omega_j \geq 360^\circ / n \quad (6.1)$$

onde n é o número de observações em um determinado intervalo de tempo (26,12).

A Tabela 6.1.1 mostra a separação dos grupos de ondas com diferentes intervalos de observações, utilizando o critério de *Rayleigh* aplicado ao modelo de potencial - **ETMB 85** (3).

A análise anual permite a separação dos grupos de ondas P1S1K1 e S2K2. É importante a separação de tais ondas pois as mesmas fazem parte das ondas principais do espectro de maré.

Após definido o número de grupos de ondas a separar, foram realizadas 3 análises anuais com a primeira série de observações.

O período de observação da 1ª série corresponde a outubro de 1983 à abril de 1985. As 3 análises correspondentes ao período foram:

- 1ª. outubro de 1983 a setembro de 1984
- 2ª. janeiro de 1984 a dezembro de 1984
- 3ª. março de 1984 a abril de 1985

cujos resultados são apresentados nas Tabelas 6.1.2, 6.1.3 e 6.1.4.

| SEPARAÇÃO DOS GRUPOS DE ONDAS | | | | | |
|---|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| INTERVALO DE OBSERVAÇÃO (HORÁRIA) | | | | | |
| n = 720 horas (30 dias) | | n = 2 184 horas (91 dias) | | n = 8 760 horas (365 dias) | |
| CRITÉRIO DE RAYLEIGH: $\Delta\omega = \omega_i - \omega_j \geq 360/n$ | | | | | |
| $\Delta\omega \geq 0.500$ °/h | | $\Delta\omega \geq 0.165$ °/h | | $\Delta\omega \geq 0.041$ °/h | |
| GRUPO DE ONDA * | CONSTITUINTES | GRUPO DE ONDA | CONSTITUINTES | GRUPO DE ONDA | CONSTITUINTES |
| MM | 28-59 | MM | 28-59 | SSA | 16-27 |
| MF | 60-95 | MF | 60-95 | MM | 28-59 |
| MTM | 96-170 | MTM | 96-170 | MF | 60-95 |
| Q1 | 171-251 | SIG1 | 171-217 | MTM | 96-172 |
| O1 | 252-284 | Q1 | 218-250 | SIG1 | 173-217 |
| M1 | 285-310 | O1 | 251-284 | Q1 | 218-252 |
| P1S1K1 | 311-349 | M1 | 285-310 | O1 | 253-284 |
| J1 | 350-374 | P1S1K1 | 311-349 | M1 | 285-310 |
| OO1 | 375-422 | J1 | 350-374 | P1 | 311-321 |
| 2N2 | 423-480 | OO1 | 375-422 | S1 | 322-325 |
| N2 | 481-509 | 2N2 | 423-480 | K1 | 326-349 |
| M2 | 510-538 | N2 | 481-509 | J1 | 350-374 |
| L2 | 539-563 | M2 | 510-538 | OO1 | 375-422 |
| S2K2 | 564-628 | L2 | 539-561 | 2N2 | 423-480 |
| M3 | 629-673 | S2 | 562-570 | N2 | 481-509 |
| | | K2 | 571-628 | M2 | 510-538 |
| | | M3 | 629-673 | L2 | 539-562 |
| | | | | S2 | 563-570 |
| | | | | K2 | 571-628 |
| | | | | M3 | 629-673 |

* GRUPOS DE ONDAS COM AMPLITUDE DA CONSTITUINTE PRINCIPAL > 0.5 μ Gal

Tabela 6.1.1 Separação dos grupos de ondas com diferentes intervalos de observações, utilizando o critério de Rayleigh aplicado ao modelo de potencial - ETMB 85

| RESULTADO DA ANÁLISE ANUAL - PERÍODO: OUTUBRO 1983 A SETEMBRO 1984 | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N ^o | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESVIO PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESVIO PADRÃO |
| 5 | SIG1 | 1.5860 | 0.3881 | -8.086 | 14.021 |
| 6 | Q1 | 1.1554 | 0.0791 | 6.347 | 3.925 |
| 7 | O1 | 1.1667 | 0.0154 | 0.447 | 0.743 |
| 8 | M1 | 1.3503 | 0.1473 | 11.938 | 6.250 |
| 9 | P1 | 1.0410 | 0.0330 | -3.475 | 1.819 |
| 10 | S1 | 25.0177 | 2.0276 | -61.542 | 4.644 |
| 11 | K1 | 1.1202 | 0.0104 | -0.100 | 0.532 |
| 12 | J1 | 1.4112 | 0.1688 | -5.160 | 6.852 |
| 13 | OO1 | 1.0571 | 0.2209 | -4.273 | 11.971 |
| 14 | 2N2 | 1.2207 | 0.0668 | 5.921 | 3.133 |
| 15 | N2 | 1.2134 | 0.0139 | 1.005 | 0.655 |
| 16 | M2 | 1.1920 | 0.0026 | 1.605 | 0.127 |
| 17 | L2 | 1.1859 | 0.0746 | 1.455 | 3.605 |
| 18 | S2 | 1.1794 | 0.0054 | 1.438 | 0.262 |
| 19 | K2 | 1.2369 | 0.0178 | 1.595 | 0.824 |
| 20 | M3 | 1.2201 | 0.0773 | -3.325 | 3.630 |
| DESVIO PADRÃO DOS GRUPOS DE ONDAS | | | | | |
| GRUPO DE ONDA | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS - °/h | | DESVIO PADRÃO - μGal | | |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | | 4.858 | | |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | | 3.952 | | |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | | 3.104 | | |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | | 2.566 | | |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | | 2.565 | | |

Tabela 6.1.2 Resultado da análise anual da 1ª série - período de análise: outubro 1983 a setembro 1984

| RESULTADO DA ANÁLISE ANUAL - PERÍODO: JANEIRO A DEZEMBRO 1984 | | | | | |
|---|------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N ^o | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESVIO PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESVIO PADRÃO |
| 5 | SIG1 | 1.4225 | 0.3920 | -15.821 | 15.769 |
| 6 | Q1 | 1.1051 | 0.0833 | 7.417 | 4.320 |
| 7 | O1 | 1.1719 | 0.0165 | 0.563 | 0.807 |
| 8 | M1 | 1.2700 | 0.1482 | 12.557 | 6.688 |
| 9 | P1 | 1.0732 | 0.0368 | -2.491 | 1.196 |
| 10 | S1 | 24.9602 | 2.2178 | -54.494 | 5.091 |
| 11 | K1 | 1.1124 | 0.0113 | 0.720 | 0.581 |
| 12 | J1 | 1.3490 | 0.1799 | -2.153 | 7.641 |
| 13 | OO1 | 1.0401 | 0.2254 | -2.029 | 12.416 |
| 14 | 2N2 | 1.2160 | 0.0663 | 4.601 | 3.124 |
| 15 | N2 | 1.2188 | 0.0114 | 1.134 | 0.677 |
| 16 | M2 | 1.1898 | 0.0029 | 1.545 | 0.138 |
| 17 | L2 | 1.1837 | 0.0873 | 3.799 | 4.266 |
| 18 | S2 | 1.1783 | 0.0059 | 0.496 | 0.286 |
| 19 | K2 | 1.1826 | 0.0189 | 2.416 | 0.915 |
| 20 | M3 | 1.1943 | 0.0799 | -3.849 | 3.832 |

| DESVIO PADRÃO DOS GRUPOS DE ONDAS | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| GRUPO DE ONDA | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS - °/h | DESVIO PADRÃO - μ Gal |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | 5.239 |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | 4.220 |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | 3.156 |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | 2.641 |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | 2.640 |

Tabela 6.1.3 Resultado da análise anual da 1ª série - período de análise: janeiro a dezembro 1984

| RESULTADO DA ANÁLISE ANUAL - PERÍODO: MARÇO 1984 A ABRIL 1984 | | | | | |
|---|------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N ^o | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESVIO PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESVIO PADRÃO |
| 5 | SIG1 | 1.2881 | 0.4130 | -12.875 | 18.370 |
| 6 | Q1 | 0.9541 | 0.0798 | 4.467 | 4.791 |
| 7 | O1 | 1.1781 | 0.0150 | 0.919 | 0.730 |
| 8 | M1 | 1.1832 | 0.1361 | 9.833 | 6.591 |
| 9 | P1 | 1.1046 | 0.0341 | -0.897 | 1.771 |
| 10 | S1 | 25.8939 | 2.0568 | -52.453 | 4.551 |
| 11 | K1 | 1.1189 | 0.0103 | 0.872 | 0.528 |
| 12 | J1 | 1.3202 | 0.1737 | -5.431 | 7.539 |
| 13 | OO1 | 1.1062 | 0.1994 | -11.459 | 10.327 |
| 14 | 2N2 | 1.2736 | 0.0769 | 7.606 | 3.457 |
| 15 | N2 | 1.2166 | 0.0152 | 1.507 | 0.714 |
| 16 | M2 | 1.1922 | 0.0029 | 1.439 | 0.138 |
| 17 | L2 | 1.2660 | 0.1104 | 8.902 | 4.996 |
| 18 | S2 | 1.1691 | 0.0060 | 0.218 | 0.292 |
| 19 | K2 | 1.2037 | 0.0185 | 1.316 | 0.883 |
| 20 | M3 | 1.0663 | 0.0803 | -6.920 | 4.314 |

| DESVIO PADRÃO DOS GRUPOS DE ONDAS | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| GRUPO DE ONDA | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS - °/h | DESVIO PADRÃO - μGal |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | 4.750 |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | 4.162 |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | 3.087 |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | 2.546 |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | 2.545 |

Tabela 6.1.4 Resultado da análise anual da 1ª série - período de análise: março 1984 a abril 1985

Dentre os grupos de ondas apresentados nas Tabelas 6.1.2 à 6.1.4, tomamos os grupos de ondas principais M_2 , S_2 , K_2 , O_1 , P_1 , S_1 , e K_1 (em destaque) e calculamos as respectivas médias anuais dos fatores gravimétricos e das diferenças de fase que são mostrados na Tabela 6.1.5.

A Tabela 6.1.6 mostra a média dos respectivos desvios padrão dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas e global dos principais grupos.

| MÉDIA (DAS TRÊS ANÁLISES ANUAIS) DOS FATORES GRAVIMÉTRICOS E DIFERENÇAS DE FASE DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ONDA - M_2 , S_2 , K_2 , O_1 , K_1 - DA 1ª SÉRIE | | | | | |
|--|------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N° | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESVIO PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESVIO PADRÃO |
| 7 | O1 | 1.1722 | 0.0156 | 0.643 | 0.760 |
| 9 | P1 | 1.0729 | 0.0346 | -2.288 | 1.595 |
| 10 | S1 | 25.2906 | 2.1007 | -56.1630 | 4.762 |
| 11 | K1 | 1.1172 | 0.0107 | 0.497 | 0.546 |
| 16 | M2 | 1.1913 | 0.0028 | 1.530 | 0.134 |
| 18 | S2 | 1.1756 | 0.0058 | 0.717 | 0.280 |
| 19 | K2 | 1.2077 | 0.0184 | 1.776 | 0.874 |

Tabela 6.1.5 Média anual dos fatores gravimétricos e das diferenças de fase dos principais grupos de onda da primeira série de observações

| MÉDIA (DAS TRÊS ANÁLISES ANUAIS) DOS DESVIOS PADRÕES DOS GRUPOS DE ONDAS DIURNAS, SEMI-DIURNAS, TER-DIURNAS E GLOBAL | | |
|---|------------------------------|---------------------------------------|
| GRUPO DE ONDAS | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS °/h | DESVIO PADRÃO MÉDIO - μGal |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | 4.949 |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | 4.111 |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | 3.116 |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | 2.584 |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | 2.583 |

Tabela 6.1.6 Desvio padrão médio dos grupos de ondas da primeira série de observações

6.2 ANÁLISE ANUAL DA 2ª SÉRIE DE OBSERVAÇÕES

Analogamente à primeira série, foram efetuadas duas análises anuais da 2ª série.

O período de observação desta última foi de março de 1988 a maio de 1989, e das suas respectivas análises anuais foram:

- 1ª. março de 1988 a fevereiro de 1989
- 2ª. 21 de maio de 1988 a 20 de maio de 1989

As Tabelas 6.2.1 e 6.2.2 mostram os resultados das análises, para os fatores gravimétricos e diferenças de fase dos dois períodos acima.

A Tabela 6.2.3 mostra a média dos fatores gravimétricos e diferenças de fase dos principais grupos de ondas, M_2 , S_2 , K_2 , O_1 , P_1 e K_1 referentes às duas análises anuais.

O desvio padrão médio dos grupos de ondas de longo período, diurnas, semi-diurnas, ter-diurnas e global da 2ª série é apresentado na tabela 6.2.4.

| RESULTADO DA ANÁLISE ANUAL - PERÍODO: MARÇO 1988 A FEVEREIRO 1989 | | | | | |
|---|------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N ^o | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESVIO PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESVIO PADRÃO |
| 5 | SIG1 | 1.0867 | 0.1520 | 2.288 | 8.016 |
| 6 | Q1 | 1.2649 | 0.0276 | -0.151 | 1.251 |
| 7 | O1 | 1.2022 | 0.0050 | -0.946 | 0.239 |
| 8 | M1 | 1.1072 | 0.0485 | -0.565 | 2.509 |
| 9 | P1 | 1.2377 | 0.0119 | -1.559 | 0.550 |
| 10 | S1 | 5.6797 | 0.7271 | 27.151 | 7.335 |
| 11 | K1 | 1.1607 | 0.0035 | -0.847 | 0.172 |
| 12 | J1 | 1.1911 | 0.0601 | -3.423 | 2.893 |
| 13 | OO1 | 1.0819 | 0.0619 | -3.684 | 3.277 |
| 14 | 2N2 | 1.1640 | 0.0521 | 4.191 | 2.566 |
| 15 | N2 | 1.2191 | 0.0098 | 2.497 | 0.460 |
| 16 | M2 | 1.1906 | 0.0018 | 1.246 | 0.089 |
| 17 | L2 | 1.0628 | 0.0985 | 7.719 | 5.308 |
| 18 | S2 | 1.1789 | 0.0037 | 0.733 | 0.180 |
| 19 | K2 | 1.1601 | 0.0104 | 1.015 | 0.516 |
| 20 | M3 | 1.2419 | 0.0339 | -0.675 | 1.564 |

| DESVIO PADRÃO DOS GRUPOS DE ONDAS | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| GRUPO DE ONDA | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS - °/h | DESVIO PADRÃO - μ Gal |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | 1.7916 |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | 2.7814 |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | 1.3533 |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | 1.2637 |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | 1.2634 |

Tabela 6.2.1 Resultado da análise anual da 2^a série - período de análise: março 1988 a fevereiro 1989

| RESULTADO DA ANÁLISE ANUAL - PERÍODO: 21 MAIO 1988 A 20 MAIO 1989 | | | | | |
|---|------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N ^o | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESvio PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESvio PADRÃO |
| 5 | SIG1 | 1.0062 | 0.1381 | 1.368 | 7.866 |
| 6 | Q1 | 1.2388 | 0.0275 | 0.204 | 1.273 |
| 7 | O1 | 1.2036 | 0.0052 | -1.022 | 0.246 |
| 8 | M1 | 1.1031 | 0.0477 | 0.234 | 2.475 |
| 9 | P1 | 1.2457 | 0.0121 | -0.725 | 0.556 |
| 10 | S1 | 5.7659 | 0.7519 | 14.401 | 7.472 |
| 11 | K1 | 1.1541 | 0.0036 | -1.026 | 0.180 |
| 12 | J1 | 1.1660 | 0.0596 | -3.283 | 2.929 |
| 13 | OO1 | 1.1196 | 0.0632 | -3.660 | 3.233 |
| 14 | 2N2 | 1.1817 | 0.0444 | 4.537 | 2.154 |
| 15 | N2 | 1.2156 | 0.0091 | 2.404 | 0.427 |
| 16 | M2 | 1.1918 | 0.0018 | 1.279 | 0.085 |
| 17 | L2 | 1.1224 | 0.0771 | 3.293 | 3.934 |
| 18 | S2 | 1.1821 | 0.0035 | 0.780 | 0.170 |
| 19 | K2 | 1.1597 | 0.0100 | 1.352 | 0.495 |
| 20 | M3 | 1.1970 | 0.0330 | -0.403 | 1.581 |

| DESvio PADRÃO DOS GRUPOS DE ONDAS | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| GRUPO DE ONDA | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS - °/h | DESvio PADRÃO - μGal |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | 1.8627 |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | 2.6868 |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | 1.3357 |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | 1.2622 |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | 1.2618 |

Tabela 6.2.2 Resultado da análise anual da 2ª série - período de análise: 21 de maio 1988 a 20 de maio 1989

| MÉDIA (DAS DUAS ANÁLISES ANUAIS) DOS FATORES GRAVIMÉTRICOS E DIFERENÇAS DE FASE DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ONDA - M ₂ , S ₂ , K ₂ , O ₁ , K ₁ - DA 2ª SÉRIE | | | | | |
|---|------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|
| GRUPO N ^o | ONDA | FATOR GRAVIMÉTRICO | DESVIO PADRÃO | DIFERENÇA DE FASE | DESVIO PADRÃO |
| 7 | O1 | 1.2029 | 0.0051 | -0.984 | 0.243 |
| 9 | P1 | 1.2417 | 0.0120 | -1.142 | 0.553 |
| 10 | S1 | 5.7228 | 0.7395 | 20.776 | 7.472 |
| 11 | K1 | 1.1574 | 0.0036 | -0.937 | 0.176 |
| 16 | M2 | 1.1912 | 0.0018 | 1.263 | 0.087 |
| 18 | S2 | 1.1805 | 0.0036 | 0.757 | 0.175 |
| 19 | K2 | 1.1599 | 0.0102 | 1.184 | 0.506 |

Tabela 6.2.3 Média anual dos fatores gravimétricos e das diferenças de fase dos principais grupos de onda da segunda série de observações

| MÉDIA (DAS DUAS ANÁLISES ANUAIS) DOS DESVIOS PADRÕES DOS GRUPOS DE ONDAS DIURNAS, SEMI-DIURNAS, TER-DIURNAS E GLOBAL | | |
|---|------------------------------|---------------------------------|
| GRUPO DE ONDAS | INTERVALO DE FREQUÊNCIAS °/h | DESVIO PADRÃO MÉDIO - μ Gal |
| DIURNAS | 11.300 - 17.300 | 1.827 |
| SEMI-DIURNAS | 26.300 - 32.300 | 2.734 |
| TER-DIURNAS | 32.300 - 45.700 | 1.345 |
| GLOBAL | 0.000 - 180.000 | 1.263 |
| OBSERVAÇÃO INDIVIDUAL | | 1.262 |

Tabela 6.2.4 Desvio padrão médio dos grupos de ondas da segunda série de observações

6.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DAS DUAS SÉRIES

Vai-se, agora, comparar os resultados das duas séries. Lembra-se, aqui, que os dados da segunda série foram obtidos após a implantação de um segundo termostato interno. O objetivo de sua utilização consistia na tentativa de se obter dados menos perturbados pela variação da temperatura.

As Tabelas 6.3.1 e 6.3.2 mostram a comparação entre os fatores gravimétricos médios e as diferenças de fase médias e seus respectivos erros quadráticos médios das duas séries.

| COMPARAÇÃO ENTRE OS FATORES GRAVIMÉTRICOS MÉDIOS DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ONDA DAS DUAS SÉRIES | | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| SÉRIE | $M_2 \pm \sigma$ | $S_2 \pm \sigma$ | $K_2 \pm \sigma$ | $O_1 \pm \sigma$ | $P_1 \pm \sigma$ | $S_1 \pm \sigma$ | $K_1 \pm \sigma$ |
| 1ª | 1.1913 ± 0.0028 | 1.1756 ± 0.0058 | 1.2077 ± 0.0184 | 1.1722 ± 0.0156 | 1.0729 ± 0.0346 | 25.2906 ± 2.1007 | 1.1172 ± 0.0107 |
| 2ª | 1.1912 ± 0.0018 | 1.1805 ± 0.0036 | 1.1599 ± 0.0102 | 1.2029 ± 0.0051 | 1.2417 ± 0.0120 | 5.7228 ± 0.7395 | 1.1574 ± 0.0036 |

Tabela 6.3.1 Comparação entre os fatores gravimétricos médios e seus respectivos desvios padrão dos principais grupos de onda das duas séries

| COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENÇAS DE FASE MÉDIAS DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ONDA DAS DUAS SÉRIES (EM GRAUS) | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| SÉRIE | $M_2 \pm \sigma$ | $S_2 \pm \sigma$ | $K_2 \pm \sigma$ | $O_1 \pm \sigma$ | $P_1 \pm \sigma$ | $S_1 \pm \sigma$ | $K_1 \pm \sigma$ |
| 1ª | 1.530 ± 0.134 | 0.717 ± 0.280 | 1.776 ± 0.874 | 0.643 ± 0.760 | -2.288 ± 1.595 | -56.1630 ± 0.163 | 1.776 ± 0.874 |
| 2ª | 1.263 ± 0.087 | 0.757 ± 0.175 | 1.184 ± 0.506 | -0.984 ± 0.243 | -1.142 ± 0.553 | 20.776 ± 7.472 | -0.937 ± 0.176 |

Tabela 6.3.2 Comparação entre as diferenças de fase médias e seus desvios padrão dos principais grupos de onda das duas séries

As Fig. 6.3.1 e 6.3.2 mostram a comparação entre os fatores gravimétricos médios dos principais grupos de onda das duas séries.

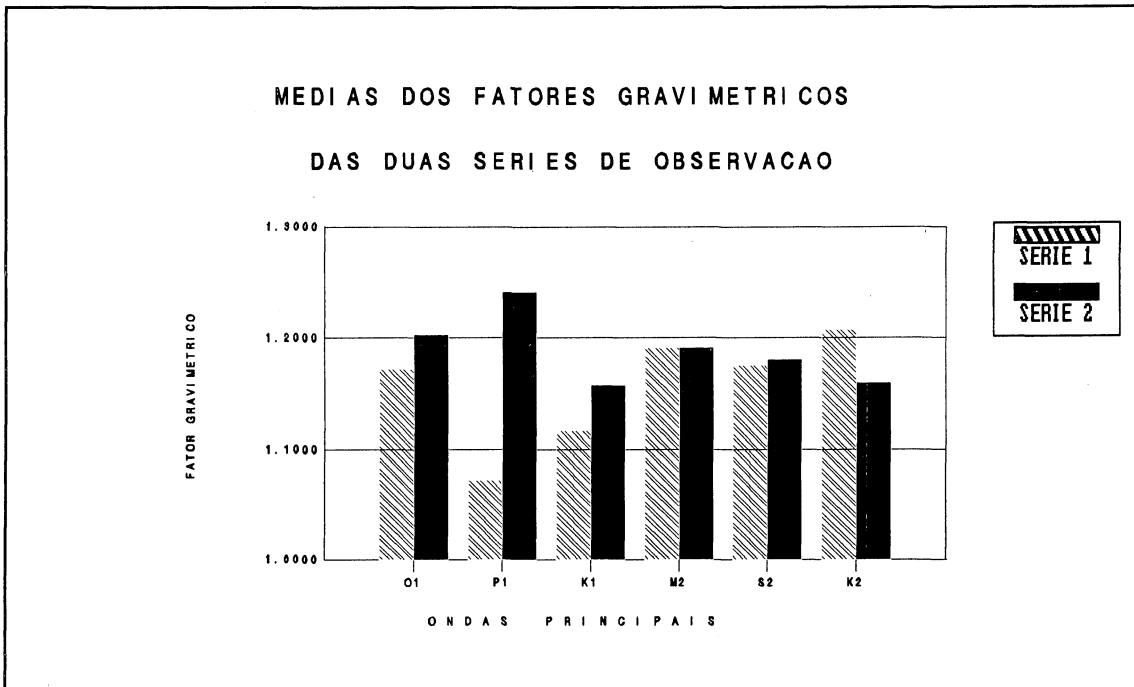


Fig.6.3.1 Comparação entre os fatores gravimétricos médios M_2 , S_2 , K_2 , O_1 , P_1 e K_1 das duas séries

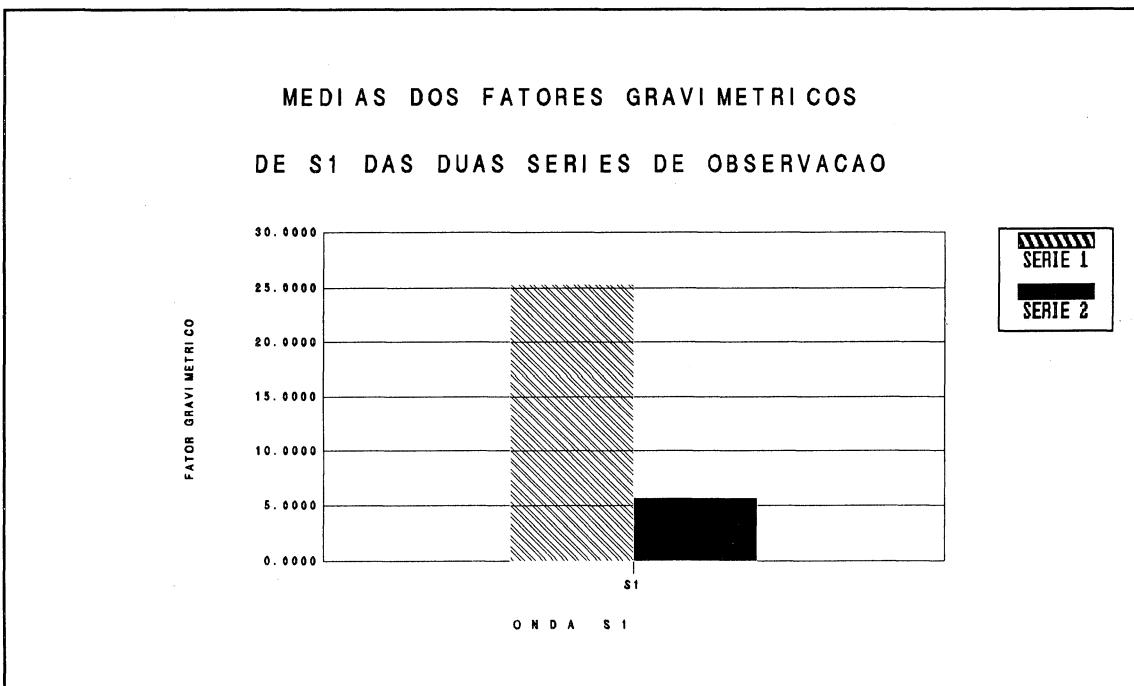


Fig.6.3.2 Comparação entre os fatores gravimétricos médios de S_1 das duas séries

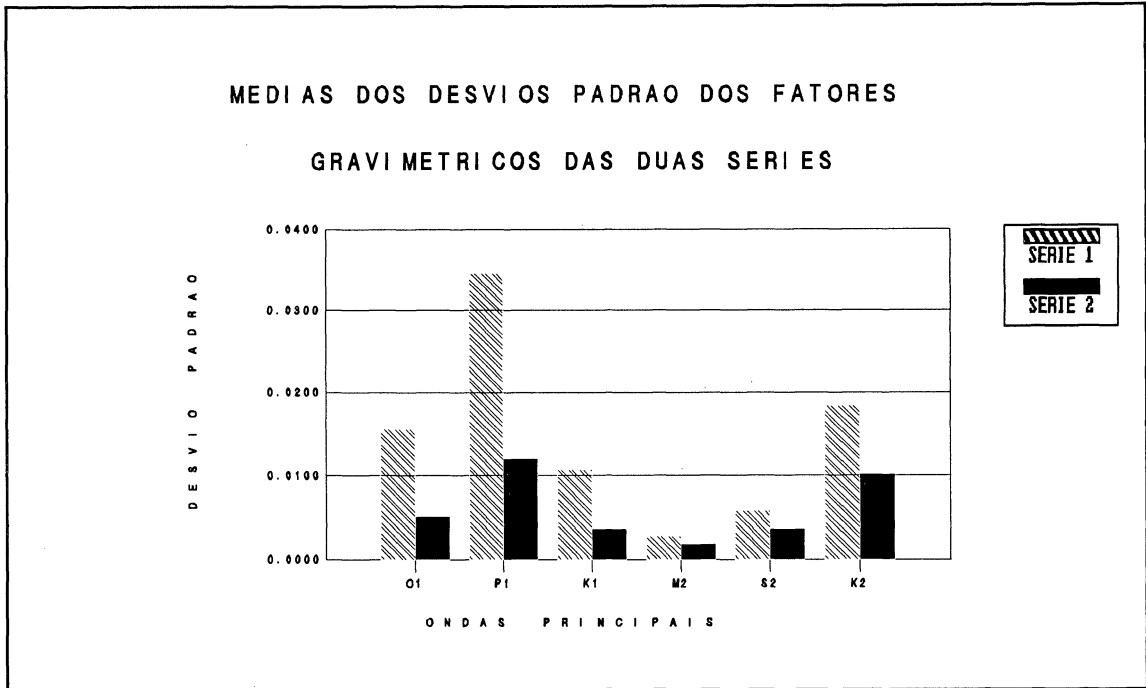


Fig. 6.3.3 Comparação entre as médias dos desvios padrão dos fatores gravimétricos das suas séries

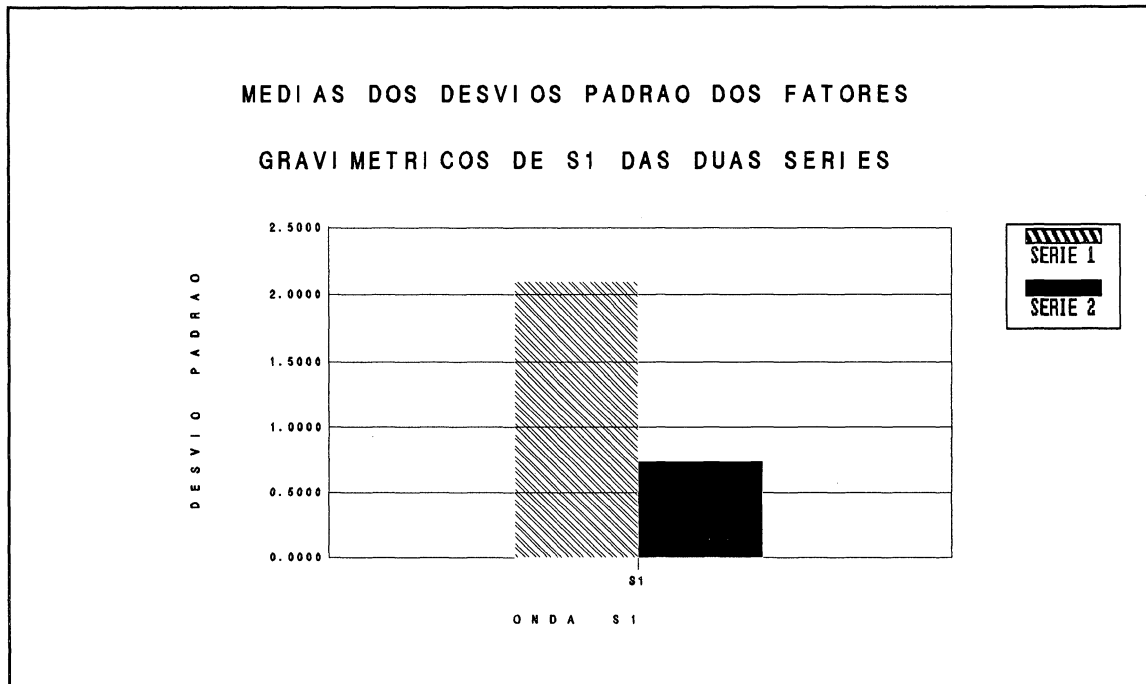


Fig. 6.3.4 Comparação entre as médias dos desvios padrão dos fatores gravimétricos de S1 das duas séries

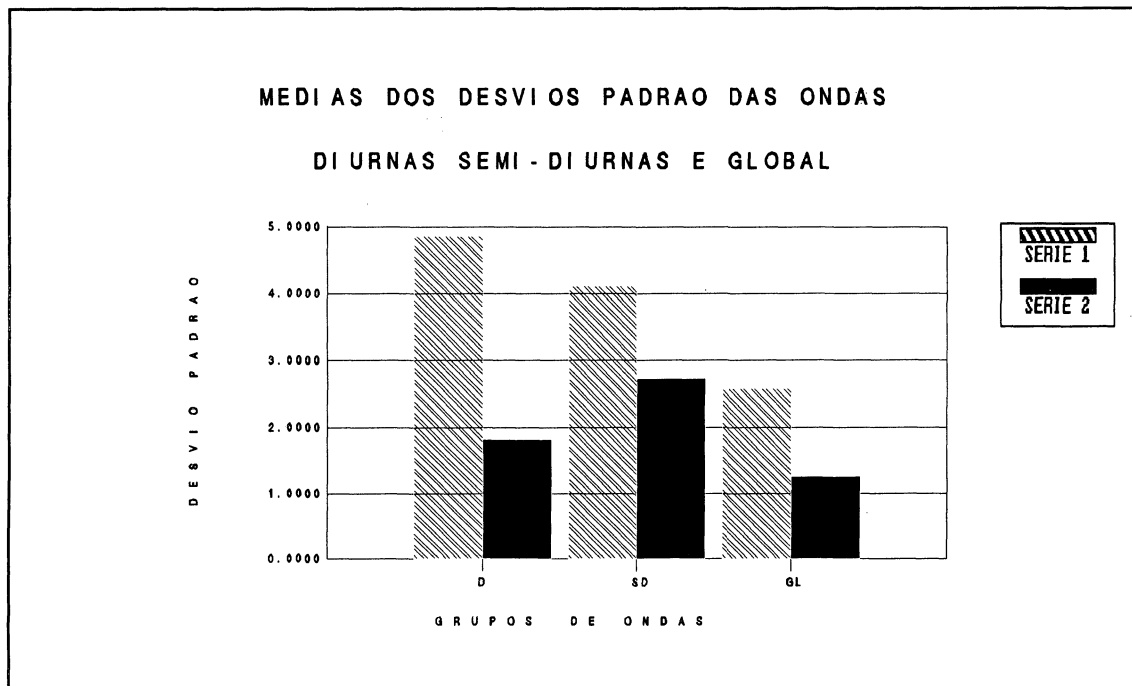


Fig. 6.3.5 Comparação entre os desvios padrões médios dos grupos de ondas diurnas, semi-diurnas e global das duas séries

| COMPARÇÃO ENTRE OS DESVIOS PADRÕES MÉDIOS DAS ONDAS DIURNAS, SEMI-DIURNAS E GLOBAL | | | |
|--|---------|--------------|--------|
| SÉRIE | DIURNAS | SEMI-DIURNAS | GLOBAL |
| 1ª | 4.866 | 4.111 | 2.584 |
| 2ª | 1.827 | 2.734 | 1.263 |

Tabela 6.3.3 Comparação entre os desvios padrões médios dos grupos de ondas diurnas, semi-diurnas e global das duas séries

Verifica-se nas tabelas e gráficos acima que o valor do fator gravimétrico da onda principal M_2 é o mesmo para ambas as séries. Pode-se ainda observar que o fator gravimétrico da onda S_1 da primeira série foi muito superior ao da segunda série. Isto indica que as ondas diurnas estão fortemente contaminadas por perturbações externas (variação da temperatura). Pois o período

da onda S_1 (24 horas) é da mesma ordem de grandeza da variação da temperatura.

Os desvios padrão dos principais grupos de ondas, assim como dos grupos de ondas diurnas, semi-diurnas e global da segunda série apresentam valores significativamente menores que os da primeira. Isto revela que a implantação do segundo termostato possibilitou uma melhoria na qualidade das observações, como era esperado.

CAPÍTULO VII

INVESTIGAÇÕES SOBRE A CORRELAÇÃO ENTRE AS OBSERVAÇÕES E A TEMPERATURA DA SALA

7.1 O PROGRAMA ETERNA - " EARTH TIDE ANALYSIS PROGRAM SYSTEM "

No capítulo anterior foram feitas as análises anuais das duas séries de observações com o programa GEZA sem levar em consideração a existência de correlação entre as observações e a temperatura da sala onde o gravímetro estava instalado.

Neste capítulo será investigado se tal correlação é *linear*, utilizando o programa de análise de marés terrestres, **ETERNA**, desenvolvido por H.G.Wenzel do "Geodetisches Institut - Universität Karlsruhe"(RFA).

A utilização do programa ETERNA foi devida à conjunção de vários fatores:

- 1º - facilidade de execução do mesmo, pois pode ser processado em microcomputadores tipo AT.
- 2º - o mesmo permite o ajustamento dos parâmetros de maré com os parâmetros meteorológicos (regressão linear simples)
- 3º - encontrava-se nesta fase de análises do presente trabalho quando se recebeu este sistema computacional.
- 4º - o programa GEZA ainda não se encontra implantado no computador central da UFPr devido a problemas de ordem técnica.

O programa ETERNA consiste na análise de observações **horárias** das marés terrestres, assim como nas análises das observações clinométricas (tilt observations). Baseia-se na combinação das idéias de CHOJNICKI (7), SCHUELLER(21) e WENZEL(26). Utiliza-se do modelo de Terra inelástica WHAR-DEHANT-ZSCHAU, podendo ser usado um dos três desenvolvimento de potencial de maré: TAMURA 1987, OU CARTWRIGHT-TAYLER-EDDEN-DOODSON 1973, ou de DOODSON 1921. O filtro numérico de PERTZEV com 51 coeficientes é empregado.

7.2 INVESTIGAÇÕES DA CORRELAÇÃO DA TEMPERATURA COM AS DUAS SÉRIES DE OBSERVAÇÕES

No capítulo VI verifica-se uma sensível melhora nos resultados obtidos com a segunda série de observações, onde foi utilizado o segundo termostato interno, como se viu nas Tabelas 6.3.1, 6.3.2 e 6.3.3.

Apesar disso, a onda S_1 continuou contaminada por sinais externos ao da maré. A variação da temperatura é a principal causa perturbadora na banda das frequências diurnas, pois apresentam frequência semelhante, aproximadamente $15^\circ/h$, às ondas diurnas.

Tendo este fato em mente, parece lógico investigar-se a correlação existente entre os sinais de maré e da temperatura. Para isto, utiliza-se o programa ETERNA com a finalidade de se analisar a existência de tal correlação, uma vez que o mesmo permite a utilização de parâmetros meteorológicos desde que a correlação (regressão) seja linear.

7.2.1 Análise global dos dados das duas séries com e sem a correlação da temperatura

Foi tomado o conjunto total de dados selecionados da 1ª série (outubro 1983 a maio 1985) e processados independentemente da temperatura obtendo-se um desvio padrão global dos grupos de ondas igual a $47.886 \text{ nm/s}^2 = 4.7886 \mu\text{Gal}$, como pode-se ver na Tabela 7.2.1.

Um valor igual a $47.335 \text{ nm/s}^2 = 4.7335 \mu\text{Gal}$ foi obtido quando o processamento dos mesmos, associados aos sinais de temperatura, foi realizado. Pôde-se constatar, assim, que os desvios padrão globais dos grupos de ondas encontrados, no processamento com e sem correlação da temperatura, praticamente permaneceram os mesmos. Indicando a aparente não correlação entre os sinais de maré e da temperatura. As Tabelas 7.2.1 e 7.2.2 mostram que os principais parâmetros de maré (fator gravimétrico e diferença de fase) não apresentaram alterações significativas.

O mesmo procedimento foi efetuado com o total de dados selecionados da 2ª série (janeiro 1988 a março 1989), obtendo-se os desvios padrão globais das análises:

1. sem a correlação da temperatura: $1.9865 \mu\text{Gal}$
2. com a correlação da temperatura: $1.9854 \mu\text{Gal}$

como pode ser visto nas Tabelas 7.2.3 e 7.2.4.

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|----------------------|-----------------|-----------|-------------------|---------------------|-----------------|--|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. XXX BRAZIL.83TOTST | | | | | | | | | | |
| FEDRAL UNIVERSY OF PARANÁ, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICALCOMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN-012 MODIFIED P/PROF.M.BONATZ ANALOG RECORDING. INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE; CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 4.2820 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: NO PARAMETER | | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | | |
| 1983.10. 1: 0...1983.10.10:23 1983.10.12: 0...1983.10.19:11 1983.10.29: 0...1983.11. 0:23 1983.11. 9: 0...1983.11.16:23 1983.11.18: 0...1983.11.20:23 1983.11.28:12...1983.12. 1:23 1983.12. 4:12...1983.12. 6:11 1983.12. 7: 0...1983.12. 9:11 1983.12.10: 0...1983.12.13:11 1983.12.16: 0...1983.12.27:11 1983.12.30:12...1984. 1. 3:11 1984. 1. 6:12...1984. 1. 9:23 1984. 1.21: 0...1984. 1.25:11 1984. 1.26:12...1984. 2. 4:11 1984. 2. 5:12...1984. 3. 6:11 1984. 3. 8:12...1984. 3.29:11 1984. 3.31: 0...1984. 4.25:11 1984. 4.30: 0...1984. 5.12:11 1984. 6. 2: 0...1984. 6. 7:11 1984. 6.19:12...1984. 6.24:11 1984. 6.28: 0...1984. 7. 1:23 1984. 7. 8: 0...1984. 7.21:11 1984. 7.30: 0...1984. 8. 2:23 1984. 8. 9: 0...1984. 8.18:11 1984. 8.19: 0...1984. 8.23:11 1984. 8.27: 0...1984. 9. 7:23 1984.10. 1: 0...1984.10. 6:11 1984.10. 8: 0...1984.10.12:23 1984.10.14:12...1984.10.17:11 1984.10.21: 0...1984.10.30:23 1984.11.14: 0...1984.11.17:23 1984.11.18:12...1984.11.28:11 1984.12. 6:12...1984.12. 7:23 1984.12. 9: 0...1984.12.13:11 1984.12.24:12...1985. 1. 0:23 1985. 1.14: 0...1985. 1.16:11 1985. 1.19:12...1985. 1.22:23 1985. 1.24: 0...1985. 3. 1:11 1985. 3. 4:12...1985. 3.11:11 1985. 3.14: 0...1985. 3.23:11 1985. 3.27:12...1985. 3.29:11 1985. 3.30:12...1985. 4. 1:11 1985. 4. 2: 0...1985. 4. 6:11 1985. 4. 7: 0...1985. 4. 9:11 1985. 4.15:12...1985. 4.18:11 1985. 4.20: 0...1985. 4.25:11 1985. 4.26:12...1985. 5. 0:23 | | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1983.10. 1. 0 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 356.5 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 3.7490 NM/S**2 2.0 CPD BAND 2.2785 NM/S**2 3.0 CPD BAND 1.2674 NM/S**2 4.0 CPD BAND .8900 NM/S**2 | | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. NM/S**2 | SIGNAL NOISE | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG DEGREE | STDV. DEGREE | |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 52.598 | 14.0 | 1.13757 | .08108 | 7.1971 | 4.0838 | |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 285.109 | 76.0 | 1.18061 | .01552 | .6842 | .7534 | |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 23.706 | 6.3 | 1.24820 | .19739 | 12.1052 | 9.0609 | |
| 4 | 531 | 547 | P1 | 119.045 | 31.8 | 1.05944 | .03336 | -1.7082 | 1.8044 | |
| 5 | 548 | 551 | S1 | 67.905 | 18.1 | 25.54583 | 1.41037 | -63.3397 | 3.1633 | |
| 6 | 552 | 585 | K1 | 382.334 | 102.0 | 1.12573 | .01104 | .6683 | .5618 | |
| 7 | 586 | 626 | J1 | 24.478 | 6.5 | 1.28887 | .19740 | -5.0204 | 8.7753 | |
| 8 | 627 | 731 | 001 | 12.901 | 3.4 | 1.24128 | .36071 | -5.1879 | 16.6500 | |
| 9 | 732 | 830 | 2N2 | 22.416 | 9.8 | 1.19989 | .12197 | 6.2882 | 5.8240 | |
| 10 | 831 | 880 | N2 | 140.711 | 61.8 | 1.20285 | .01948 | 1.3965 | .9278 | |
| 11 | 881 | 936 | M2 | 728.982 | 319.9 | 1.19310 | .00373 | 1.6254 | .1791 | |
| 12 | 937 | 975 | L2 | 22.339 | 9.8 | 1.29354 | .13194 | 3.0160 | 5.8439 | |
| 13 | 976 | 995 | S2 | 332.704 | 146.0 | 1.17039 | .00802 | 1.3149 | .3924 | |
| 14 | 996 | 1108 | K2 | 93.070 | 40.8 | 1.20419 | .02948 | 2.3739 | 1.4027 | |
| 15 | 1109 | 1190 | M3 | 13.114 | 10.3 | 1.20997 | .11694 | -4.2569 | 5.5374 | |
| 16 | 1191 | 1200 | M4 | .485 | .5 | 2.72162 | 4.99642 | -176.9122 | 105.1848 | |
| STANDARD DEVIATION | | | | | 47.886 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 6194 | | |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | | 47.886 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 6194 | | |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 1228.620 SECONDS | | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.1 Análise do total de observações da 1ª série sem a correlação com a temperatura

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------|-------------------|---------------------|-----------------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. XXX BRAZIL.83TOTH0 | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANÁ, CURITIBA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICALCOMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN-012 MODIFIED BY PROF.M.BONATZ ANALOG RECORDING. - INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 4.2820 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: TEMPERATURE - SHIFT = 0H | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | |
| 1983.10. 1: 0...1983.10.10:23 1983.10.12: 0...1983.10.19:11 1983.10.29: 0...1983.11. 0:23 1983.11. 9: 0...1983.11.16:23 1983.11.18: 0...1983.11.20:23 1983.11.28:12...1983.12. 1:23 1983.12. 4:12...1983.12. 9:11 1983.12.10: 0...1983.12.13:11 1983.12.16: 0...1983.12.27:11 1983.12.30:12...1984. 1. 3:11 1984. 1. 6:12...1984. 1. 9:23 1984. 1.21: 0...1984. 1.25:11 1984. 1.26:12...1984. 2. 4:11 1984. 2. 5:12...1984. 3. 6:11 1984. 3. 8:12...1984. 3.29:11 1984. 3.31: 0...1984. 4.25:11 1984. 4.30: 0...1984. 5.12:11 1984. 6. 2: 0...1984. 6. 7:11 1984. 6.10:12...1984. 6.12:11 1984. 6.14:12...1984. 6.15:11 1984. 6.16:12...1984. 6.17:23 1984. 6.19:12...1984. 6.24:11 1984. 6.28: 0...1984. 7. 1:23 1984. 7. 8: 0...1984. 7.21:11 1984. 7.30: 0...1984. 8. 2:23 1984. 8. 9: 0...1984. 8.18:11 1984. 8.19: 0...1984. 8.23:11 1984. 8.27: 0...1984. 9. 7:23 1984.10. 1: 0...1984.10. 6:11 1984.10. 8: 0...1984.10.12:23 1984.10.14:12...1984.10.17:11 1984.10.21: 0...1984.10.30:23 1984.11.14: 0...1984.11.17:23 1984.11.18:12...1984.11.28:11 1984.12. 6:12...1984.12. 7:23 1984.12. 9: 0...1984.12.13:11 1984.12.24:12...1985. 1. 0:23 1985. 1.14: 0...1985. 1.16:11 1985. 1.19:12...1985. 1.22:23 1985. 1.24: 0...1985. 3. 1:11 1985. 3. 4:12...1985. 3.11:11 1985. 3.14: 0...1985. 3.23:11 1985. 3.27:12...1985. 3.29:11 1985. 3.30:12...1985. 4. 1:11 1985. 4. 2: 0...1985. 4. 6:11 1985. 4. 7: 0...1985. 4. 9:11 1985. 4.10:12...1985. 4.11:11 1985. 4.15:12...1985. 4.18:11 1985. 4.20: 0...1985. 4.25:11 1985. 4.26:12...1985. 5. 0:23 | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1983.10. 1. 0 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 362.5 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 3.6016 NM/S**2 2.0 CPD BAND 2.2055 NM/S**2 3.0 CPD BAND 1.3211 NM/S**2 4.0 CPD BAND .8846 NM/S**2 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. NM/S**2 | SIGNAL NOISE | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG DEGREE | STDV. DEGREE |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 52.897 | 14.7 | 1.14404 | .07789 | 6.2949 | 3.9011 |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 285.616 | 79.3 | 1.18271 | .01491 | .6063 | .7225 |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 23.903 | 6.6 | 1.25856 | .18963 | 11.7724 | 8.6330 |
| 4 | 531 | 547 | P1 | 119.325 | 33.1 | 1.06193 | .03205 | -1.8803 | 1.7294 |
| 5 | 548 | 551 | S1 | 62.832 | 17.4 | 23.63719 | 1.35492 | -66.0765 | 3.2843 |
| 6 | 552 | 585 | K1 | 382.566 | 106.2 | 1.12642 | .01060 | .5939 | .5394 |
| 7 | 586 | 626 | J1 | 24.142 | 6.7 | 1.27119 | .18964 | -5.1657 | 8.5476 |
| 8 | 627 | 731 | OO1 | 13.158 | 3.7 | 1.26605 | .34653 | -4.8748 | 15.6825 |
| 9 | 732 | 830 | N2 | 22.738 | 10.3 | 1.21715 | .11806 | 6.3410 | 5.5575 |
| 10 | 831 | 880 | N2 | 140.697 | 63.8 | 1.20273 | .01885 | 1.4842 | .8981 |
| 11 | 881 | 936 | M2 | 728.731 | 330.4 | 1.19269 | .00361 | 1.6149 | .1734 |
| 12 | 937 | 975 | L2 | 22.143 | 10.0 | 1.28219 | .12771 | 2.7542 | 5.7068 |
| 13 | 976 | 995 | S2 | 332.073 | 150.6 | 1.16817 | .00776 | 1.2634 | .3805 |
| 14 | 996 | 1108 | K2 | 93.195 | 42.3 | 1.20580 | .02854 | 2.5035 | 1.3559 |
| 15 | 1109 | 1190 | M3 | 13.139 | 9.9 | 1.21233 | .12189 | -5.1891 | 5.7609 |
| 16 | 1191 | 1200 | M4 | .535 | .6 | 3.00245 | 4.96653 | -158.2079 | 94.7762 |
| STANDARD DEVIATION | | | | | 47.335 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 6253 | |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | | 47.335 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 6253 | |
| ADJUSTED METEOROLOGICAL OR HYDROLOGICAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | REGR.COEFF. | STDV. | PARAMETER | | | | | | |
| 1 | -56.68143 | 5.21550 | TEMPER. CELSIUS | | | | | | |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** | | | | | | | | | |
| ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 1253.400 SECONDS | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.2 Análise do total de observações da 1ª série com a correlação com a temperatura

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-----------|---------|-------------------|---------|-----------|---------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. XXX BRAZIL.88TOTST | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANÁ, CURITIBA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICAL COMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN02-12 MODIFIED ANALOG RECORDING. INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 1.785 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: NO PARAMETER | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | |
| 1988. 3. 1: 0...1988. 3. 6:11 1988. 3.13: 0...1988. 3.15:11 1988. 3.19: 0...1988. 3.20:23 1988. 3.23: 0...1988. 3.26:23 1988. 4. 3: 0...1988. 4. 4:11 1988. 4. 5: 0...1988. 4.10:11 1988. 4.12:12...1988. 4.15:11 1988. 4.19:12...1988. 4.25:11 1988. 4.30: 0...1988. 5.11:11 1988. 5.13: 0...1988. 6. 4:11 1988. 6. 5:12...1988. 6. 7:11 1988. 6.10: 0...1988. 6.15:11 1988. 6.20:12...1988. 6.23:11 1988. 6.24: 0...1988. 6.27:23 1988. 7.11:12...1988. 7.13:11 1988. 7.15: 0...1988. 7.26:11 1988. 7.28:12...1988. 8. 4:23 1988. 8.13: 0...1988. 8.22:11 1988. 8.25:12...1988. 8.29:11 1988. 9. 1: 0...1988. 9. 8:11 1988. 9. 9:12...1988. 9.13:11 1988. 9.14:12...1988. 9.19:11 1988. 9.27: 0...1988. 9.28:11 1988. 9.30: 0...1988.10. 3:11 1988.10. 6: 0...1988.10. 7:11 1988.10.10: 0...1988.10.13:11 1988.10.20: 0...1988.10.25:11 1988.10.30: 0...1988.11. 2:23 1988.11.10: 0...1988.11.29:11 1988.12. 2:12...1988.12. 9:11 1988.12.10: 0...1988.12.15:11 1988.12.16: 0...1989. 1. 3:23 1989. 1. 9: 0...1989. 1.18:23 1989. 1.21: 0...1989. 1.23:11 1989. 1.24:12...1989. 1.29:11 1989. 2. 6: 0...1989. 3. 4:11 1989. 3. 6: 0...1989. 3.10:11 1989. 3.14:12...1989. 3.20:11 1989. 3.21:12...1989. 3.30:11 | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1988. 3. 1. 0 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 263.5 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 1.9069 NM/S**2 2.0 CPD BAND 1.3342 NM/S**2 3.0 CPD BAND .6344 NM/S**2 4.0 CPD BAND .4414 NM/S**2 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. | SIGNAL | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG | STDV. |
| | | | | NM/S**2 | NOISE | | | DEGREE | DEGREE |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 58.296 | 30.6 | 1.26084 | .04124 | -.0815 | 1.8742 |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 291.144 | 152.7 | 1.20563 | .00790 | -.9169 | .3753 |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 21.284 | 11.2 | 1.12066 | .10041 | .6268 | 5.1334 |
| 4 | 531 | 547 | P1 | 138.786 | 72.8 | 1.23515 | .01697 | -1.5637 | .7872 |
| 5 | 548 | 551 | S1 | 14.873 | 7.8 | 5.59606 | .71749 | 21.9419 | 7.3461 |
| 6 | 552 | 585 | K1 | 393.631 | 206.4 | 1.15902 | .00561 | -.9544 | .2776 |
| 7 | 586 | 626 | J1 | 22.323 | 11.7 | 1.17545 | .10041 | 1.3097 | 4.8943 |
| 8 | 627 | 731 | 001 | 11.887 | 6.2 | 1.14383 | .18349 | -5.1841 | 9.1911 |
| 9 | 732 | 830 | 2N2 | 21.326 | 16.0 | 1.14155 | .07142 | 4.7977 | 3.5846 |
| 10 | 831 | 880 | N2 | 141.751 | 106.2 | 1.21173 | .01141 | 1.7700 | .5393 |
| 11 | 881 | 936 | M2 | 728.985 | 546.4 | 1.19310 | .00218 | 1.2593 | .1049 |
| 12 | 937 | 975 | L2 | 18.320 | 13.7 | 1.06078 | .07726 | 4.0342 | 4.1728 |
| 13 | 976 | 995 | S2 | 335.728 | 251.6 | 1.18102 | .00469 | .8989 | .2277 |
| 14 | 996 | 1108 | K2 | 90.113 | 67.5 | 1.16599 | .01726 | 1.2408 | .8483 |
| 15 | 1109 | 1190 | M3 | 13.453 | 21.2 | 1.24131 | .05853 | -2.0302 | 2.7018 |
| 16 | 1191 | 1200 | M4 | .595 | 1.3 | 3.34267 | 2.47786 | 152.9637 | 42.4723 |
| STANDARD DEVIATION | | | | 19.865 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | | 4390 | |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | 19.865 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | | 4390 | |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** | | | | | | | | | |
| ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 875.630 SECONDS | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.3 Análise do total de observações da 2ª série sem a correlação com a temperatura

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | |
|--|-------------|------|------|-----------|-----------------|-----------|---------|-----------|---------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. 7305 BRAZIL.88TOTH0 | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANÁ, CURITIBA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICAL COMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN02-12 MODIFIED BY PROF.M.BONATZ ANALOG RECORDING. INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 1.785 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: TEMPERATURE - SHIFT = 0H | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | |
| 1988. 3. 1: 0...1988. 3. 6:11 1988. 3.13: 0...1988. 3.15:11 1988. 3.19: 0...1988. 3.20:23 1988. 3.23: 0...1988. 3.26:23 1988. 4. 3: 0...1988. 4. 4:11 1988. 4. 5: 0...1988. 4.10:11 1988. 4.12:12...1988. 4.15:11 1988. 4.19:12...1988. 4.25:11 1988. 4.30: 0...1988. 5.11:11 1988. 5.13: 0...1988. 6. 4:11 1988. 6. 5:12...1988. 6. 7:11 1988. 6.10: 0...1988. 6.15:11 1988. 6.20:12...1988. 6.23:11 1988. 6.24: 0...1988. 6.27:23 1988. 7.11:12...1988. 7.13:11 1988. 7.15: 0...1988. 7.26:11 1988. 7.28:12...1988. 8. 4:23 1988. 8.13: 0...1988. 8.22:11 1988. 8.25:12...1988. 8.29:11 1988. 9. 1: 0...1988. 9. 8:11 1988. 9. 9:12...1988. 9.13:11 1988. 9.14:12...1988. 9.19:11 1988. 9.27: 0...1988. 9.28:11 1988. 9.30: 0...1988.10. 3:11 1988.10. 6: 0...1988.10. 7:11 1988.10.10: 0...1988.10.13:11 1988.10.20: 0...1988.10.25:11 1988.10.30: 0...1988.11. 2:23 1988.11.10: 0...1988.11.29:11 1988.12. 2:12...1988.12. 9:11 1988.12.10: 0...1988.12.15:11 1988.12.16: 0...1989. 1. 3:23 1989. 1. 9: 0...1989. 1.18:23 1989. 1.21: 0...1989. 1.23:11 1989. 1.24:12...1989. 1.29:11 1989. 2. 6: 0...1989. 3. 4:11 1989. 3. 6: 0...1989. 3.10:11 1989. 3.14:12...1989. 3.20:11 1989. 3.21:12...1989. 3.30:11 | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1983.10. 1. 0 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 263.5 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. UNITY WINDOW USED FOR LEAST SQUARES ADJUSTMENT NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 1.9033 NM/S**2 2.0 CPD BAND 1.3392 NM/S**2 3.0 CPD BAND .6359 NM/S**2 4.0 CPD BAND .4434 NM/S**2 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. | SIGNAL | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG | STDV. |
| | | | | NM/S**2 | NOISE | | | DEGREE | DEGREE |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 58.259 | 30.6 | 1.26001 | .04116 | -.0785 | 1.8718 |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 291.130 | 153.0 | 1.20554 | .00788 | -.9255 | .3746 |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 21.307 | 11.2 | 1.12185 | .10021 | .5449 | 5.1181 |
| 4 | 531 | 547 | P1 | 138.756 | 72.9 | 1.23486 | .01694 | -1.5373 | .7859 |
| 5 | 548 | 551 | S1 | 14.878 | 7.8 | 5.59702 | .71600 | 22.0782 | 7.3296 |
| 6 | 552 | 585 | K1 | 393.662 | 206.8 | 1.15909 | .00560 | -.9643 | .2770 |
| 7 | 586 | 626 | J1 | 22.292 | 11.7 | 1.17376 | .10022 | 1.2200 | 4.8919 |
| 8 | 627 | 731 | 001 | 11.884 | 6.2 | 1.14346 | .18312 | -5.1576 | 9.1758 |
| 9 | 732 | 830 | 2N2 | 21.308 | 15.9 | 1.14060 | .07169 | 4.7957 | 3.6011 |
| 10 | 831 | 880 | N2 | 141.755 | 105.8 | 1.21177 | .01145 | 1.7662 | .5413 |
| 11 | 881 | 936 | M2 | 728.942 | 544.3 | 1.19304 | .00219 | 1.2405 | .1053 |
| 12 | 937 | 975 | L2 | 18.398 | 13.7 | 1.06533 | .07755 | 4.1890 | 4.1707 |
| 13 | 976 | 995 | S2 | 335.841 | 250.8 | 1.18143 | .00471 | .8835 | .2285 |
| 14 | 996 | 1108 | K2 | 90.116 | 67.3 | 1.16596 | .01733 | 1.2341 | .8515 |
| 15 | 1109 | 1190 | M3 | 13.451 | 21.2 | 1.24109 | .05867 | -2.0190 | 2.7086 |
| 16 | 1191 | 1200 | M4 | .606 | 1.4 | 3.40294 | 2.48938 | 151.7594 | 41.9140 |
| STANDARD DEVIATION 19.854 NM/S**2 DEGREE OF FREEDOM 4389 STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT 19.854 NM/S**2 DEGREE OF FREEDOM 4389 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED METEOROLOGICAL OR HYDROLOGICAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | REGR.COEFF. | | | STDV. | PARAMETER | | | | |
| 1 | -2.88882 | | | 1.19887 | TEMPER. CELSIUS | | | | |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** ROUTINE ETEXT1. EXECUTION TIME= 885.570 SECONDS | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.4 Análise do total de observações da 2ª série com a correlação com a temperatura

7.2.2 Análises parciais com o deslocamento (shift) horário da temperatura

Procurou-se, aqui, investigar se a resposta do gravímetro às variações da temperatura não apresentavam um certo retardo na saída dos sinais de maré, isto é, a perturbação ao sinal da gravidade corresponderia a uma variação da temperatura ocorrida há, por exemplo, uma hora atrás. A Fig. 7.2.1 mostra um exemplo de correlação.

Fig.7.2.1 Exemplo de correlação linear

Foi tomada uma amostra das observações horárias das marés e da temperatura. Os registros de temperatura foram deslocados (shift), em relação a um dado sinal de maré, de tal forma que o primeiro deslocamento foi de uma hora, o segundo de duas horas, etc, e o último de 10 horas, totalizando 10 deslocamentos. Posteriormente, os sinais de marés associados aos da temperatura, foram processados.

7.2.3 Análises com uma amostra das observações da 1ª série - Fevereiro à Abril de 1984

Inicialmente foi efetuada a análise da amostra sem levar em consideração a variação da temperatura. Em seguida a mesma foi analisada associada aos sinais da temperatura, porém com deslocamento (shift) nulo do sinal da temperatura. As Tabelas 7.2.5 e 7.2.6 mostram os desvios padrões globais dos grupos de ondas, obtendo-se $4.3463 \mu\text{Gal}$ e $4.3123 \mu\text{Gal}$; indicando a não existência de correlação linear.

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|----------------------|------------------|-----------|----------|---------------------|-------------------|------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. XXX BRAZIL.83PARST | | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANÁ, CURITIBA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICAL COMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN-012 MODIFIED BY PROF.M.BONATZ ANALOG RECORDING. - INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA. PROVISIONAL CALIBRATION 4.2820 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: NO PARAMETER | | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | | |
| 1984. 2. 5:12...1984. 3. 6:11 1984. 3. 8:12...1984. 3.29:11 1984. 3.31: 0...1984. 4.25:11 | | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1984. 2. 5.12 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 76.5 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 7.8031 NM/S**2 2.0 CPD BAND 2.9632 NM/S**2 3.0 CPD BAND 1.7942 NM/S**2 4.0 CPD BAND 1.8307 NM/S**2 | | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. NM/S**2 | SIGNAL/ NOISE | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG DEGREE | STDV. DEGREE | |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 67.478 | 8.6 | 1.45942 | .16876 | 5.3312 | 6.6256 | |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 275.924 | 35.4 | 1.14258 | .03231 | .4875 | 1.6203 | |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 24.061 | 3.1 | 1.26688 | .41086 | 8.0377 | 18.5814 | |
| 4 | 531 | 585 | K1 | 375.164 | 48.1 | 1.10463 | .02298 | -5.2998 | 1.1917 | |
| 5 | 586 | 626 | J1 | 24.966 | 3.2 | 1.31460 | .41087 | -13.0922 | 17.9076 | |
| 6 | 627 | 731 | 001 | 11.811 | 1.5 | 1.13643 | .75079 | 16.4793 | 37.8528 | |
| 7 | 732 | 830 | 2N2 | 21.373 | 7.2 | 1.14408 | .15862 | 3.7201 | 7.9435 | |
| 8 | 831 | 880 | N2 | 140.975 | 47.6 | 1.20510 | .02533 | 1.6379 | 1.2043 | |
| 9 | 881 | 936 | M2 | 725.882 | 245.0 | 1.18803 | .00485 | 2.0104 | .2339 | |
| 10 | 937 | 975 | L2 | 20.339 | 6.9 | 1.17772 | .17158 | 1.7213 | 8.3474 | |
| 11 | 976 | 1108 | S2 | 335.474 | 113.2 | 1.18013 | .01042 | 2.0330 | .5061 | |
| 12 | 1109 | 1190 | M3 | 13.907 | 7.8 | 1.28318 | .16554 | -2.2668 | 7.3917 | |
| 13 | 1191 | 1200 | M4 | .641 | .3 | 3.59604 | 10.27779 | -154.1873 | 163.7563 | |
| STANDARD DEVIATION | | | | | | | 43.463 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 1660 |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | | | | 43.463 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 1660 |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 329.610 SECONDS | | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.5 Análise parcial da 1ª série (fevereiro a abril 1984) sem a correlação da temperatura

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | |
|--|-------------|------|------|----------------------|------------------|-----------|-------------------|---------------------|-----------------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. 7305 BRAZIL.83PARHO | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANÁ, CURITIBA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICALCOMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN-012 MODIFIED BY PROF.M.BONATZ ANALOG RECORDING. - INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 4.2820 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: TEMPERATURE - SHIFT = H0 SCALE FACTOR TEMPERATURE: 5°C/250MM = 0.02°C/MM = 0.002°C/DIGITAL UNIT | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | |
| 1984. 2. 5:12...1984. 3. 6:11 1984. 3. 8:12...1984. 3.29:11 1984. 3.31: 0...1984. 4.25:11 | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1984. 2. 5.12 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 76.5 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 7.4779 NM/S**2 2.0 CPD BAND 2.9462 NM/S**2 3.0 CPD BAND 1.8195 NM/S**2 4.0 CPD BAND 1.8147 NM/S**2 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. NM/S**2 | SIGNAL/ NOISE | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG DEGREE | STDV. DEGREE |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 66.726 | 8.9 | 1.44315 | .16173 | 4.9512 | 6.4210 |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 276.756 | 37.0 | 1.14603 | .03097 | .4134 | 1.5481 |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 24.368 | 3.3 | 1.28304 | .39373 | 7.6552 | 17.5826 |
| 4 | 531 | 585 | K1 | 377.026 | 50.4 | 1.11011 | .02202 | -4.9075 | 1.1364 |
| 5 | 586 | 626 | J1 | 24.477 | 3.3 | 1.28884 | .39375 | -13.4630 | 17.5042 |
| 6 | 627 | 731 | 001 | 12.032 | 1.6 | 1.15768 | .71950 | 14.4771 | 35.6093 |
| 7 | 732 | 830 | 2N2 | 21.345 | 7.2 | 1.14258 | .15771 | 2.7016 | 7.9084 |
| 8 | 831 | 880 | N2 | 141.488 | 48.0 | 1.20949 | .02519 | 1.7683 | 1.1931 |
| 9 | 881 | 936 | M2 | 725.733 | 246.3 | 1.18778 | .00482 | 2.0368 | .2326 |
| 10 | 937 | 975 | L2 | 20.551 | 7.0 | 1.18998 | .17060 | 2.2095 | 8.2139 |
| 11 | 976 | 1108 | S2 | 335.497 | 113.9 | 1.18021 | .01036 | 2.0830 | .5032 |
| 12 | 1109 | 1190 | M3 | 14.116 | 7.8 | 1.30242 | .16788 | -1.1398 | 7.3852 |
| 13 | 1191 | 1200 | M4 | .492 | .3 | 2.76311 | 10.18806 | -140.1094 | 211.2589 |
| STANDARD DEVIATION | | | | | 43.123 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | | 1659 |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | | 43.123 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | | 1659 |
| ADJUSTED METEOROLOGICAL OR HYDROLOGICAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | REGR.COEFF. | | | STDV. | | | PARAMETER | | |
| 1 | -44.27099 | | | 8.47773 | | | TEMPER. CELSIUS | | |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 332.740 SECONDS | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.6 Análise parcial da 1ª série (fevereiro a abril 1984) com a correlação da temperatura

O passo seguinte foi o processamento dos 10 conjuntos de observações com deslocamentos horários da temperatura. Foram encontrados os valores, mostrados na Tabela 7.2.7, para os desvios padrão globais dos grupos de ondas e os respectivos coeficientes de regressão.

| 1ª SÉRIE - ANÁLISE DA AMOSTRA (FEVEREIRO - ABRIL 1984) CORRELACIONADAS COM A TEMPERATURA - DESLOCAMENTO (SHIFT) HORÁRIO | | |
|--|--------------------------------------|---|
| DESLOCAMENTO (SHIFT) | DESVIO PADRÃO GLOBAL μGal | COEF. DE REGRESSÃO $\mu\text{Gal}/^{\circ}\text{C}$ |
| H1 = 1 HORA | 4.3260 | -3.4666 |
| H2 = 2 HORAS | 4.3391 | -2.1727 |
| H3 = 3 HORAS | 4.3474 | 3.4444 |
| H4 = 4 HORAS | 4.3349 | 2.6430 |
| H5 = 5 HORAS | 4.3085 | 4.6191 |
| H6 = 6 HORAS | 4.2891 | 5.6325 |
| H7 = 7 HORAS | 4.2605 | 6.8449 |
| H8 = 8 HORAS | 4.2521 | 7.1629 |
| H9 = 9 HORAS | 4.2521 | 7.1596 |
| H10 = 10 HORAS | 4.2839 | 5.8582 |

Tabela 7.2.7 Deslocamento (shift) horário da temperatura - Desvios padrões globais dos grupos de ondas e seus respectivos coeficientes de regressão

Pode-se observar na tabela acima que os desvios padrão não foram alterados significativamente, indicando que se existe a correlação entre os dois sinais a mesma não deve ser linear.

7.2.3 Análises com uma amostra das observações da 2ª série Outubro 1988 à Fevereiro 1989

Procedimento análogo ao da 1ª série foi realizado com a amostra da 2ª série. As Tabelas 7.2.8 e 7.2.9 mostram os desvios padrão globais dos grupos de ondas sem e com a correlação da temperatura respectivamente. Os resultados obtidos foram:

1. análise sem a correlação da temperatura d.p. = 1.6814 μGal
2. análise com deslocamento nulo da temperatura d.p. = 1.6814 μGal

| PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|----------------------|-----------------|-----------|---------|---------------------|-----------------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. 7305 BRAZIL.88PARST | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANÁ, CURITIBA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICAL COMPONENT. GRAVIMETER ASKANIA NO. BN02-12 MODIFIED BY PROF.M.BONATZ. ANALOG RECORDING. INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 1.785 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: NO PARAMETER | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | |
| 1988.11.10: 0...1988.11.29:11 1988.12. 2:12...1988.12. 9:11 1988.12.10: 0...1988.12.15:11 1988.12.16: 0...1989. 1. 3:23 1989. 1. 9: 0...1989. 1.18:23 1989. 1.21: 0...1989. 1.23:11 1989. 1.24:12...1989. 1.29:11 1989. 2. 6: 0...1989. 3. 4:11 | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1988.11.10. 0 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 95.0 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. UNITY WINDOW USED FOR LEAST SQUARES ADJUSTMENT. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 2.3876 NM/S**2 2.0 CPD BAND 1.3808 NM/S**2 3.0 CPD BAND .7482 NM/S**2 4.0 CPD BAND .6188 NM/S**2 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. NM/S**2 | SIGNAL NOISE | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG DEGREE | STDV. DEGREE |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 57.469 | 24.1 | 1.24296 | .05164 | 1.9904 | 2.3804 |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 291.202 | 122.0 | 1.20587 | .00989 | -.7325 | .4698 |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 22.195 | 9.3 | 1.16865 | .12572 | 2.7061 | 6.1635 |
| 4 | 531 | 585 | K1 | 401.679 | 168.2 | 1.18272 | .00703 | -.5842 | .3406 |
| 5 | 586 | 626 | J1 | 23.941 | 10.0 | 1.26064 | .12572 | 1.6721 | 5.7139 |
| 6 | 627 | 731 | 001 | 13.186 | 5.5 | 1.26877 | .22974 | -4.3584 | 10.3749 |
| 7 | 732 | 830 | 2N2 | 19.874 | 14.4 | 1.06383 | .07391 | 7.6389 | 3.9808 |
| 8 | 831 | 880 | N2 | 139.900 | 101.3 | 1.19591 | .01180 | 1.7101 | .5655 |
| 9 | 881 | 936 | M2 | 732.336 | 530.4 | 1.19859 | .00226 | 1.3620 | .1080 |
| 10 | 937 | 975 | L2 | 19.717 | 14.3 | 1.14168 | .07995 | 4.9401 | 4.0125 |
| 11 | 976 | 1108 | S2 | 338.212 | 244.9 | 1.18976 | .00486 | 1.2680 | .2339 |
| 12 | 1109 | 1190 | M3 | 13.223 | 17.7 | 1.22000 | .06904 | -1.5556 | 3.2422 |
| 13 | 1191 | 1200 | M4 | .451 | .7 | 2.53314 | 3.47435 | -128.6541 | 78.5845 |
| STANDARD DEVIATION | | | | | | 16.814 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 1854 |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | | | 16.814 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 1854 |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 365.700 SECONDS | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.8 Análise parcial da 2ª série (novembro 1988 a fevereiro 1989) sem a correlação da temperatura

| 1PROGRAM ETERNA, VERSION 2.1 910316 FORTRAN 77. | | | | | | | | | |
|--|-------------|------|------|----------------------|------------------|-------------------|---------|---------------------|-----------------|
| GRAVIMETRIC EARTH TIDE STATION CURITIBA NR. 7305 BRAZIL. 88PARHO | | | | | | | | | |
| FEDERAL UNIVERSITY OF PARANA, BRAZIL. -25.5442N 310.7623E H910M - VERTICAL COMPONENT GRAVIMETER ASKANIA NO. BN02-A2 MODIFIED BY PROF.M.BONATZ ANALOG RECORDING. - INSTALLATION M. BONATZ, BONN/FRG. MAINTENANCE O.H.S. LEITE, CURITIBA/BR. PROVISIONAL CALIBRATION 1.785 NM/S**2 PER DIGITAL UNIT. METEOROLOGICAL PARAMETER: TEMPERATURE SCALE FACTOR TEMPERATURE: 5 CELS/250MM = 0.02 C/MM = 0.002 C/DIGITAL UNIT. | | | | | | | | | |
| SUMMARY OF OBSERVATION DATA : | | | | | | | | | |
| 1988.11.10: 0...1988.11.29:11 1988.12. 2:12...1988.12. 9:11 1988.12.10: 0...1988.12.15:11 1988.12.16: 0...1989. 1. 3:23 1989. 1. 9: 0...1989. 1.18:23 1989. 1.21: 0...1989. 1.23:11 1989. 1.24:12...1989. 1.29:11 1989. 2. 6: 0...1989. 3. 4:11 | | | | | | | | | |
| INITIAL EPOCH FOR TIDAL FORCE : 1988.11.10. 0 NUMBER OF RECORDED DAYS IN TOTAL : 95.0 TAMURA 1987 TIDAL POTENTIAL USED. WAHR-DEHANT-ZSCHAU INELASTIC EARTH MODEL USED FOR A PRIORI AMPLITUDES. UNITY WINDOW USED FOR LEAST SQUARES ADJUSTMENT. NUMERICAL FILTER IS PERTZEV 1959 WITH 51 COEFFICIENTS. | | | | | | | | | |
| ESTIMATION OF NOISE BY FOURIER-SPECTRUM OF RESIDUALS | | | | | | | | | |
| 0.1 CPD BAND 9999.9999 NM/S**2 1.0 CPD BAND 2.3803 NM/S**2 2.0 CPD BAND 1.3870 NM/S**2 3.0 CPD BAND .7490 NM/S**2 | | | | | | | | | |
| ADJUSTED TIDAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | FROM | TO | WAVE | OBS.AMPL. NM/S**2 | SIGNAL/ NOISE | AMPL.FAC. | STDV. | PHASE LAG DEGREE | STDV. DEGREE |
| 1 | 282 | 424 | Q1 | 57.441 | 24.1 | 1.24235 | .05148 | 1.9646 | 2.3743 |
| 2 | 425 | 482 | O1 | 291.184 | 122.3 | 1.20579 | .00986 | -.7361 | .4684 |
| 3 | 483 | 530 | M1 | 22.188 | 9.3 | 1.16828 | .12533 | 2.6996 | 6.1466 |
| 4 | 531 | 585 | K1 | 401.696 | 168.8 | 1.18277 | .00701 | -.5833 | .3395 |
| 5 | 586 | 626 | J1 | 23.938 | 10.1 | 1.26048 | .12534 | 1.6763 | 5.6973 |
| 6 | 627 | 731 | 001 | 13.173 | 5.5 | 1.26752 | .22904 | -4.3519 | 10.3534 |
| 7 | 732 | 830 | 2N2 | 19.889 | 14.3 | 1.06463 | .07424 | 7.6375 | 3.9957 |
| 8 | 831 | 880 | N2 | 139.884 | 100.9 | 1.19577 | .01186 | 1.7190 | .5681 |
| 9 | 881 | 936 | M2 | 732.327 | 528.0 | 1.19857 | .00227 | 1.3591 | .1085 |
| 10 | 937 | 975 | L2 | 19.745 | 14.2 | 1.14331 | .08031 | 5.0418 | 4.0248 |
| 11 | 976 | 1108 | S2 | 338.269 | 243.9 | 1.18996 | .00488 | 1.2659 | .2349 |
| 12 | 1109 | 1190 | M3 | 13.213 | 17.6 | 1.21912 | .06911 | -1.4917 | 3.2479 |
| 13 | 1191 | 1200 | M4 | .456 | .7 | 2.55969 | 3.48530 | -129.4767 | 78.0146 |
| STANDARD DEVIATION | | | | 16.814 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 1853 | | |
| STANDARD DEVIATION OF WEIGHT UNIT | | | | 16.814 | NM/S**2 | DEGREE OF FREEDOM | 1853 | | |
| ADJUSTED METEOROLOGICAL OR HYDROLOGICAL PARAMETERS : | | | | | | | | | |
| NO. | REGR.COEFF. | | | STDV. | PARAMETER | | | | |
| 1 | -1.42484 | | | 1.43176 | TEMPER. CELSIUS | | | | |
| ***** PROGRAM ETERNA FINISHED EXECUTION ***** ROUTINE ETEXTI. EXECUTION TIME= 369.870 SECONDS | | | | | | | | | |

Tabela 7.2.9 Análise parcial da 2ª série (novembro 1988 a fevereiro 1989) com a correlação da temperatura

A Tabela 7.2.10 mostra os desvios padrão globais dos grupos de ondas advindos do processamento de 10 conjuntos de observações com deslocamento horário da temperatura.

| 2ª SÉRIE - ANÁLISE DA AMOSTRA (OUTUBRO 1988 - FEVEREIRO 1989) CORRELACIONADAS COM A TEMPERATURA - DESLOCAMENTO (SHIFT) HORÁRIO | | |
|--|--------------------------------------|---|
| DESLOCAMENTO (SHIFT) | DESVIO PADRÃO GLOBAL μGal | COEF. DE REGRESSÃO $\mu\text{Gal}/^{\circ}\text{C}$ |
| H1 = 1 HORA | 1.6815 | -0.1306 |
| H2 = 2 HORAS | 1.6802 | -0.7378 |
| H3 = 3 HORAS | 1.6815 | -0.1313 |
| H4 = 4 HORAS | 1.6807 | -0.2313 |
| H5 = 5 HORAS | 1.6806 | -0.2382 |
| H6 = 6 HORAS | 1.6818 | -0.0224 |
| H7 = 7 HORAS | 1.6810 | 0.1983 |
| H8 = 8 HORAS | 1.6814 | 0.1368 |
| H9 = 9 HORAS | 1.6805 | 0.2461 |
| H10 = 10 HORAS | 1.6701 | 0.4905 |

Tabela 7.2.10 Deslocamento (shift) horário da temperatura - Desvios padrões globais dos grupos de ondas e seus respectivos coeficientes de regressão

Finalmente verificamos, mais uma vez, que os desvios padrão globais dos grupos de ondas da segunda amostra também não apresentaram alterações significativas quando os sinais foram correlacionados linearmente com a temperatura; assim podemos dizer que se houver correlação, esta deve ser não linear.

Investigações da não linearidade da correlação entre os sinais de maré e os sinais de temperatura são sugeridas aqui, porém as mesmas fogem ao objetivo desta tese.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES

Após as investigações efetuadas com as duas séries de observações de maré obtidas com o gravímetro **Askania BN02 - GS12**, podemos relatar o que se segue.

- 1ª. As análises iniciais mostraram uma mudança brusca no fator de calibração das duas séries. Este fato nos obrigou a efetuar uma rigorosa investigação na busca da época do evento e então a normalização das duas séries. Em seguida procedeu-se uma cuidadosa seleção das observações.
- 2ª. Após a seleção dos dados e análises anuais das duas séries de observações, verificou-se, através dos desvios padrões dos principais grupos de ondas, que a qualidade das medidas melhorou significativamente com a introdução de um segundo termostato interno ao gravímetro. Tal fato pode ser visto na Tabela 6.3.3, como era esperado, pois a implantação do termostato nos proporcionou as investigações realizadas neste trabalho.
- 3ª. Mesmo após a melhoria obtida com as novas observações (2ª série), constatou-se que a onda diurna S_1 permaneceu severamente perturbada por sinais externos. Sinais estes de caráter meteorológicos (variação da temperatura) e que possuem frequências aproximadamente iguais à frequência de S_1 ($15^\circ/h$). Tendo isto em mente, procurou-se estabelecer uma correlação linear entre os sinais de maré e os sinais da temperatura. Análises realizadas com o programa ETERNA mostraram, infelizmente, que a correlação não é linear. Como pode ser visto no capítulo VII.

- 4º Propomos, aqui, que sejam efetuadas investigações futuras entre os registros de maré e os sinais meteorológicos, com a finalidade de estudar a correlação não linear entre os mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BALENKO,V.G.; Novikova A.N.; Korba S.N.; Determination des amplitudes et des phases des composantes de l'onde météorologique diurne dans les observations des marées terrestres. Bulletin d'Information de Marées Terrestres, n° 79, pp. 4750-4755, Bruxelles, 1978.
- [02] BIGARELLA,J.J.; Salamuni,R.; Caracteres texturais dos sedimentos da bacia de Curitiba. Boletim da UFPR - Geologia, n° 7, 1ª parte, pp. 15-46, Curitiba,1962.
- [03] BULLESFELD,F.J.; Ein Beitrag zur harmonischen Darstellung des Gezeitenzeugenden Potentials, Dissertation; Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C314, München, 1985
- [04] CARTWRIGHT,D.E.; Tayler, R.J.; New Computations of the Tide-Generating Potential; Geophysical Journal Review, vol.n° 23, pp. 45-74, London, 1971.
- [05] CARTWRIGHT,D.E.; Tayler, R.J.; Edden A.C.; Corrected Tables of Tidal Harmonics; Geophics Journal Review, vol.n° 33, pp. 253-264, London, 1972.
- [06] CANALI, N.E.; Muratori A.M.; Síntese da evolução geomorfológica da bacia sedimentar de Curitiba, 3º Simpósio Regional de Geologia - Soc.Bras.Cartografia, vol. n° 2, pp. 366-369, Curitiba,1981.
- [07] CHOJNICKI, T.; Eien Verfahren zur Erdgezeitenanalyse in Anlehnung an das Prinzip der kleinsten Quadrate, Mitteilungen aus dem Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn, n° 15, Bonn, 1976.
- [08] GEMAEL, C.; Marés Terrestres:Aplicações Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.
- [09] GEMAEL, C.; O Programa de Marés Terrestres da UFPR: Sua Importância Geodésica, Revista Brasileira de Geofísica, vol.n° 4, pp. 85-89, 1986.
- [10] DOUBIK, B.s.; Novikova, A.N.; Sur les erreurs des parametres déterminés à partir des observations de marées terrestres; Bulletin d'Information de Marées Terrestres, n° 90, pp. 5929-5931,Bruxelles, 1983.
- [11] GIUSTI, A.D.;Contribuição à Geologia Ambiental no Municipio de Curitiba, Tese de Mestrado, Universidade São Paulo, 1989.

- [12] GODIN, G.; The Analysis of Tides, University of Toronto Press, 1st, pp. 264, Toronto, 1972.
- [13] GOLOUBITSKII, V.G.; Doubik, B.S.; Slavinskaia, E.A.; Sur l'Influence des variations de la pression atmosphérique sur les inclinaisons de marées de la surface de la Terre, Bulletin d'Information de Marées Terrestres, vol.72, pp.5122-5127, Bruxelles, 1979.
- [14] GROTEN, E.; Geodesy and Earth's Gravity Field, Ümmler Verlag, vol.II, pp.411-723, Bonn, 1979.
- [15] LOPES, J.A.U.; Nota Explicativa da Folha Geológica de Curitiba, Boletim da UFPr, Geologia, nº 20, pp. 4-17, Curitiba, 1966.
- [16] MELCHIOR, P.; The Tides of the Planet Earth, Pergamon Press, 1st edition, pp. 609, London, 1978.
- [17] MIRÓNOV, V.S.; Curso de Prospecção Gravimétrica, Editorial Nedra, pp. 525, Leningrado, 1977.
- [18] MORELLI, C.; Gravimetria, Del Bianco Editore, pp. 575, Udine, 1968
- [19] RATTON, E.; Contribuição ao Estudo das Marés Terrestres no Brasil, Tese, Universidade Federal do Paraná, 1986.
- [20] SALAMUNI, R.; Geologia da Água Subterrânea na Região Metropolitana de Curitiba, 3º Simpósio Regional de Geologia - Sociedade Brasileira de Geologia, vol.2, pp. 372-373, Curitiba, 1981.
- [21] SCHÜLLER, K.; Ein Beitrag zur Auswertung von Erdezeitenregistrierungen, Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, München, 1977.
- [22] SCHÜLLER, K.; Standard Tidal Analysis and its Modification by Frequency Domain Convolution, 8th International Symposium on Earth Tides, pp. 94-102, Bonn, 1977.
- [23] SCHÜLLER, K.; Tidal Analysis by Hybrid Least Squares Frequency Domain Convolution Method, 8th International Symposium on Earth Tides, pp. 103-128, Bonn, 1977.
- [24] SPIEGEL, M.R.; Theoretical Mechanics, McGraw-Hill Book Company, N.York, 1963.
- [25] VANICEK, P.; The earth Tides, Lectures Notes # 36, University of New Brunswick, Canada, pp. 38, 1973.
- [26] WENZEL, H.G.; Zur Genauigkeit von gravimetrischen Erdezeitenbeobachtungen, Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kar-

tographie an der Technischen Universität Hannover nr. 67, Hannover, 1976.

- [27] ZIMMERMANN, A.; Ein beitrage zur Analyse von Erdzeitenbeobachtungen mit zusätzlichen physikalischen Einflußparametern, Dissertation, Universität Bonn, Bonn, 1990.