

## MARÉ TERRESTRE: DIFERENÇA ENTRE O MODELO TEÓRICO E MODELOS EXPERIMENTAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO

### *Earth Tide: Differences Between the Theoretical Model and the Experimental Model in the State of São Paulo*

**Plínio Marcos Piccin Benedito**

**Universidade Estadual de Campinas**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo  
Campinas-SP, Brasil  
eng.plinio@outlook.com

**Fabio Luiz Albarici**

**Universidade Estadual de Campinas**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo  
Campinas-SP, Brasil  
fabio.albarice@ifsuldeminas.edu.br

**Jorge Luiz Alves Trabanco**

**Universidade Estadual de Campinas**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo  
Campinas-SP, Brasil  
trabanco@fec.unicamp.br

### **Resumo**

A Maré Terrestre é um fenômeno que consiste em uma deformação visco-elástica do globo terrestre causada pela ação gravitacional da Lua e do Sol (MECHIOR, 1983). Através do uso de equipamentos que medem continuamente as variações gravitacionais, como os gravímetros, é possível determinar a maré terrestre de forma mais acurada. Esta pesquisa tem como objetivo comparar o modelo teórico de Whar-Dehant, que considera a terra simétrica, rígida e sem oceanos, com modelos experimentais de Maré Terrestre produzidos em cada uma das seguintes estações geodésicas do Estado de São Paulo: A Base Dr. João de Paiva Carvalho do Instituto Oceanográfico da USP, localizada na cidade de Cananéia, litoral paulista; A Estação Geodésica do Observatório Abrahão de Moraes – USP, localizada na cidade de Valinhos, interior de São Paulo e a Estação Geodésica da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, localizada na cidade de Presidente Prudente. O software Gmonitor foi utilizado para monitorar e armazenar os dados gravimétricos coletados entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014. Os softwares TSoft e ETERNA34 foram utilizados para o pré-processamento e análise, respectivamente. Constatou-se que a diferença máxima entre a amplitude teórica e a experimental foi de 8,34% e a diferença de fase foi sempre menor do que 4,76°. As componentes diurnas O<sub>1</sub> e K<sub>1</sub>, e a componente semi-diurna M<sub>2</sub>, foram as que melhor se ajustaram, em relação ao modelo teórico. Conclui-se que as diferenças entre os modelos de cada estação são provavelmente causadas pela influência da carga oceânica, que não foi removida, embora a estrutura geológica local possa também ter alguma influência.

**Palavras-chave:** Geofísica; gravimetria; maré terrestre; modelagem.

### **Abstract**

The Earth tide is a phenomenon which consists of a viscoelastic deformation of the terrestrial globe caused by the gravitational action of the Moon and the Sun (MECHIOR, 1983). Through the application of equipments that continuously measure the gravitational variations, such as gravity meters, it is possible to determine earth tide more accurately. This research aims to compare the theoretical Earth tide model of Whar-Dehant, which considers the earth symmetrical, rigid and oceanless, with experimental models of earth tides produced in each of the following geodetic stations of the São Paulo State: The Dr. João de Carvalho Paiva base of the

Oceanographic Institute (University of São Paulo) situated at the city of Cananéia, in the São Paulo state coast; The Geodetic Station of Abraão de Moraes Observatory (University of São Paulo), in the city of Valinhos; and Geodetic Station of São Paulo State University (Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – UNESP), located in the city of Presidente Prudente. The Gmonitor software was used to monitor and store the gravimetric data collected between January 2012 and December 2014. The computer packages, TSoft and ETERNA34, were used for pre-processing and analysis, respectively. It was found that the maximum difference between the theoretical and experimental amplitude is 8.34% and the phase difference is always less than  $4,76^\circ$ . The diurnal components  $O_1$  and  $K_1$ , and the semi-diurnal components  $M_2$  and  $S_2$  were the ones that best fitted regarding to the theoretical model. We conclude that the ocean load influence, which was not removed from the data, is probably the cause of the differences between the models of each station, although the local geological structure may also have some influence.

**Keywords:** Geophysics; gravimetry; earth tide; modeling.

## 1 INTRODUÇÃO

O deslocamento de partículas líquidas (maré oceânica) e as deformações visco-elásticas da crosta terrestre (maré terrestre), sob a ação gravitacional da Lua e do Sol, constituem um assunto de muita relevância por suas implicações na Oceanografia, na Geodésia e na Engenharia (GEMAEL, 2002).

A Terra, a Lua e o Sol participam de um processo gravitacional interativo do qual resultam esforços diferenciais significativos desde o interior até as porções mais superficiais do planeta. As variações de distância do Sol e da Lua em relação à Terra devido à movimentação dos astros, produzem uma alteração na gravidade. Este fenômeno é conhecido como força de maré e a ação desta força em cada porção elementar do planeta causa deformações com características visco-elásticas, variáveis no espaço e no tempo (CORDINE, 1998; BRETEGER, 1978).

A ideia de uma Terra não rígida e sujeita a deformações elásticas sob a influência de forças perturbadoras não tem mais de um século e meio (GEMAEL, 1986). Por volta de 1876, Lord Kelvin chamou a atenção para o efeito das deformações da Terra, mostrando que não era mais aceitável considerar a Terra como sendo completamente rígida. A partir de então, tem sido aceito que a crosta terrestre é deformada pelas marés, da mesma forma que os oceanos, mas em menor grau.

A gravimetria tem sido utilizada para determinar de forma mais acurada a maré terrestre, mensurando as forças gravitacionais da Lua e do Sol. O interesse das medições reside, por conseguinte, em uma comparação do fenômeno observado com um modelo teórico calculado. A relação de amplitude e diferença de fase de cada uma das principais ondas (componentes harmônicas), que a precisão do gravímetro nos permite detectar, constituem os elementos básicos do estudo geofísico, permitindo um refinamento dos nossos modelos, principalmente no que diz respeito ao núcleo líquido da Terra (BRETEGER, 1978).

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a diferença entre o modelo teórico de Whar-Dehant (que considera a terra simétrica, rígida e sem oceanos) e modelos experimentais de Maré Terrestre produzidos em cada uma das seguintes estações geodésicas do Estado de São Paulo: A Base Dr. João de Paiva Carvalho do Instituto Oceanográfico da USP, localizada na cidade de Cananéia, litoral paulista; A Estação Geodésica do Observatório Abraão de Moraes – USP, localizada na cidade de Valinhos, interior de São Paulo e a Estação Geodésica da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, localizada na cidade de Presidente Prudente. A figura 1 apresenta a disposição das bases no estado de São Paulo e a distância entre elas.

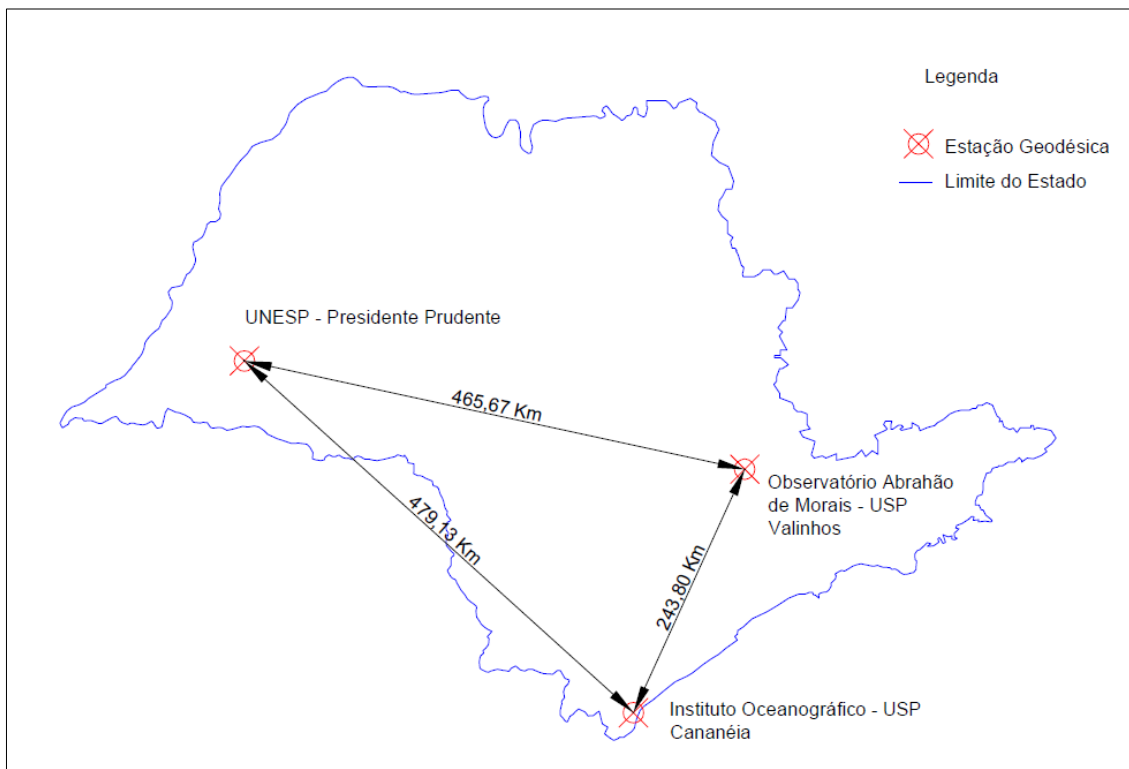


Figura 1 - Localização das Estações Geodésicas utilizadas  
Fonte: autor

## 2 METODOLOGIA

As estações geodésicas de Cananéia, Valinhos e Presidente Prudente possuem uma base fixa e protegida de ruídos externos, condição esta necessária para a obtenção de dados gravimétricos. Tal base é formada por um pilar de concreto que está engastado na rocha e isolado lateralmente para não possuir contato com o pavimento. O equipamento utilizado neste estudo foi o gravímetro gPhone fabricado pela LaCoste & Romberg, o qual utiliza um sistema de mola suspensa. Uma característica deste equipamento é sua baixa deriva instrumental, o que possibilita seu uso na integração de sinais periódicos, como os de maré terrestre, por longos períodos, com precisão de  $1 \mu\text{Gal}$ . A Figura 2 ilustra o gravímetro gPhone.



Figura 2 – Gravímetro Micro-g LaCoste (fonte: LaCoste & Romberg, 2015).

A coleta dos dados gravimétricos foi realizada entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014, com um período de observação de 10 meses na estação geodésica de Cananéia, 12 meses na estação geodésica de Valinhos e 7 meses na estação geodésica de Presidente Prudente.

## 2.1 O PRÉ-PROCESSAMENTO

Os dados foram coletados pelo gravímetro e armazenados pelo software gMonitor em uma taxa de 1 segundo, produzindo arquivos diários com 86400 leituras para cada estação geodésica. Essa taxa de amostragem foi alterada de 1 segundo para 5 minutos no software Tsoft, utilizando a ferramenta “*change sample rate*” (*Cutoff frequency = 1 cpd*), para possibilitar o processamento dos dados.

Todos os dados coletados são gravados no sistema de aquisição como dados brutos, contendo anomalias e, portanto, devem ser preparados antes de sua análise. Essas anomalias são causadas por perturbações no ambiente, produzindo interferências de sinais de alta frequência. Além disso, há descontinuidade de informações geradas por quedas de energia ou interrupções na fase de coleta de dados. Tais interferências produzem mudanças abruptas, que resultam na instabilidade dos dados e não são condizentes com o estudo das observações (Yu et al, 2015). Todavia, a eliminação de dados deve ser feita cuidadosamente, pois pode resultar em perda de informações importantes para o desenvolvimento do modelo. Portanto, foram usados algoritmos suavizadores como, por exemplo, a Média Móvel, presentes no software TSoft para pré-processar os dados e eliminar alguns ruídos.

Foram utilizadas as funções “*Auto detect spikes*” e “*Auto detect gaps*” contidas no software Tsoft para identificar os picos e descontinuidades da curva. Tais descontinuidades foram posteriormente eliminadas através de um filtro passa-baixa e de interpolações cúbicas e lineares.

## 2.2 O PROCESSAMENTO

Realizado o pré-processamento, observou-se que os dados apresentam uma tendência decrescente que não é gerada pela variação da gravidade, mas sim pela deriva instrumental do equipamento, e, portanto, deve ser eliminada.

Utilizando o software Microsoft Office Excel, verificou-se que a linha de tendência que melhor se adaptava aos dados era a polinomial de 2ª ordem. As equações 1, 2 e 3 representam a linha de tendência polinomial de segunda ordem para os dados gravimétricos de Cananéia, Valinhos e Presidente Prudente, respectivamente:

$$y = 5E-07x^2 - 0,0748x + 11186 \quad (1)$$

$$y = 4E-07x^2 - 0,0852x + 64020 \quad (2)$$

$$y = 7E-07x^2 - 0,1102x + 38789 \quad (3)$$

As equações acima foram subtraídas dos dados gravimétricos, permitindo, assim, a eliminação da tendência decrescente que estava presente nos dados. As figuras 3, 4 e 5 exibem uma comparação entre as curvas gravimétricas, antes (curva azul) e depois (curva vermelha) da remoção da tendência decrescente, para as três estações geodésicas.

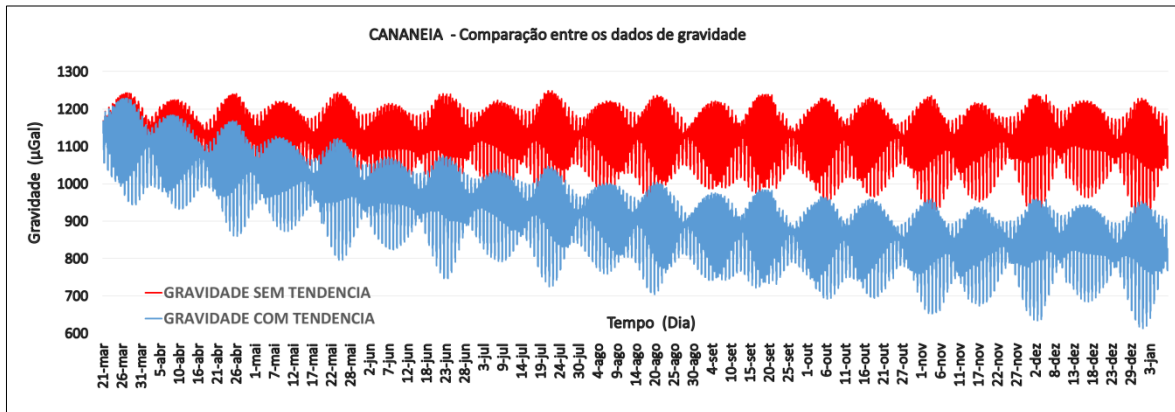


Figura 3- Comparação entre as curvas gravimétricas de Cananéia antes e depois da remoção da linha de tendência

Fonte: autor

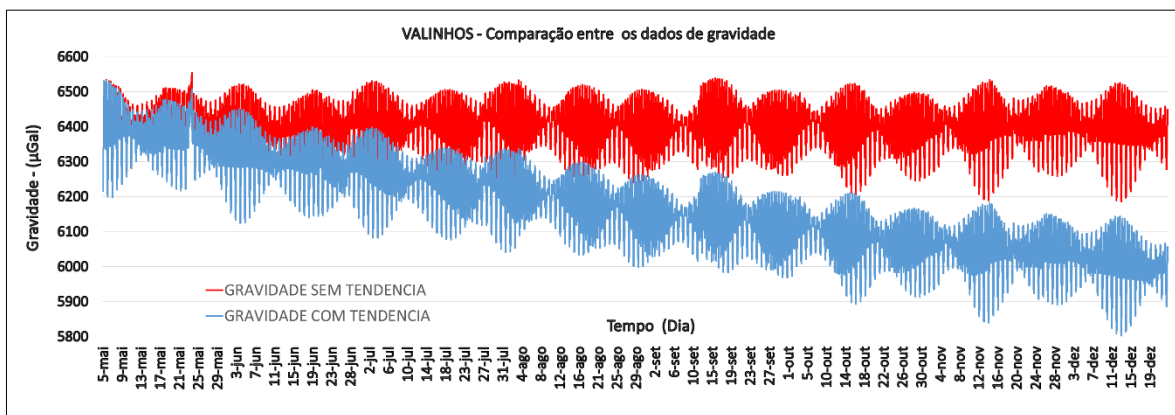


Figura 4- Comparação entre as curvas gravimétricas de Valinhos antes e depois da remoção da linha de tendência

Fonte: autor

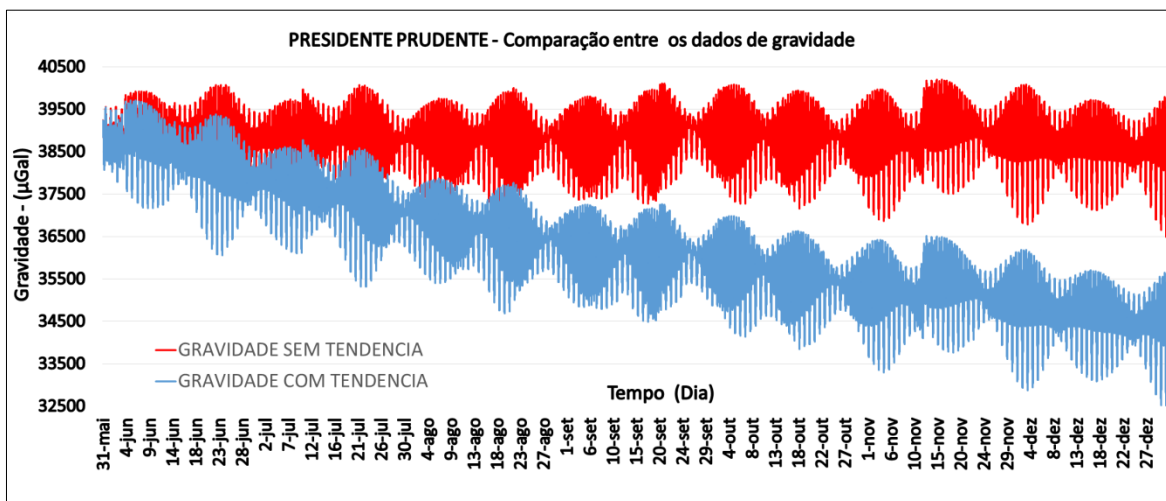


Figura 5- Comparação entre as curvas gravimétricas de Presidente Prudente antes e depois da remoção da linha de tendência

Fonte: autor

Em seguida, utilizou-se o software ETERNA34 para determinar a Fase e a Amplitude das principais Componentes Harmônicas para a maré terrestre:  $Q_1$ ,  $O_1$ ,  $M_1$ ,  $K_1$ ,  $J_1$ ,  $OO_1$ ,  $2N_2$ ,  $N_2$ ,  $M_2$ ,  $L_2$ ,  $S_2$ ,  $M_3$  e  $M_6$ . Para isso, foi necessário transformar os dados gravimétricos que estavam em “ $\mu\text{gauss}$ ” para a unidade de processamento usada pelo ETERNA34, que é “ $\text{nm/s}^2$ ”.

### 2.3 O MODELO EXPERIMENTAL DE MARÉ TERRESTRE

As Tabelas 1, 2, e 3, apresentam os resultados calculados pelo software ETERNA34 a partir da análise dos dados gravimétricos, para as cidades de Cananéia, Valinhos e Presidente Prudente, respectivamente. A amplitude é representada por  $A$ ,  $\sigma_A$  é o seu respectivo desvio-padrão,  $F$  representa a fase e  $\sigma_F$  o seu desvio-padrão.

Apresentam-se na Tabela 1 os valores de Amplitude e Fase calculados para a estação geodésica de Cananéia no décimo primeiro mês de observação. Para a componente harmônica Lunar Principal ( $M_2$ ), obteve-se uma amplitude de  $71,70086 \pm 0,08877 \mu\text{gals}$  e fase  $2,368 \pm 0,071^\circ$ ; e para a componente lunar principal diurna ( $O_1$ ), a amplitude obtida foi de  $27,70202 \pm 0,10253 \mu\text{gals}$  e a fase  $-1,593 \pm 0,212^\circ$ .

Tabela 1 - Dados de Amplitude e Fase obtidas pelo software ETERNA34 no décimo primeiro mês de observação para a estação de Cananéia.

Onda	Freq. Min	Freq. Max	$A$ ( $\mu\text{gal}$ )	$\sigma_A$	$F$ ( $^\circ$ )	$\sigma_F$
$Q_1$	0,50137	0,91139	5,46429	0,09306	-0,8223	0,9756
$O_1$	<b>0,911391</b>	<b>0,947991</b>	<b>27,70202</b>	<b>0,10253</b>	<b>-1,5936</b>	<b>0,2122</b>
$M_1$	0,947992	0,981854	2,08475	0,13180	1,7770	3,6227
$K_1$	0,981855	1,023622	37,89189	0,09331	-0,5527	0,1412

J <sub>1</sub>	1,023623	1,057485	2,19060	0,10038	1,4051	2,6269
OO <sub>1</sub>	1,057486	1,470243	1,34641	0,15635	2,4033	6,6553
2N <sub>2</sub>	1,470244	1,880264	2,21452	0,06306	4,2871	1,6309
N <sub>2</sub>	1,880265	1,914128	13,97154	0,08357	1,8057	0,3428
M <sub>2</sub>	1,914129	1,950419	71,70086	0,08877	2,3684	0,071
L <sub>2</sub>	1,95042	1,984282	2,04841	0,09710	5,7897	2,7154
S <sub>2</sub>	1,984283	2,451943	33,48414	0,09034	2,9008	0,1545
M <sub>3</sub> M <sub>6</sub>	2,451944	7,000000	1,39864	0,02971	-2,8243	1,217

Na Tabela 2, apresentam-se os valores de Amplitude e Fase calculados para a estação geodésica de Valinhos no oitavo mês de observação. Para a componente harmônica (M<sub>2</sub>) Lunar Principal, encontrou-se para amplitude e fase os valores de  $72,21438 \pm 0,13069$   $\mu$ gals, e  $1,865 \pm 0,103^\circ$ , respectivamente. E para a componente lunar principal diurna (O<sub>1</sub>), a amplitude foi de  $27,47482 \pm 0,18580$   $\mu$ gals, e para a fase  $-1,190 \pm 0,387^\circ$ .

Tabela 2 - Dados de Amplitude e Fase obtidas pelo software ETERNA34 no oitavo mês de observação para a estação de Valinhos.

Onda	Freq. Min	Freq. Max	A ( $\mu$ gal)	$\sigma_A$	F ( $^\circ$ )	$\sigma_F$
Q <sub>1</sub>	0,501370	0,911390	5,69527	0,16908	2,5360	1,6991
O <sub>1</sub>	0,911391	0,947991	27,47482	0,18580	-1,1900	0,3876
M <sub>1</sub>	0,947992	0,981854	2,54978	0,22199	10,5648	4,9855
K <sub>1</sub>	0,981855	1,023622	37,75778	0,17224	0,2603	0,2615
J <sub>1</sub>	1,023623	1,057485	2,36307	0,18458	-8,6460	4,4769
OO <sub>1</sub>	1,057486	1,470243	1,50509	0,24472	-2,7681	9,3119
2N <sub>2</sub>	1,470244	1,880264	2,17727	0,09041	-2,7024	2,3797
N <sub>2</sub>	1,880265	1,914128	14,29472	0,12228	2,7686	0,4900
M <sub>2</sub>	1,914129	1,950419	72,21438	0,13069	1,8659	0,1036
L <sub>2</sub>	1,95042	1,984282	1,95110	0,13730	12,8130	4,0305
S <sub>2</sub>	1,984283	2,451943	33,72647	0,13307	2,2378	0,2260
M <sub>3</sub> M <sub>6</sub>	2,451944	7,000000	1,34534	0,04663	3,5878	1,9857

Os valores de Amplitude e Fase calculados para a estação geodésica de Presidente Prudente no sétimo mês de observação, são apresentados na Tabela 3. Considerando-se a

principal onda semi-diurna, Lunar Principal ( $M_2$ ), encontrou-se a amplitude de  $71,63986 \pm 0,18494 \mu\text{gals}$ , e fase de  $2,082 \pm 0,149^\circ$ . Para a componente lunar principal diurna ( $O_1$ ), a amplitude foi de  $27,94136 \pm 0,18556 \mu\text{gals}$ , e a fase  $0,271 \pm 0,379^\circ$ .

Tabela 3 - Dados de Amplitude e Fase obtidas pelo software ETERNA34 no sétimo mês de observação para estação de Presidente Prudente.

Onda	Freq. Min	Freq. Max	$A (\mu\text{gal})$	$\sigma_A$	$F (^\circ)$	$\sigma_F$
$Q_1$	0,501370	0,911390	5,06642	0,17172	-4,8086	1,9398
$O_1$	0,911391	0,947991	27,94136	0,18556	0,2714	0,3787
$M_1$	0,947992	0,981854	2,23989	0,21225	-8,1869	5,4331
$K_1$	0,981855	1,023622	38,07922	0,16722	0,1155	0,2510
$J_1$	1,023623	1,057485	2,19639	0,18408	9,7296	4,7991
$OO_1$	1,057486	1,470243	1,20064	0,27977	3,4671	13,3491
$2N_2$	1,470244	1,880264	3,37980	0,13629	12,6991	2,3082
$N_2$	1,880265	1,914128	13,51124	0,17587	-4,6065	0,7477
$M_2$	1,914129	1,950419	71,63986	0,18494	2,0819	0,1488
$L_2$	1,950420	1,984282	0,55136	0,19831	26,5046	20,6088
$S_2$	1,984283	2,451943	32,94896	0,20075	0,476	0,3287
$M_3M_6$	2,451944	7,000000	1,15612	0,05486	4,761	2,7264

## 2.4 O MODELO TEÓRICO DE MARÉ TERRESTRE

O modelo Teórico de Maré Terrestre obtido por J. M. Wahr, V. Dahant e P. Defraigne (DEHANT, et al., 1999) foi gerado pelo software Tsoft e utilizado para comparação com os modelos experimentais de maré terrestre.

A Tabela 4 apresenta o modelo teórico de maré terrestre sintetizado utilizando as coordenadas da estação geodésica de Cananéia. Este mesmo modelo teórico foi empregado nas comparações com as demais estações, pois a diferença entre os modelos teóricos gerados para cada estação não ultrapassou 0,007%, valor este considerado inexpressivo.

Tabela 4 - Dados de Amplitude e Fase do modelo teórico de maré terrestre para Cananéia

Onda	Freq. Min	Freq. Max	$A (\mu\text{gal})$	$\sigma_A$	$F (^\circ)$	$\sigma_F$
$Q_1$	0,501370	0,911390	5,25704	0,00396	-0,0422	0,0432
$O_1$	0,911391	0,947991	27,45723	0,00428	-0,0583	0,0091
$M_1$	0,947992	0,981854	2,14586	0,00561	-0,0648	0,1498

K <sub>1</sub>	0,981855	1,023622	37,97555	0,00401	-0,0274	0,006
J <sub>1</sub>	1,023623	1,057485	2,16354	0,00427	-0,1133	0,1132
OO <sub>1</sub>	1,057486	1,470243	1,18307	0,00665	0,1251	0,3225
2N <sub>2</sub>	1,470244	1,880264	2,18259	0,00070	-0,1079	0,0184
N <sub>2</sub>	1,880265	1,914128	13,67105	0,00094	-0,0845	0,0039
M <sub>2</sub>	1,914129	1,950419	71,61274	0,00123	-0,125	0,0008
L <sub>2</sub>	1,950420	1,984282	2,07044	0,00108	0,1869	0,0298
S <sub>2</sub>	1,984283	2,451943	33,31719	0,00086	-0,1284	0,0017
M <sub>3</sub> M <sub>6</sub>	2,451944	7,000000	1,17923	0,00010	-0,2178	0,005

A figura 6 apresenta a sintetização do modelo teórico de maré terrestre para a estação geodésica de Cananéia.

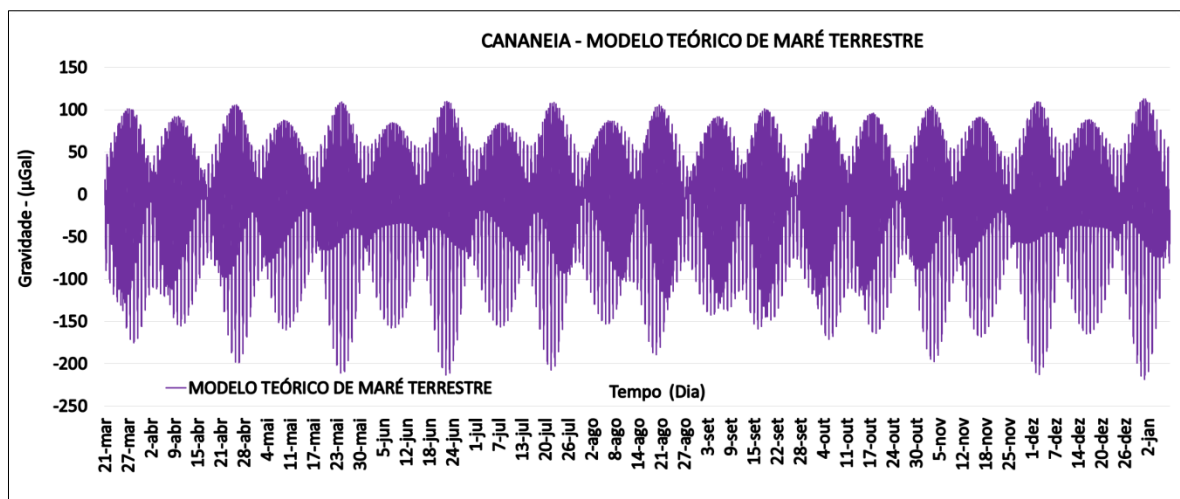


Figura 6 – Modelo Teórico de Maré Terrestre utilizando as coordenadas de Cananéia  
 Fonte: autor

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se uma análise da diferença entre os modelos experimentais de maré terrestre, obtidos nas três estações geodésicas (Cananéia, Valinhos e Presidente Prudente), e o modelo teórico de maré terrestre. A Tabela 5 demonstra os resultados para todas as estações. É possível observar que a taxa de amplitude varia de 1,00038 (onda M<sub>2</sub> em Presidente Prudente) até 1,08336 (onda Q<sub>1</sub> em Valinhos), que equivale a uma variação de 0,038% a 8,34%. A diferença de fase, positiva ou negativa, é geralmente menor que 4,76°. As componentes diurnas O<sub>1</sub> e K<sub>1</sub>, e a componente semi-diurna M<sub>2</sub>, foram as que melhor se ajustaram, obtendo um resultado muito consistente. As componentes: M<sub>3</sub>M<sub>6</sub>, OO<sub>1</sub>, 2N<sub>2</sub> e L<sub>2</sub> foram omitidas da tabela, pois necessitam de um maior período de coleta de dados para um melhor ajustamento. As diferenças entre os modelos de cada estação são provavelmente causadas pela influência

da carga oceânica, que não foi removida, embora a estrutura geológica local possa também ter alguma influência.

Tabela 5 - Diferença entre o modelo de maré terrestre de Valinhos e o modelo teórico.

Estação geodésica de Cananéia								
Onda	A <sub>exp</sub> ( $\mu$ gal)	A <sub>t</sub> ( $\mu$ gal)	Taxa A <sub>exp</sub> /A <sub>t</sub>	$\sigma_A$	F <sub>exp</sub> (°)	F <sub>t</sub> (°)	$\Delta F$	$\sigma_F$
Q <sub>1</sub>	5,46429	5,25704	1,03942	0,14655	-0,8223	-0,0422	-0,7801	0,55161
O <sub>1</sub>	27,70202	27,4572	1,00892	0,17309	-1,5936	-0,0583	-1,5353	1,08562
K <sub>1</sub>	37,89189	37,9756	0,9978	0,05916	-0,5527	-0,0274	-0,5253	0,37144
N <sub>2</sub>	13,97154	13,6711	1,02198	0,21248	1,8057	-0,0845	1,8902	1,33657
M <sub>2</sub>	71,70086	71,6127	1,00123	0,06231	2,3684	-0,125	2,4934	1,7631
S <sub>2</sub>	33,48414	33,3172	1,00501	0,11805	2,9008	-0,1284	3,0292	2,14197
Estação geodésica de Valinhos								
Onda	A <sub>exp</sub> ( $\mu$ gal)	A <sub>t</sub> ( $\mu$ gal)	Taxa A <sub>exp</sub> /A <sub>t</sub>	$\sigma_A$	F <sub>exp</sub> (°)	F <sub>t</sub> (°)	$\Delta F$	$\sigma_F$
Q <sub>1</sub>	5,69527	5,25704	1,08336	0,30988	2,536	-0,0422	2,5782	1,82306
O <sub>1</sub>	27,47482	27,4572	1,00064	0,01244	-1,19	-0,0583	-1,1317	0,80023
K <sub>1</sub>	37,75778	37,9756	0,99427	0,15399	0,2603	-0,0274	0,2877	0,20343
N <sub>2</sub>	14,29472	13,6711	1,04562	0,441	2,7686	-0,0845	2,8531	2,01745
M <sub>2</sub>	72,21438	71,6127	1,0084	0,42542	1,8659	-0,125	1,9909	1,40778
S <sub>2</sub>	33,72647	33,3172	1,01228	0,2894	2,2378	-0,1284	2,3662	1,67316
Estação geodésica de Presidente Prudente								
Onda	A <sub>exp</sub> ( $\mu$ gal)	A <sub>t</sub> ( $\mu$ gal)	Taxa A <sub>exp</sub> /A <sub>t</sub>	$\sigma_A$	F <sub>exp</sub> (°)	F <sub>t</sub> (°)	$\Delta F$	$\sigma_F$
Q <sub>1</sub>	5,06642	5,25704	0,96374	0,13479	-4,8086	-0,0422	-4,7664	3,37035
O <sub>1</sub>	27,94136	27,4572	1,01763	0,34233	0,2714	-0,0583	0,3297	0,23313
K <sub>1</sub>	38,07922	37,9756	1,00273	0,07331	0,1155	-0,0274	0,1429	0,10105
N <sub>2</sub>	13,51124	13,6711	0,98831	0,113	-4,6065	-0,0845	-4,522	3,19754
M <sub>2</sub>	71,63986	71,6127	1,00038	0,01918	2,0819	-0,125	2,2069	1,56051
S <sub>2</sub>	32,94896	33,3172	0,98895	0,26038	0,476	-0,1284	0,6044	0,42738

Segundo Freitas (1998), em algumas regiões do Globo, a mensuração do efeito de resposta regional às marés, quando comparados aos efeitos de maré modelados (maré teórica), pode apresentar diferenças de até 30  $\mu$ gals ou 10 cm. A Figura 7 representa o resíduo gerado entre a Amplitude do modelo teórico e a Amplitude do modelo experimental. Como se pode

observar, os resultados desta operação mostraram uma oscilação próxima de 20  $\mu$ gals entre os modelos comparados, o que significa uma variação de 6,67 centímetros na vertical.

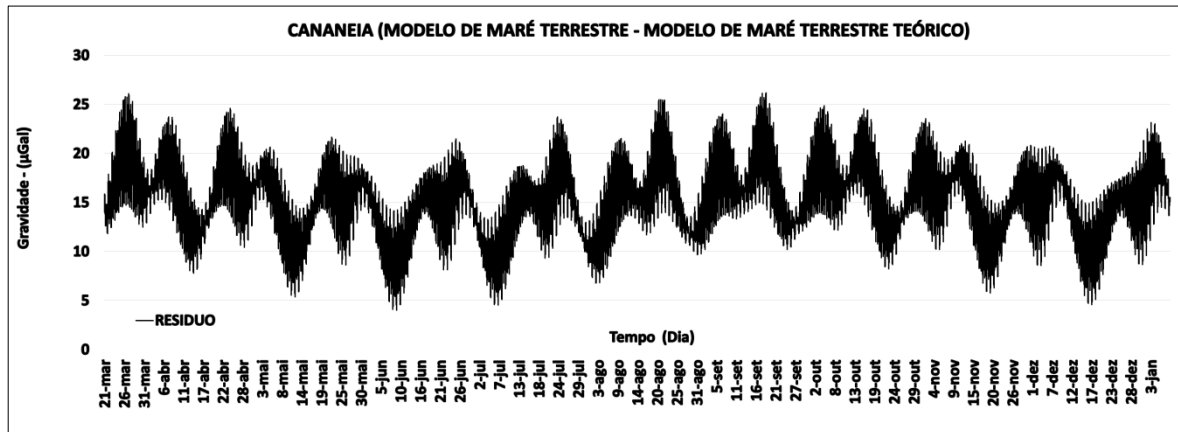


Figura 7 – Diferença de Amplitudes entre o Modelo Experimental e o Modelo Teórico  
Fonte: autor

#### 4 CONCLUSÃO

Constatou-se que a diferença máxima entre a amplitude teórica e a experimental foi de 8,34%, e a diferença de fase foi sempre menor do que 4,76°. As componentes diurnas O<sub>1</sub> e K<sub>1</sub>, e a componente semi-diurna M<sub>2</sub> e S<sub>2</sub>, foram as que melhor se ajustaram em relação ao modelo teórico. A diferença entre o efeito de resposta regional às marés e o efeito de maré modelado teoricamente atingiu um valor de aproximadamente 20  $\mu$ gals, o que está dentro do esperado. Verificou-se que a diferença entre os modelos teóricos gerados para cada estação não ultrapassou 0,007%, o que permitiu o uso do mesmo modelo teórico para todas as estações. Detectou-se também que, um maior período de coleta de dados seria necessário para se determinar as componentes M<sub>3</sub>M<sub>6</sub>, OO<sub>1</sub>, 2N<sub>2</sub> e L<sub>2</sub> de maneira satisfatória. Conclui-se que as diferenças entre os modelos de cada estação são provavelmente causadas pela influência da carga oceânica, que não foi removida, embora a estrutura geológica local possa também ter alguma influência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRETREGGER, Karl. Earth tide effects on geodetic observations. **Kensington, Australia: School of Surveying, University of New South Wales, 1978.**, v. 1, 1978.

CORDINI, Jucilei. ESTUDO DOS ASPECTOS GEODINÂMICOS NO DATUM VERTICAL DO SGB. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 4, n. 1, 1998.

COSTA, Daniel Silva. **Variação do nível médio do mar-técnicas para a avaliação.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DEHANT, Véronique; DEFRAIGNE, P.; WAHR, J. M. Tides for a convective Earth. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 104, n. B1, p. 1035-1058, 1999.

DE FREITAS, Sílvio RC; CORDINI, Jucilei. Implicações Geodinâmicas no Posicionamento Geodésico. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 3, n. 1, 1998.

GEMAEL, C. Marés terrestres: aplicações geodésicas. **Curitiba, CPGCG, 80p**, 1986.

GEMAEL, CAMIL et al. Rede Gravimétrica Científica para o Estado do Paraná. **Simpósio Brasileiro de Geomática**, v. 25, 2002.

MELCHIOR, Paul. The tides of the planet Earth. **Organic Photonics and Photovoltaics**, v. 1, 1983.

YU, Hongjuan et al. Zero drift and solid Earth tide extracted from relative gravimetric data with principal component analysis. **Geodesy and Geodynamics**, v. 6, n. 2, p. 143-150, 2015.