



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

O Estudo Das Marés Em Uma Sequência Didática Investigativa Para O Ensino Médio

Rafael Guedes Soares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2019

O ESTUDO DAS MARÉS EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
INVESTIGATIVA PARA O ENSINO MÉDIO

Rafael Guedes

Orientador:

Prof. Helio Salim de Amorim

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Helio Salim de Amorim
(Presidente)

Profa. Dra. Maria Elizabeth Zucolotto

Prof. Dr. Alexandre Carlos Tort

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

S136e Soares, Rafael Guedes
O Estudo Das Marés Em Uma Sequência
Didática Investigativa Para O Ensino Médio /
Rafael Guedes Soares. -- Rio de Janeiro, 2019.
123 f.

Orientador: Hélio Salim de Amorim.
Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de
Física, Programa de Pós Graduação em Ensino
de Física, 2019.

1. Ensino de Física. 2. Atividades
Investigativas. 3. Marés Oceânicas. I.
Amorim, Hélio Salim de , orient. II.
Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a),
sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço à minha esposa Priscilla, à minha mãe Salete Guedes, ao meu cunhado Diego Barboza, pelas maravilhosas aulas sobre o Excel, e às minhas famílias Guedes e Barboza por tudo na minha vida. Ao amigo Rodrigo Jordão, pelo suporte material e intelectual, aos amigos e colegas de trabalho Francisco Silva e Ubiratan pelas preciosas orientações, e à amiga Vanessa pela ajuda com as formalidades do texto. Aos Comandantes José Menezes Filho e Rodrigo Reis Bittencourt, e aos Suboficiais Paulo Sérgio Lopes Sirodio e Francisco Liberto por toda solicitude em viabilizarem a instalação do marégrafo e as visitas ao CIAGA. Ao meu amigo e 1º Tenente Diego Pontes Valle Cuello Vargas, chefe do centro local de tecnologia da informação da Escola Naval por toda a ajuda prestada, e ao Capitão de Fragata Jacques de Oliveira Rocha Lima, instrutor de navegação astronômica da escola naval, pela aula introdutória de navegação astronômica. Aos queridos colegas da turma de 2016 do Programa, que trabalharam sempre juntos pelo sucesso de todos e, por fim, aos professores e professoras do programa, que nunca mediram esforços para oferecerem uma formação de excelência.

RESUMO

O Estudo das Marés Em Uma Sequência Didática Investigativa Para o Ensino Médio

Rafael Guedes Soares

Orientador

Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O fenômeno das marés possui um enorme potencial para despertar a curiosidade e o interesse dos alunos e, com isso, um estudo sobre o fenômeno é uma oportunidade de proporcionar um letramento científico e de desenvolver o senso investigativo. Este trabalho consiste em propor uma sequência para o estudo das marés, na qual os alunos farão tarefas e construirão gráficos no Excel para observar o comportamento do fenômeno, sua variação temporal, sua relação com a Lua e com o Sol, e uma comparação entre as marés de dois locais diferentes da Baía de Guanabara, para averiguar se há defasagem entre as marés destes pontos. As análises são feitas utilizando dados de maré coletados a partir de um marégrafo construído com a placa Arduino, e de dados fornecidos pelo Centro Hidrográfico da Marinha.

Palavras-chave: Ensino de Física, Sequência de ensino Investigativo, Marés.

ABSTRACT

The Study of Tides in an Investigational Didactic Sequence for High School

Rafael Guedes Soares

Orientador

Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

The phenomenon of the tides has an enormous potential to arouse the curiosity and the interest of the students and, with this, a study of the phenomenon is an opportunity to provide a scientific literacy and to develop the investigative sense. This work consists in proposing a sequence for the study of the tides, in which students will do tasks and build graphs in Excel to observe the behavior of the phenomenon, its temporal variation, its relation with the Moon and the Sun, and a comparison between the tides from two different locations in Guanabara Bay, to find out if there is a gap between the tides of these points. The analyzes are done using tide data collected from a tide built with the Arduino board and data provided by the Navy Hydrographic Center.

Keywords: Physics Teaching, Sequence of investigative teaching, Tides.

Sumário

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1 – O Fenômeno das Marés	13
1.1 - Um brevíssimo histórico sobre as marés	13
1.2 - Alguns equívocos comuns no tratamento gravitacional das Marés.....	25
1.3 - Força de Maré	28
1.4 - Variação das marés ao longo do ano	37
1.5 - A distribuição temporal da maré	39
1.6 - Correntes de maré	43
1.7 - Considerações.....	44
CAPÍTULO 2 – Proposta de ensino sobre o fenômeno das marés: objetivo geral e infraestrutura	45
2.1 - Estação Maregráfica do CIAGA	46
2.2 - Estação Maregráfica da Ponta da Armação (Niterói/RJ)	50
CAPÍTULO 3 – A Sequência Didática e Análise de Dados	56
3.1 - Primeira Etapa	56
3.2 - Segunda Etapa	59
3.3 - Terceira Etapa	61
3.4 - Quarta Etapa	64
3.4.1 - Separando dia, mês e ano dos demais valores	68
3.4.2 - Separando a hora dos minutos.....	70
3.4.3 - Separar os minutos das alturas	72
3.4.4 - Construindo os gráficos para análise	73
3.5 - Quinta Etapa	80
3.6 - Sexta Etapa	84
3.7 - Sétima Etapa	85
3.8 - Oitava Etapa	87

3.9 - Nona Etapa: Uma proposta simples de simulação do modelo astronômico	87
3.10 - Décima Etapa: Investigando o comportamento da maré em dois pontos diferentes da Baía da Guanabara	91
3.10.1 - Análise da hora 1	97
3.10.2 - Análise da hora 8	99
3.11 - Considerações finais	101

Apêndice A – Material Instrucional 1: Marégrafo Ultrassônico baseado na placa Arduino

102

AI-1 - O Watchdog	106
AI-2 - O programa (<i>sketch</i>)	109
AI-3 - Montagem do marégrafo ultrassônico	114
AI-4 - Painel solar fotovoltaico e relação de materiais utilizados na montagem do marégrafo ultrassônico	119
AI-5 - Referências do Apêndice A	122

Apêndice B – Material Instrucional 2: Guia para o professor.....

123

BI-A Sequência Didática e Análise de Dados	123
BI-1 - Primeira Etapa	123
BI-2 - Segunda Etapa	124
BI-3 - Terceira Etapa	125
BI-4 - Quarta Etapa	127
BI-4.1 - Separando dia, mês e ano dos demais.....	129
BI-4.2 - Separando a hora dos minutos.....	132
BI-4.3 - Separar os minutos das alturas	133
BI-4.4 - Construindo os gráficos para análise.	134
BI-5 - Quinta Etapa	141
BI-6 - Sexta Etapa	141
BI-7 - Sétima Etapa	142
BI-8 - Oitava Etapa	144
BI-9 - Nona Etapa: Uma proposta simples de simulação do modelo astronômico	144

BI-10 - Décima Etapa: Investigando o comportamento da maré em dois pontos diferentes da Baía da Guanabara.....	148
BI-10.1 - Análise da hora 1	153
BI-10.2 - Análise da hora 8.....	155
BI-11 - Considerações finais	158

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
---	------------

Introdução

Os fenômenos facilmente observáveis em nossa vida cotidiana podem ser úteis ferramentas para motivar o estudo de ciências naturais, e o ensino de Física pode se fazer valer muito deste potencial contido nessas observações para basear uma sequência de ensino-aprendizagem. No Brasil, com nossa vasta região costeira, a observação de fenômenos oceanográficos pode ser bem explorada para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa.

Por isso, uma sequência didática foi pensada de forma que o comportamento das marés oceânicas serviria como motivação para introduzirmos um estudo sobre as marés terrestres, ou seja, o efeito de marés tal como observado na crosta sólida da Terra, um fenômeno pouco conhecido do público leigo em geral. Porém, ao longo da construção deste trabalho, surgiu a ideia de fazermos uma comparação entre as marés oceânicas de dois locais diferentes da Baía de Guanabara (a Ponta da Armação e o CIAGA), e com esta proposta incorporada ao trabalho, um novo campo de estudo sobre as marés foi explorado, sendo feita a escolha de abrir mão do estudo das marés terrestres devido a uma grande quantidade de informações que isso geraria, o que fugiria ao escopo desta dissertação. E com o foco nas marés oceânicas, foi desenvolvido o material que ora apresentamos.

O capítulo 1 começará com um brevíssimo apanhado dos estudos das marés ao longo da história, com menção a importantes nomes que fizeram relatos ou desenvolveram teorias sobre o assunto e algumas de suas explicações para o fenômeno. Em seguida, será feita a dedução para a expressão da força de maré baseada na mecânica newtoniana, e a explicação da formação dos dois bojos. Também será tratada a ação conjunta do Sol e da Lua, a interferência das inclinações da órbita da Lua e da eclíptica em relação ao equador terrestre e a causa da variação das marés ao longo do ano. Em seguida, o comportamento temporal da maré será analisado a partir de gráficos, além de uma explanação sobre correntes de maré.

O capítulo 2 trata do objetivo da proposta de ensino sobre o fenômeno da maré e a infraestrutura que foi utilizada. Desenvolvemos para esse trabalho um marégrafo sônico baseado na placa Arduino. A proposta é que com um

marégrafo próprio nós poderíamos permitir o acesso livre dos alunos, uma programação livre na sua utilização, uma maior integração entre a tarefa de análise de dados e a tarefa dedicada à execução das medidas experimentais. Vemos essa integração como sendo muito importante para um amadurecimento sobre o que é a Ciência e como ela é desenvolvida. Consideramos a construção do marégrafo como o produto mais importante desse trabalho e reservamos a sua descrição para o Apêndice I. O marégrafo sônico que construímos foi instalada nas dependências do CIAGA, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha da Marinha do Brasil, situado às margens da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro/RJ. No CIAGA tivemos um ponto de acesso para a observação das marés na região mais ao fundo da Baía de Guanabara. Devemos destacar desde já a ajuda que recebemos do CIAGA ao longo deste trabalho, sem a qual não o teríamos realizado. Neste capítulo serão apresentadas as estações maregráficas do CIAGA e da Ponta da Armação, descrevendo os procedimentos tomados para que se acesse os dados dos respectivos marégrafos. Uma breve apresentação sobre o marégrafo da Ponta da Armação também será feita. Aqui devemos uma menção sobre o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) que muito gentilmente colocou à nossa disposição os dados obtidos nos marégrafos instalados em suas estações de observação de maré.

No capítulo 3, uma sequência investigativa de eventos para a aplicação em sala é descrita em etapas, bem como todas as ferramentas e os elementos usados para sua aplicação. Essas etapas foram pensadas como atividades modulares que geram ao final um conjunto de conclusões objetivas sobre as marés. As etapas se sucedem dentro de uma programação, logicamente sequenciada, que se desdobra sob a regência das descobertas e das ações necessárias para se completar um modelo consistente sobre as causas do movimento de maré, bem dentro do espírito investigativo dos cientistas profissionais. Essas etapas não foram pensadas como aulas em tempos regulamentares de 55 minutos. Na prática podem ser subdividas, ou fundidas de acordo com a realidade de cada escola e de cada professor. A sequência que será apresentada também, seguramente, não é a única que pode ser proposta para o estudo escolar sobre as marés, e muitas outras linhas de ação pedagógicas podem ser pensadas. Um ponto importante é que procuramos

articular diferentes fontes de dados experimentais. Assim sendo, considerando apenas a base de dados de acesso público, como aquele fornecido pelo CHM no Brasil, é possível se estruturar um projeto de estudo das marés através de um conjunto de atividades investigativas para escolas do interior do país sem o acesso observacional direto sobre o mar. Terminada a descrição das etapas, o capítulo 3 será encerrado com as considerações finais.

Como veremos, o estudo é apoiado pela análise de dados experimentais e fortemente dominado pelo uso de gráficos. Optamos pelo uso do programa Excel, ou seja, uma base automatizada de construção de gráficos, ao invés de gráficos construídos manualmente. Isso tem a ver apenas com o fato de que os dados envolvidos são naturalmente numerosos e não por uma opção didática.

Por fim, temos a questão da construção do marégrafo ultrassônico: devemos considerá-lo como parte integrante dos objetivos da proposta ou como parte auxiliar? Esse ponto deixamos em aberto. Se o professor considerar que o engajamento da turma no projeto de construção do marégrafo é importante para o seu projeto educacional, que assim proceda. As indicações dadas no Apêndice são suficientes para que o professor trabalhe com seus alunos. Será necessário, naturalmente, o provimento de tempo e, para isso, essa etapa de construção terá que entrar no planejamento global. Essa escolha tem muito a ver com os novos caminhos que se abrem para a escola contemporânea (tão repleta de desafios e tão cheia de incertezas!). Nos referimos aqui aos projetos de tornar a escola a mais próxima possível de uma oficina politécnica, que privilegia o fazer, a criatividade, o contato direto com as dificuldades técnicas do mundo real. É a escola *maker!* Por outro lado, é perfeitamente possível pensar numa rota em que o professor se incumba de construir o marégrafo e colocá-lo para uso dos alunos no projeto. Esse foi o caminho que consideramos aqui e, portanto, não desenvolvemos a discussão técnica da construção do marégrafo nos capítulos da tese, deixando esse assunto para um Apêndice. Esse nosso trabalho não é assim um trabalho estritamente de instrumentação para o ensino de Física, mas dado o “volume” de trabalho que envolveu a construção do marégrafo, se não foi a mais importante foi, seguramente, a mais envolvente.

CAPÍTULO 1 – O Fenômeno Das Marés

1.1 - Um brevíssimo histórico sobre as marés

A pesca é uma das atividades que datam dos primórdios da humanidade. Logo que foi superada a etapa da coleta, em que os seres humanos se alimentavam com o que podiam coletar de alimentos naturalmente disponíveis no campo, começam a aparecer atividades elaboradas de caça e de pesca, com o desenvolvimento rápido de diferentes habilidades. Então, a preocupação com o comportamento do mar e a necessidade de entendê-lo tem relação com a pré-história, e isso leva à conclusão de que a importância da compreensão das marés também é mais antiga do que os registros escritos podem nos confirmar.

Para que se faça um breve apanhado dos estudos, ou pelo menos dos registros sobre as observações acerca das marés, citarei alguns dos responsáveis a fim de organizar de forma aproximadamente cronológica a construção das ideias sobre o fenômeno.

Os primeiros registros foram de **Posidônio (135 a. C.)**, filósofo grego, que já mencionava à sua época que os Gaditanos (habitantes da cidade espanhola de Cádiz, banhada pelo oceano Atlântico) teriam observado as marés e suas regularidades diárias, mensais e anuais; e de **Seleuco (150 a. C.)**, que era um defensor da mobilidade terrestre e deu uma das primeiras explicações fenomenológicas para as marés. Embora Seleuco reconhecesse a causa das marés a partir da ação da Lua e do movimento da Terra, sua ideia era de que esses agentes perturbavam o ar, e pela ação direta do ar sobre as águas, ocorriam as marés (ver, Galileu, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*; tradução – Pablo Ruben Mariconda, 2011, São Paulo, Apêndice - a quarta jornada do diálogo e as marés – p842). É interessante considerar para a pesquisa histórica que no mar Mediterrâneo, em torno do qual se desenvolveram as principais culturas da Antiguidade Clássica, o movimento de maré é quase inexistente. Por ser um mar interno, com apenas uma pequena ligação com o Atlântico no estreito de Gibraltar, a amplitude de

maré é muito pequena e, talvez, o fenômeno não tenha sido desafiador para essas culturas.

Quintus Curcius, historiador Romano do **século I**, escreveu em *De rebus gestis Alexandri Magni* (*Dos feitos guerreiros de Alexandre Magno*) um registro sobre o contato de uma embarcação de Alexandre, o Grande, com o fenômeno das marés. Curcius diz que

“eles reconheceram no terceiro dia que a água do mar começou a se misturar com a do rio, e que a maré subiu novamente, o que os fez descer com maior dificuldade. (...) Ignorando os soldados, que este era o fluxo e refluxo do oceano, eles acreditavam, vendo-o de repente crescer e inundando os campos, o que era um sinal da indignação dos deuses, e da punição, que eles queriam dar a sua temeridade”. (*De la vida y acciones de Alexandro el grande*, tradução para o espanhol de Don Mateo Ibanez de Segovia, 1794, Madrid, Livro 9, 435).

Veremos mais adiante que a necessidade da navegação foi uma grande incentivadora para o aprofundamento nos estudos maregráficos, sobretudo na época das Grandes Navegações.

Contemporâneo de Curcius, **Plínio, o Velho (23 d. C.)** escreveu em trinta e sete volumes sua História Natural, e no segundo volume ele diz:

“...muito já foi dito sobre a natureza das águas; mas a circunstância mais maravilhosa é o fluxo e refluxo alternativo das marés, que existe, de fato, sob várias formas, mas é causado pelo sol e pela lua. A maré flui duas vezes e sobe duas vezes entre cada dois nascimentos da lua, sempre no espaço de vinte e quatro horas”. (*A História Natural de Plínio, o Velho (Pliny the Elder, The Natural History John Bostock, M.D., F.R.S., H.T. Riley, Esq., B.A., Ed. ; Disponível em: <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137>*)

Plínio já tinha conhecimento de que a Lua é a agente determinante das marés, em conjunto com o Sol. Além disso, mais adiante, ele comenta sobre as variações nas amplitudes das marés a cada sete dias (consequência das fases da Lua) e a cada três meses (intervalo entre um solstício e um equinócio consecutivos). O autor salienta também que “depois de oito anos, ou cem revoluções da Lua, os períodos e as alturas das marés retornam à mesma ordem do início”, se referindo ao fato de que as marés altas e baixas não coincidem no mesmo horário dia após dia, ao longo de um mês. E quando volta a repetir o horário de cada maré alta e baixa, já não ocorrem com a mesma amplitude do mês anterior, tornando à estas condições após oito anos.

Um grande estudioso de astronomia da época, e talvez um dos mais famosos, o grego **Cláudio Ptolomeu (século 2 d. C.)** deu grandes contribuições para a compreensão do Cosmos quando escreveu o *Almagesto*, onde, inclusive, descreveu um modelo geocêntrico do sistema solar que vigorou até o aparecimento do sistema heliocêntrico de Copérnico, já no século XV. Mas foi em sua obra conhecida pelo caráter astrológico, *O Tetrabiblos*, que registrou suas observações sobre as marés e a relação do fenômeno com a Lua.

“A Lua, por ser o astro mais próximo, distribui sobre a Terra o máximo de seu refluxo, pois a maioria das coisas animadas e inanimadas está em sintonia com a Lua e se modifica de acordo com ela. Os rios aumentam e reduzem seus fluxos devido à sua luminosidade; as marés são modificadas conforme seus nascimentos e ocasos; as plantas e os animais tornam-se maiores ou menores, totalmente ou em parte, em consonância com ela”. (Tradução comentada dos três primeiros capítulos do Tetrabiblos de Ptolomeu, Marcus Reis Pinheiro, Cristina de Amorim Machado, *Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, Série 4, v. 1, n. 2, p. 301-332, jul.-dez. 2015. P 312)

Dando um salto do século II para o século VII, nos deparamos com **Beda, O Venerável**, que foi um monge inglês considerado o pai da história inglesa por conta de sua obra “A História Eclesiástica do Povo Inglês”, em outro livro, “Sobre a Contagem do Tempo” (*De Temporum Ratione*), também escreve, dentre outras coisas, sobre a influência do movimento da Lua nas marés.

No entanto, como já mencionado, os estudos sobre as marés ganham intensidade com o advento das Grandes Navegações, a partir do século XVI (observe que houve outro salto do século VII para o século XVI).

“... Cabe lembrar que a Antiguidade greco-latina não dedicou em geral uma atenção especial às marés, das quais não existe nenhum estudo particularizado nos grandes autores, como Platão e Aristóteles. É bastante plausível que isso seja devido ao fato de que as navegações antigas se concentraram no Mediterrâneo, onde o fenômeno das marés, com algumas exceções, é quase inexistente” ...

“... As marés passam a ser particularmente importantes a partir do século XVI com o advento das grandes navegações transoceânicas. O problema do fluxo e refluxo do mar ganha assim um alcance prático inegável. São os navegantes, frequentemente surpreendidos pela variação inesperada do nível das águas ou por correntes de comportamento aparentemente instável, que reclamam uma melhor compreensão das causas de um fenômeno natural que os põe não raro em dificuldades. São eles também que contribuem decisivamente com seus relatos observacionais para uma melhor descrição das marés nas costas oceânicas da Europa, África, América e Índia...” (Galileu, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*; tradução – Pablo Ruben Mariconda, 2011, São Paulo, apêndice - A quarta jornada do diálogo e as marés. P – 842)

Para enumerar alguns estudiosos da época que deram contribuições sobre o assunto, podemos citar Julius Caesar Scalinger (1484-1558), Bernardino Telesio (1509-1588), Andrea Cesalpino (1519-1603), Pietro da Medina (1493 - 1567), Antonio Ferrari (1558), Lucas Waghenaer (1586), Girolamo Borro (1512-1592), Francesco Patrizi da Cherso (1529-1597), Francis Bacon (1561-1626), Lord Verulam (1561-1626), Galileu (1564-1642), Descartes (1596-1650) e Isaac Newton (1643-1727). Uma análise das contribuições de todos esses estudiosos nos afastaria muito da proposta do presente trabalho. Procuramos fazer escolhas, entre esses nomes, para firmar uma noção sobre o que era o entendimento do fenômeno das marés nesse período.

Por exemplo, **Girolamo Borro (1512 – 1592)**, professor na Universidade de Pisa na época a qual Galileu Galilei foi aluno, em seu *Del Flusso e Reflusso del Mare e dell'inundatione Del Nilo* (Do Fluxo e Refluxo do Mar e da Inundação do Nilo), fez relações das marés com a Lua, mas justifica a ação lunar a partir de sua luminosidade, que provocaria o aquecimento das águas causando o fluxo e o refluxo do mar.

“Depois das primeiras seis horas do dia, chegam as seis seguintes, a lua ambulante entra no segundo quarto do mundo e começa a ferir o primeiro quarto à esquerda, deles novamente fugindo. (...) E à medida que o calor mais quente as incha, a hora menos quente as esvazia e as condensa: condensadas e esvaziadas, elas são baixadas. E quanto mais a lua do primeiro quarto se aproxima do oeste de seu horizonte (...) o refluxo no primeiro quarto acaba, e as águas muito altas que estavam naquele primeiro quarto, agora são muito baixas; aquelas do segundo quarto, que já começam a subir, são muito altas (...). Seguido pelo terceiro quarto do dia, a lua ambulante entra no terceiro quarto do mundo e infla os hemisférios dos Antípodas, iniciando um novo fluxo neles. (...) Enquanto a Lua eleva as águas deste terceiro quarto, ela abaixa as do segundo, pelas razões que agora são ditas. A quarta parte do dia vem, e a Lua continua sua jornada, começa a controlar as águas do mar no terceiro quarto, com seus raios um tanto transversais, portanto o calor diminui, e as águas condensadas novamente se esvaziam, e assim, quanto a Lua chega no final das últimas seis horas do dia e do último quarto do caminho, então novamente as águas retornam muito baixas no terceiro quarto passado, e muito altas no último quarto presente. Deste modo, o que você ouviu é feito um fluxo e refluxo perpétuo no mar de seis em seis horas, que é o que se diz sobre o assunto proposto ao nosso raciocínio”. (Borro, Girolamo; *Del Flusso e Reflusso del Mare e dell'inundatione Del Nilo*, pag. 146)

Uma observação que pode ser feita sobre a citação acima é a de que, ao relacionar a subida das marés à passagem da Lua pelo céu da região, Borro relatava que o fluxo ocorre tempos depois da passagem do satélite pelo Zênite. Sabemos, por dados obtidos de marégrafos (instrumentos que registram

continuamente o nível do mar), que esta diferença entre os instantes da passagem da Lua e da subida da maré é de aproximadamente 3 horas nos locais observados por nós.

Embora muitos dos autores citados anteriormente já admitissem a relação da Lua com as marés, foi só no século XVII que as causas mecânicas efetivas pelo sobe e desce das águas começaram a ser entendidas.

“(…) durante quase todo o século XVII, há um predomínio claro das teorias ditas mecanicistas com Bacon, Galileu e Descartes até o surgimento e afirmação da teoria de Newton. As marés, em particular, podem ser tomadas como um exemplo típico do avanço, durante a primeira metade do século XVII, da visão mecanicista do mundo (…).” (Galileu, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*; tradução – Pablo Ruben Mariconda, 2011, São Paulo, Apêndice - a quarta jornada do diálogo e as marés. P-845)

Dos quatro supracitados, **Galileu** vai de contra às evidências e nega a ação da Lua e do Sol sobre as marés. Sua teoria “desenvolvida originalmente para dar conta do período diário no *Discorso del flusso e reflusso del mare*, (...) é refundida e expandida para os períodos mensal e anual na Quarta Jornada do *Diálogo*” (Ibid. P-846).

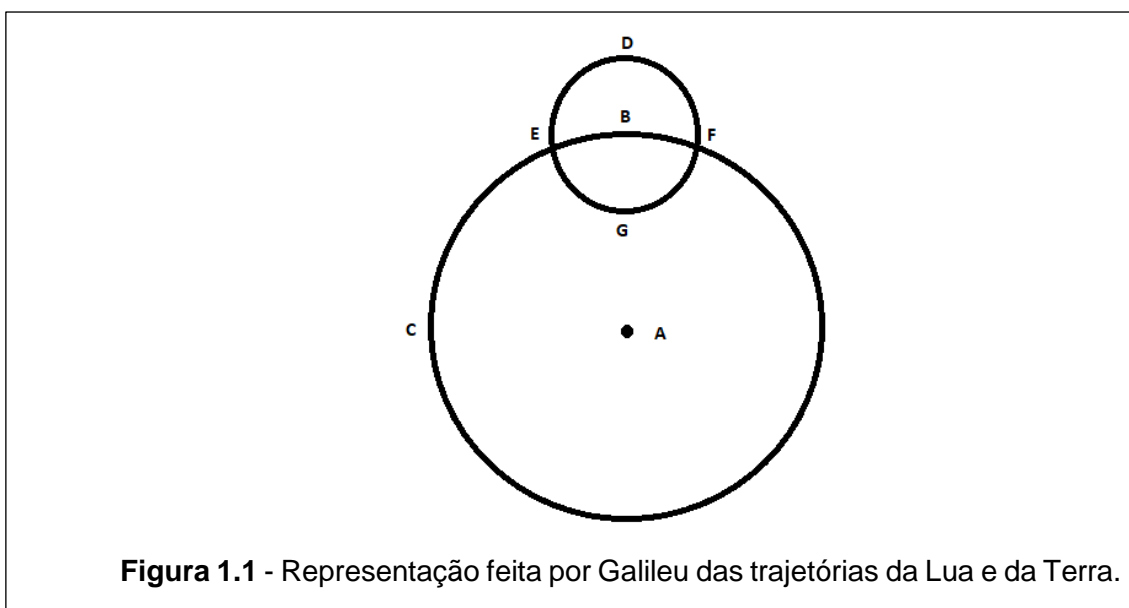
“Salviati - ... visto que nem com a luz da lua ou do sol, nem com calores temperados, nem com diferentes profundidades, jamais se fará artificialmente que a água contida num vaso imóvel flua e reflua, suba e desça, num lugar e não em outros. Mas se fazendo mover o vaso, sem qualquer artifício e até mesmo simplissimamente, eu vos posso representar exatamente todas aquelas mudanças que se observam nas águas marinhas, por que quereis recusar esta razão e recorrer ao milagre?” (Ibid. P-494)

O trecho acima foi retirado da quarta jornada do DIÁLOGOS SOBRE OS DOIS MÁXIMOS SISTEMAS DO MUNDO PTOLOMAICO E COPERNICANO, onde Salviati é uma das três personagens do livro e representa o próprio Galileu. O nome é uma homenagem a Filippo Salviati (1582-1614), um florentino cujo a casa, em 1611, foi usada para reuniões de Galileu com outros intelectuais da época para discutir assuntos relativos à ciência. As outras personagens são Simplicio, que é um defensor das ideias de Aristóteles, e o nome é uma homenagem a Simplicio de Cilícia (500-549), um filósofo grego da Idade Média (profundo comentador das obras aristotélicas); e Sagredo, que era a personagem imparcial nas ideias, cujo nome foi em homenagem a Giovanfrancesco Sagredo (1571-1620), um colega de estudos de Galileu, a quem este recorria quando tinha necessidades financeiras.

Vale ressaltar que seu intuito, o tempo todo, ao elaborar um modelo para explicar o fluxo e refluxo dos mares, era justificar suas teorias heliocêntricas e da mobilidade terrestre. Então ele encontra uma forma de explicar o fenômeno a partir dos movimentos da Terra ao redor de seu eixo e ao redor do Sol, como mostram os trechos abaixo.

“Salviati - Portanto, Sr. Simplicio, já que, para fazer o fluxo e refluxo do mar, é necessário introduzir o milagre, façamos milagrosamente mover a Terra, para que com o seu movimento mova-se depois naturalmente o mar...” (Ibid. P-494)

“Salviati - ... Dissemos que dois são os movimentos atribuídos ao globo terrestre: o primeiro anual feito com seu centro pela circunferência do *orbe magno* na eclíptica segundo a ordem dos signos, ou seja de ocidente para oriente; o outro, feito pelo mesmo globo que gira em torno de seu próprio centro em vinte e quatro horas, e este igualmente de ocidente para oriente, ainda que em torno de um eixo um pouco inclinado e não equidistante àquele da revolução anual. Da composição desses dois movimentos, cada um por si mesmo uniforme, afirmo que resulta um movimento disforme nas partes da Terra: o que, para que se compreenda mais facilmente, mostrarei traçando uma figura”. (Ibid. P-498)



Vamos então à explicação do modelo proposto por Galileu. O círculo menor da figura representa a Terra, com centro em B, enquanto que o maior (C), representa a trajetória da Terra ao redor do Sol, com centro em A. Tanto a rotação da Terra quanto sua revolução ao redor de A se dão no sentido anti-horário. Portanto, fazendo uma composição de velocidades, no ponto D ocorre a soma das velocidades de rotação e revolução, enquanto que no ponto G, ocorre a subtração. Com isso, os pontos da Terra que se deslocam de D até G

descrevem um movimento retardado, mas os pontos que se deslocam de G para D, estão em movimento acelerado.

Pode ser a analogia com uma bacia contendo água. Se a bacia é acelerada em um sentido (pensemos em um movimento retilíneo para simplificação), haverá um acúmulo de água na parte oposta ao sentido do movimento. Se a bacia sofrer uma frenagem, o acúmulo acontecerá na parte da frente da bacia. Partindo desse raciocínio, haveria um acúmulo predominantemente nas regiões próximas ao ponto D, onde ocorreria a maré alta, e uma escassez nas proximidades do ponto G, onde teríamos as marés baixas.

O problema encontrado nessa explicação é o fato de apresentar somente uma maré alta e uma baixa ao longo de um dia, mas já era bem sabido à época que ocorrem duas marés altas e duas baixas por dia. E para dar uma resposta sobre isso, Galileu (ou Salviati) diz o seguinte:

“Mas como os acidentes particulares, que se observam em lugares e tempos diferentes, são múltiplos e variados, é necessário que eles dependam de outras causas concomitantes diferentes, ainda que todas devam ter conexão com a primária; por isso se faz mister propor e examinar todos os diversos acidentes que possam ser causas desses diversos efeitos”. (Ibid., pag. 500)

Já para explicar as variações da amplitude das marés que ocorrem ao longo do mês, Galileu usou como analogia a mudança nos períodos dos pêndulos, de acordo com o comprimento dos mesmos. O raciocínio foi o seguinte: tomando o Sol como o ponto de suspensão de um pêndulo e fazendo da Terra e da Lua uma associação de pesos suspensos, quando estamos na lua Cheia, a ordem dos astros (Sol – Terra – Lua) faz com que o “pêndulo astronômico” (este termo não foi usado por Galileu, e está sendo introduzido aqui apenas para fins didáticos) teria um comprimento maior, logo um período maior. Então isso faria com que a Terra se movesse mais lentamente em sua trajetória. No contrário, quando estamos na fase de lua Nova, a ordem dos astros (Sol – Lua – Terra) torna o comprimento do pêndulo menor, diminuindo o período e fazendo a Terra se mover mais rápido ao redor do Sol. Logo, ao longo do mês, a velocidade da Terra estaria variando, ocasionando velocidades variáveis tanto do ponto D quanto do ponto G no esquema da figura 1.1. Com isso, as acelerações e desacelerações dos pontos na superfície da Terra variam ao longo do mês, propiciando acúmulos de magnitudes diferentes de água.

O modelo de Galileu é, sem dúvida, muito engenhoso, mas despreza uma evidência relevante da relação entre o movimento da Lua e o sobe e desce da água. Já **Francis Bacon (1561 – 1626)**, que em 1611 publicou seu *De fluxu et refluxu maris (Do fluxo e refluxo do mar)*, admitia que a Lua poderia ser a responsável pelas marés, embora não afirmasse categoricamente. Ele diz que o fenômeno “é vulgarmente, por conjectura ligeira, referido à Lua, devido a algum consenso desse movimento com o movimento da Lua” (Francis Bacon, *Do fluxo e refluxo do mar*, scientiæ studia, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 520-48, 2007, pag. 521). Outra coisa que já era sabido é que os movimentos das marés obedeciam determinados intervalos: “o das 6 horas, o mensal, o quinzenal e o semestral, dos quais somente no de 6 horas se vê o fluxo do mar agir e mover-se...” (Ibid., pag.525).

Como causas do fenômeno, o autor propõe duas possibilidades: a primeira ele chama de aumento e diminuição das águas, a qual “julgamos ser tal qual se encontra na água fervente, que se eleva nas caldeiras e em seguida aquieta-se”. (Ibid., pag.); a segunda é a dita progressão, que “é tal qual se encontra na água transportada em uma bacia, da qual a que deixa um lado dirige-se ao lado oposto”.

No seu outro livro onde também escreve sobre as marés (inclusive com uma menção crítica à teoria de Galileu sobre o tema) o *Novo Organum – segundo livro*, Bacon vai além e, dentre as duas causas mencionadas acima, ele sugere três possibilidades para a ocorrência da primeira causa.

“É necessário que este movimento, graças ao qual as águas sobem e descem, sem o concurso do impulso das águas de outro mar, ocorra de uma dessas três maneiras seguintes. Que tal quantidade de água surja das entranhas da Terra e para elas de novo se recolha; ou que não haja qualquer quantidade maior de água, mas que as mesmas águas, sem aumentar a sua quantidade, dilatam-se ou rarifiquem-se a ponto de ocupar maior espaço e dimensão, e depois se contraiam para o volume inicial; ou que não haja aumento nem de quantidade e nem de extensão, mas que as mesmas águas (tal como são em quantidade, densidade e rarefação) subam e depois desçam em razão de uma força magnética que as atrai para o alto e por simpatia. Assim, deixando de lado os dois primeiros movimentos, vamos restringir a questão (se assim se desejar) a este último movimento, procurando investigar se há a elevação por consenso, simpatia ou força magnética”. (Francis Bacon, *Novo Organum*, tradução - José Aluysio Reis de Andrade, 2002, pag. 202)

Em suma, de acordo com Bacon, as possibilidades são:

1º – há água dentro da Terra que escoar para o mar e faz a maré subir, e quando a maré baixa, essa água volta para dentro da Terra;

2º – a água do mar dilata e contrai, provocando as marés;

3º – existe uma atração que Bacon supõe ser magnética que faz a água subir e descer.

As duas primeiras são deixadas de lado para que se dediquem à investigação da terceira, como diz ao final do trecho acima.

Vale observar que as marés não configuraram um tema central no *Novo Organum*, e serviu como pano de fundo para o verdadeiro objetivo do autor, que era tratar de uma forma para organizar a produção de conhecimento filosófico e científico na sua época.

Como geocentrista que era, Bacon punha à prova a teoria de Galileu para as marés, principalmente por conta da suposição de que a Terra se movia.

“Dessa desigualdade fundamental da velocidade dos movimentos extrai Galileu a causa do fluxo e do refluxo do mar. Sendo a terra de rotação mais veloz que a água, deve surgir, segundo ele, a acumulação e a elevação das águas, e vice-versa, em sua descida, como acontece com um recipiente de água fortemente agitado. Mas tal opinião se fundamenta em uma hipótese arbitrária, isto é, que a Terra se move, isso sem ter bem observado o movimento regular de cada seis horas do oceano”. (Ibid. pag. 245)

Bem mais convicto do que Bacon sobre a atuação da Lua nas marés e tão heliocentrista quanto Galileu, Descartes propôs seu modelo para explicar as marés inicialmente no *Le monde ou traité de la lumière (O mundo ou tratado da luz)*, cuja publicação foi abandonada pelo mesmo, por temer problemas com a inquisição (cujos Galileu teria enfrentado em 1633) . Entretanto, essencialmente a mesma explicação reaparece em *Les principes de la philosophie (Os princípios da filosofia)*, publicados originalmente em latim em 1644.

Embora a teoria cartesiana estivesse em conformidade com a ocorrência das duas marés altas e duas baixas por dia, e também dava conta de explicar os intervalos entre as duas marés consecutivas – aliás, Descartes explica de forma bem segura e didática o porquê do real período entre duas marés altas consecutivas ser de 12 h e 24 min. – ela não está de acordo com o posicionamento da Lua em relação ao estado da maré (alta ou baixa) em determinada região.

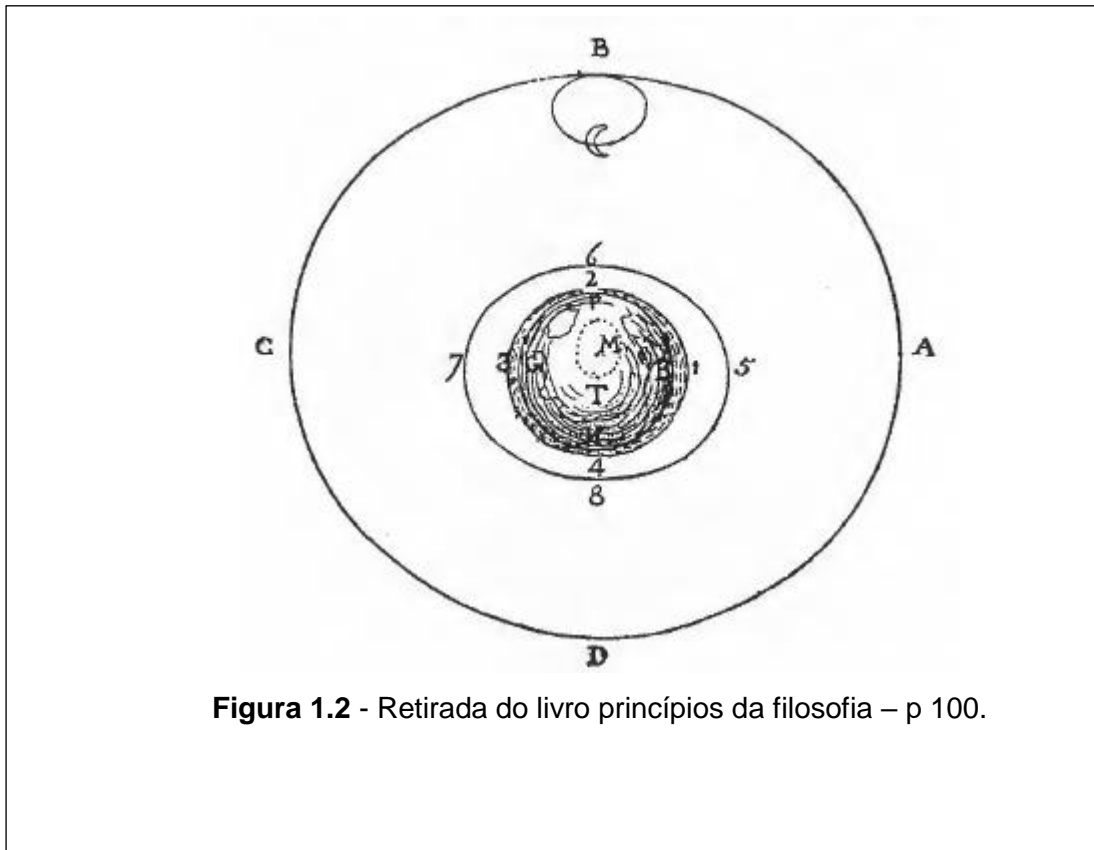


Figura 1.2 - Retirada do livro princípios da filosofia – p 100.

Na figura 1.2, usada por Descartes no Princípios da Filosofia, o círculo ABCD é o que ele chama de primeiro céu, o qual a Lua está compreendida; o círculo mais achatado 5678 representa a atmosfera (que ele chama simplesmente de ar); mais internamente está a Terra que está envolta pelo mar, representado pelo círculo 1234 (o número 3 não está muito legível, mas se encontra à esquerda, próximo ao número 7 da atmosfera); por dentro da figura que representa a Terra, têm os pontos EFGH representando a superfície dela (esses estão quase imperceptíveis), além dos pontos T, que representa o centro do planeta e M, que representa um turbilhão sobre a superfície terrestre.

Segundo Descartes, na situação da figura, os pontos 2 e 4 do mar seriam de marés baixas e os pontos 1 e 3, de marés altas. Isso porque, de acordo com ele, o ar e o mar sofrem mais pressão na direção da linha que passa pela Lua (por ação da mesma) e por isso os pontos 2 e 4 do mar teriam menor profundidade, assim como em 3 e 5 teriam maior profundidade. Sabemos hoje

que nas regiões por onde a Lua “passa” ocorrem marés altas, bem como nas regiões diametralmente opostas no globo terrestre.

Descartes ainda explica por que há variações das alturas das marés com as fases da Lua, mas em momento algum menciona a ação conjunta do Sol.

Para ele,

“Também deve observar-se que (...) *ABCD* não é exatamente redondo e o diâmetro em que a Lua se encontra quando cheia ou nova é o menor de todos e aquele que o divide em ângulos retos é o maior (...) Donde se segue que a presença da Lua pressiona mais a água do mar, fazendo-a levantar quando cheia ou nova ou descer quando semicheia”. (Descartes, *Princípios da Filosofia*, tradução – João Gama, pag. 198)

Também encontra uma forma condizente com sua teoria de explicar por que nos solstícios as marés têm amplitudes maiores do que nos equinócios, como se pode ver no trecho abaixo:

“Também deve observar-se que a Lua está sempre mais próxima do plano da eclíptica, ao passo que a Terra gira à volta do centro seguindo o plano do equador, que está bastante afastado, e que estes dois planos se cortam entre si nos pontos onde se formam os equinócios; mas encontram-se muito afastados nos dois solstícios. Donde se segue que é no princípio da Primavera e do Outono [isto é, na altura dos equinócios] que a Lua age mais diretamente sobre a Terra, tornando deste modo as marés mais vivas”. (Ibid., pag. 198)

É possível observar que Descartes tem em mente a ideia de que a interceptação dos planos da órbita lunar e do plano equatorial terrestres explica esta questão, mas neste caso ele ignora que o Sol esteja atuando como agente causador das marés também.

Quem realmente explica como estes astros (Lua e Sol) estão relacionados com o sobe e desce do mar é Isaac Newton, que em seu *Philosofae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos de Filosofia Natural) enuncia uma lei que rege as interações astronômicas (hoje conhecida como Lei da Gravitação Universal) e, a partir dela, propõe uma solução para a causa das marés.

A Lei estabelece que a força de atração gravitacional entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1.1)$$

onde F é a força de interação gravitacional, m_1 e m_2 são as massas dos corpos e d é a distância entre seus centros.

Tratando, enfim, da causa das marés, Newton escreve “que o fluxo e refluxo do mar surge das ações do Sol e da Lua”. (*Principia* - livro 3, proposição 24, teorema 19, pag. 225 - 214). E explica com mais clareza a seguir:

“Os dois astros excitam dois movimentos, que não aparecem separadamente, mas entre eles surgirá um movimento misturado e composto de ambos. Na conjunção ou oposição dos astros, suas forças associam-se, fazendo a maré mais alta e mais baixa. Nas quadraturas o sol vai subir as águas que a lua abaixa, e vai abaixar as águas que a lua sobe, e a partir da diferença de suas forças surge e menor de todas as marés. E já que (como nos diz a experiência) a força da lua é maior que a do sol, a maior altura das águas ocorrerá ao redor da terceira hora lunar. A partir das sizígias e quadraturas, a maior maré, que pela força única da lua tinha de ocorrer na terceira hora lunar, e pela força única do sol na terceira hora solar, ocorrerá pelas forças compostas de ambos num tempo intermediário que se aproxima mais da terceira hora da lua do que da do sol. E, portanto, enquanto a lua está passando das sizígias para as quadraturas, sendo que durante este tempo a terceira hora do sol precede a terceira hora da lua, a maior altura das águas também vai preceder a terceira hora da lua, e isto, pelo maior intervalo, um pouco após os octantes da lua”. (*Principia* - livro 3, proposição 24, teorema 19, p 225 - 214)

Então, a partir da Lei da Gravitação Universal, é possível obter a força que provoca as marés, chamada convenientemente de **Força de Maré (F_M)**. Mais adiante trataremos desse assunto.

A teoria das marés descrita por Newton, chamada de maré de equilíbrio, acabou sendo posta à prova por evidências experimentais, e foi Laplace quem elaborou um modelo mais realístico para as previsões através de estudos desenvolvidos a partir da década de 1770. Este modelo foi chamado de teoria dinâmica das marés e até hoje é usado para previsões mais precisas.

“Não se trata de buscar uma nova causa do fluxo e do refluxo do mar, mas de fazer bom uso daquilo que inegavelmente compreendemos e que, como sabemos, consiste na desigualdade do peso do mar e do centro da Terra em direção ao Sol e à Lua. Proponho submeter a uma análise mais rigorosa do que se tem feito ainda os efeitos dessa desigualdade da gravidade e as oscilações que dela resultam. Quase todos os geômetras que até então se ocuparam com esse objeto supuseram antes de tudo um corpo celeste imóvel acima de um planeta imóvel, coberto de um fluido”; (LAPLACE, 1843, p. 88)

“(…) Isto é como Newton, Daniel Bernoulli e Maclaurin determinaram os efeitos das atrações do Sol e da Lua no mar; mas é fácil perceber a

pouca conformidade dessas suposições com o que acontece na natureza, e devemos aos grandes geômetras que acabei de citar a justiça (de) observar que eles mesmos reconheceram a imprecisão e inadequação para explicar vários fenômenos de marés”. (ibid. p. 88)

“(…) Felizmente, isso não diminui o princípio da gravitação universal, e isso só resulta na necessidade de considerar, ao determinar as oscilações do mar, o movimento de rotação da Terra, e o movimento do Sol e da Lua em suas órbitas”. (ibid. pag. 89)

Laplace menciona, no entanto, as contribuições de Euler e d’Alembert, mas é sobre o segundo que tece comentários mais contundentes, se referindo ao livro Reflexões Sobre a Causa dos Ventos.

“De resto, devo a M. d’Alembert, a justiça de observar que, se tive a sorte de acrescentar algo às suas excelentes Reflexões Sobre A Causa Dos Ventos, sou principalmente grato a essas reflexões e às grandes descobertas deste grande geômetra na Teoria dos Fluidos e no Cálculo Integral com Diferenças Parciais, das quais vemos os primeiros traços na obra que acabei de citar”. (ibid. pag. 89)

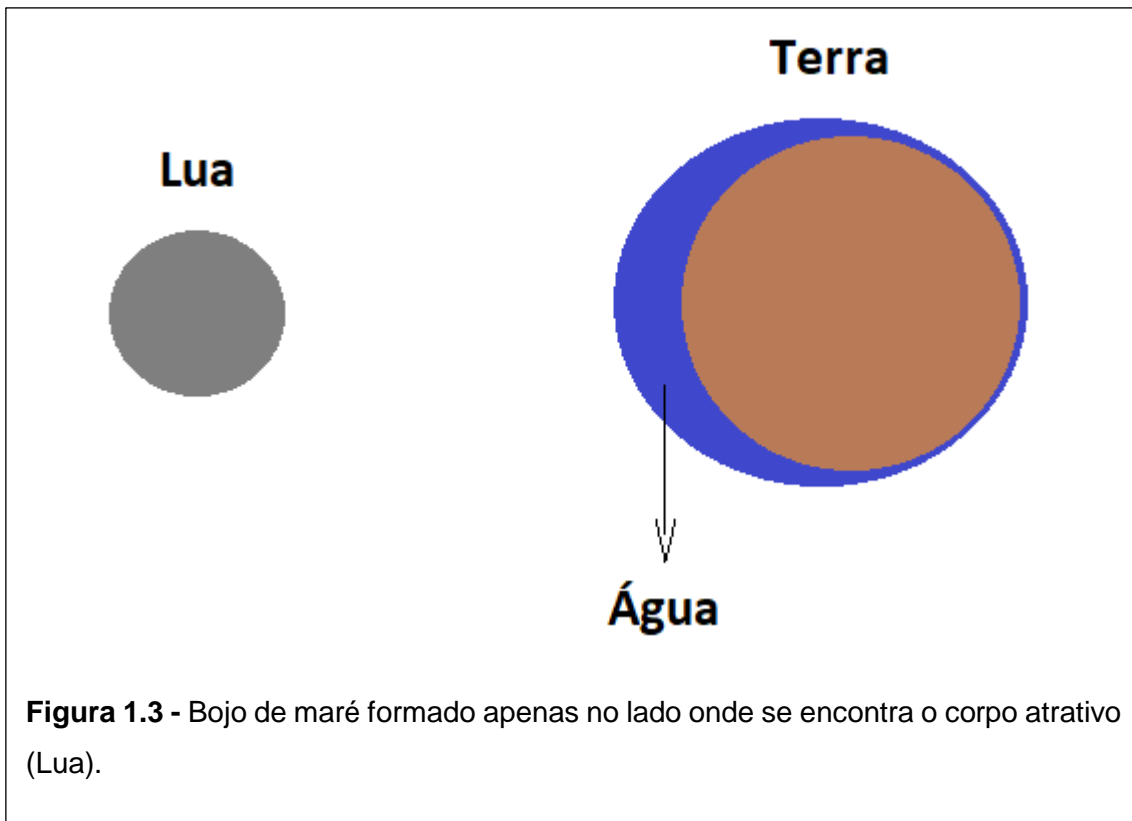
Para um estudo introdutório, que é a proposta deste trabalho, vamos desenvolver apenas a teoria descrita por Newton, o que dará um bom embasamento para a compreensão do fenômeno.

1.2 - Alguns equívocos comuns no tratamento gravitacional das Marés

Antes de nos aprofundarmos na definição da Força de Maré, é muito importante tomarmos cuidado com a simples afirmação de que a principal causa das marés é a atração gravitacional da Lua e do Sol, porque isso pode levar a conclusões erradas sobre o fenômeno. Duas delas vamos discutir a seguir:

- Formação dos bojos de maré

Uma das conclusões errôneas que nos deparamos frequentemente ao afirmar sobre a atração gravitacional como causa das marés é em relação à formação dos bojos de maré (que são as partes da água que geram as regiões de marés altas). Na Figura 1.3 estão representados dois corpos fazendo referência à Lua e à Terra, e esta última vamos supor que esteja envolta por uma camada uniforme de água.



Nesta figura está representado o modelo mental que, frequentemente, é criado quando se considera que a causa das marés está limitada à atração gravitacional, ou seja, a água sofreria um acúmulo na região voltada para a Lua e ficaria mais escassa na região oposta. Mas se o fenômeno ocorre assim, como poderíamos observar duas marés altas e duas marés baixas ao longo de um dia? Pois se levarmos em conta que a Terra está girando ao redor de seu eixo, em um dia, o mesmo ponto da Terra passaria uma vez pela região de maior acúmulo de água, que daria a maré alta, e uma vez pela região de menor acúmulo, maré baixa. Já é histórico que se observam duas marés altas e duas baixas por dia. Como resolvermos este problema? Veremos a seguir, mas antes vamos tratar do segundo erro mais recorrente em relação às marés e à atração gravitacional.

- Diferença entre a atração lunar e a atração solar

Quando afirmamos que a atração gravitacional responde pela ocorrência das marés, e que a Lua e o Sol atuam em conjunto para provocar as deformações oceânicas que observamos, corremos o risco de buscar uma relação entre a força exercida pelos dois astros usando apenas o senso comum.

Como a atração gravitacional do Sol é responsável pelo movimento translacional conjunto do sistema Terra-Lua, o senso comum costuma indicar que a atração do Sol deve ser preponderante sobre o fenômeno de maré. Devido à sua massa ser muito maior do que a massa do sistema Terra-lua, o Sol deve reger o comportamento de maré. Vamos abaixo calcular a força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol sobre o centro da Terra usando a Lei da Gravitação, para compararmos as duas:

Valores envolvidos:

Distância média Sol - Terra: $d_{ST} = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

Distância média Lua - Terra: $d_{LT} = 3,82 \cdot 10^8 \text{ m}$.

Massa do Sol: $M_S = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Massa da Terra: $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

Massa da Lua: $M_L = 7,36 \cdot 10^{22} \text{ kg}$.

Constante de gravitação universal: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N/m}^2 \cdot \text{kg}^2$.

(Fonte: <http://www.fq.pt/images/tabelas/constantesfisicas.pdf>)

Força Sol – Terra (F_{ST})

$$F_{ST} = G \frac{M_S M_T}{d_{ST}^2}$$

Substituindo os valores na equação, chegaremos ao valor aproximado de $F_{ST} = 3,54 \times 10^{22} \text{ N}$.

Força Lua – Terra (F_{LT})

$$F_{LT} = G \frac{M_L M_T}{d_{LT}^2}$$

Substituindo os valores na equação, chegaremos ao valor aproximado de $F_{LT} = 2,01 \times 10^{20} \text{ N}$.

Comparando as duas forças, teremos que $F_{ST} \approx 176 \times F_{LT}$, ou seja, a força que o Sol exerce sobre a Terra é consideravelmente superior à força que a Lua exerce sobre a Terra. Entretanto, essa relação tomada isoladamente não explica

a observação das marés! A maré solar média tem a metade da altura da maré lunar média [Gross, 1971]. É a lua que rege o movimento de maré e não o Sol.

Um cálculo complementar sobre a atração gravitacional pode ser interessante. Se tomamos uma massa de um quilograma sobre a superfície do planeta, a força de atração da Terra, ou seja, o peso, é de aproximadamente $m \cdot g \approx 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$. A atração exercida pela Lua em termos numéricos é,

$$F_{LT} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1 \times 7,36 \times 10^{22}}{(3,84 \cdot 10^8)^2} = 3,32 \times 10^{-5} \text{ N}$$

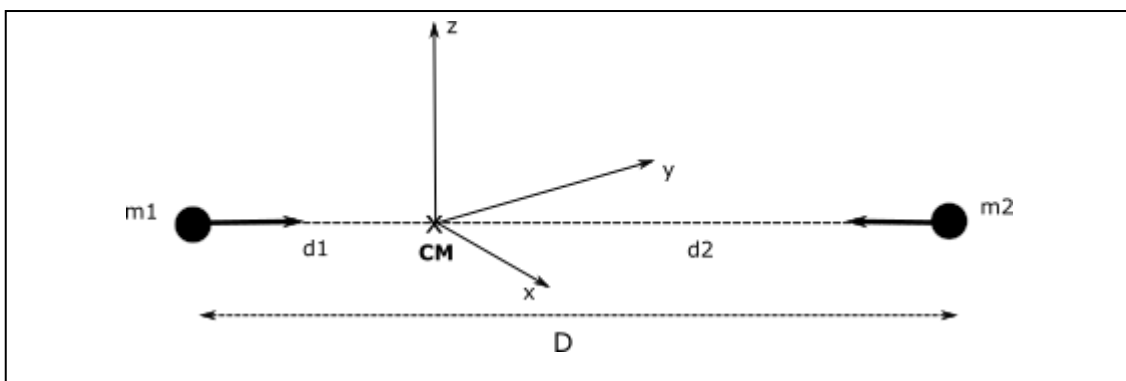
A atração exercida pelo Sol, como vimos, é cerca de 176 vezes maior. Em ambos os casos, vemos (e experimentamos), que as forças envolvidas são muito menores que a atração gravitacional da Terra, que mantém os oceanos em seus leitos. Estas forças são como pequenas perturbações que se somam à atração gravitacional da Terra.

1.3 - Força de Maré

Ao pensarmos na ação gravitacional de um astro (a Lua, por exemplo) sobre a Terra, devemos observar que as dimensões terrestres não são desprezíveis em relação à esta ação. Então, a força gravitacional da Lua sobre a Terra não é uniforme. Outro ponto importante, que normalmente não é considerado, é que a Lua não gira estritamente em torno do centro da Terra. O que temos é um movimento de rotação conjugado da Terra e da Lua em torno do centro de massa (CM) do sistema, de forma similar ao que ocorre com estrelas binárias. Podemos agregar o fato de que é o CM do sistema Terra-Lua que executa o movimento translacional puro em torno do sol. O CM desse sistema está a aproximadamente 4.700 km de distância do centro da Terra, no eixo que liga o centro da Terra ao centro da Lua. Sendo o raio médio da Terra de 6.370 km concluímos que o CM está no interior do planeta.

Vamos considerar um sistema binário genérico, isolado, de massas m_1 e m_2 separados por uma distância D sob ação de forças mútuas de atração gravitacional, girando em torno do CM com velocidade angular ω . No desenho a seguir o "x" marca a posição do CM. Vamos considerar um referencial com

origem fixa no CM e cujos eixos cartesianos xyz apontam para estrelas distantes (constituindo assim um referencial inercial).



Se aplicamos a 2ª Lei de Newton para o movimento das duas massas encontramos,

Resultante de forças = massa x aceleração centrípeta

$$\vec{R}_1 = m_1 \cdot \vec{a}_{c1}$$

$$\vec{R}_2 = m_2 \cdot \vec{a}_{c2}$$

$$\frac{Gm_1 \cdot m_2}{D^2} = m_1 \omega^2 d_1$$

$$\frac{Gm_1 \cdot m_2}{D^2} = m_2 \omega^2 d_2$$

$$d_1 + d_2 = D$$

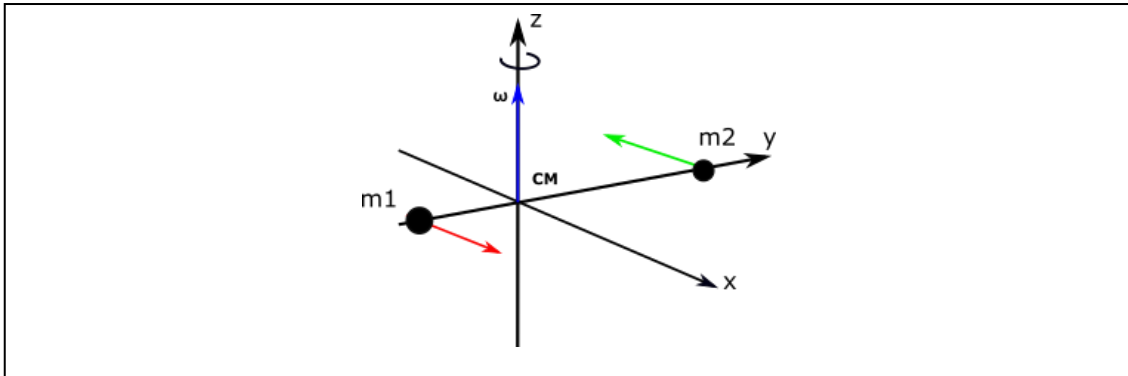
onde,

$$m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2$$

Se consideramos o corpo 1 como a Terra e o corpo 2 como a Lua e usando as constantes astronômicas citadas mais acima concluímos que $d_1 \ll d_2$, com $d_1 \approx 4700$ km, como indicamos acima.

Uma forma alternativa para se descrever a mesma situação consiste em considerar um sistema de referência com origem fixa no CM, mas que gira solidário ao sistema binário como indicado na figura a seguir. Este sistema

girante ($\omega = \text{cte.}$), em outras palavras, acelerado, não é mais um referencial inercial. Como sabemos da Mecânica Clássica as leis de Newton não podem ser aplicadas diretamente.



Para um corpo observado a partir deste referencial a 2ª Lei é aplicada como,

massa x aceleração = resultante de forças + forças inerciais (ou fictícias)

$$m \cdot \vec{a}^* = \vec{R} - m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{d}) - 2m\vec{\omega} \times \vec{v}^*$$

O primeiro termo inercial é chamado força centrífuga e o segundo, força de Coriolis. O símbolo “*” é usado para ressaltar que a velocidade e a aceleração são medidas neste referencial girante. Se aplicamos a 2ª Lei ao caso considerado, as duas massas m_1 e m_2 estarão em repouso ($v^* = 0$ e $a^* = 0$) o que resulta na seguinte condição de equilíbrio,

$$0 = \vec{R} - m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{d}) - 0$$

ou

$$\frac{Gm_1 \cdot m_2}{D^2} = m_{1,2} \omega^2 d_{1,2}$$

(1,2 \equiv 1 ou 2) ou seja, as mesmas relações anteriores são obtidas.

Para chegarmos à expressão da força de maré vamos adotar o referencial fixo no CM do sistema Terra-Lua. Por agora, vamos considerar uma situação simples em que tomamos os pontos \underline{a} e \underline{b} opostos e situados na reta que liga o centro de massa da Terra ao centro de massa da Lua, como indicado na Figura 1.4. O ponto \underline{c} corresponde ao centro de massa da Terra. O ponto \underline{b} é assim o

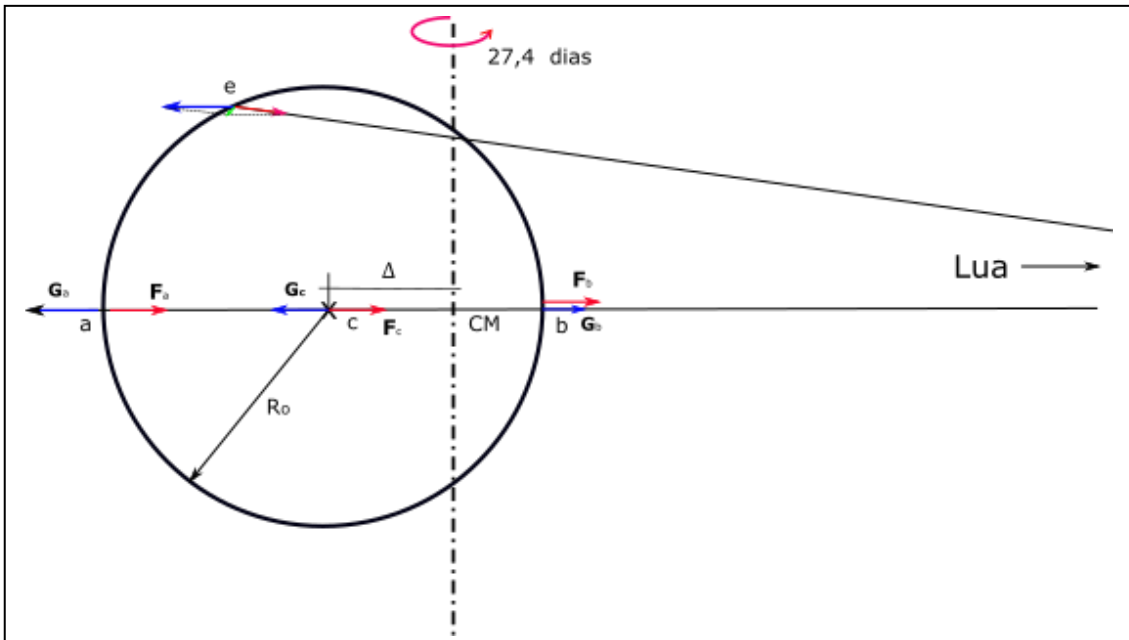


Figura 1.4 – A figura mostra uma seção transversal da Terra contendo o eixo que liga o centro de massa da Terra ao centro de massa da Lua (não mostrado). Indicamos a posição do CM e o eixo de rotação do sistema. As forças de interação gravitacional estão representadas por setas vermelhas e as forças centrífugas com setas azuis. Os CM's da Terra e da Lua são as únicas posições em equilíbrio.

mais próximo da Lua enquanto o ponto a é o mais afastado. Representamos pela letra *F* a força de atração gravitacional da Lua sobre uma massa unitária e *G* a força centrífuga.

Para calcular a força centrífuga precisamos considerar como se dá o movimento da Terra em torno do CM. Há uma tendência, observada em várias descrições deste movimento encontradas na internet, de se considerar que a Terra executa um movimento de rotação em torno do CM. Isso não é correto, pois o movimento é de translação. Indicamos isso na Figura 1.5.

O centro *c* está em equilíbrio. Podemos escrever para o ponto *c*,

$$F_c = \frac{GM_L}{D^2} = G_c = \omega^2 \Delta \quad (1.2)$$

Em a consideramos as forças de atração gravitacional da Lua e a força centrífuga numa condição de não-equilíbrio. Consideramos o mesmo para o ponto b. Se não estivesse presente a força de atração gravitacional da Terra, a água no ponto a seria precipitada em direção a Lua e a água em b seria ejetada para o

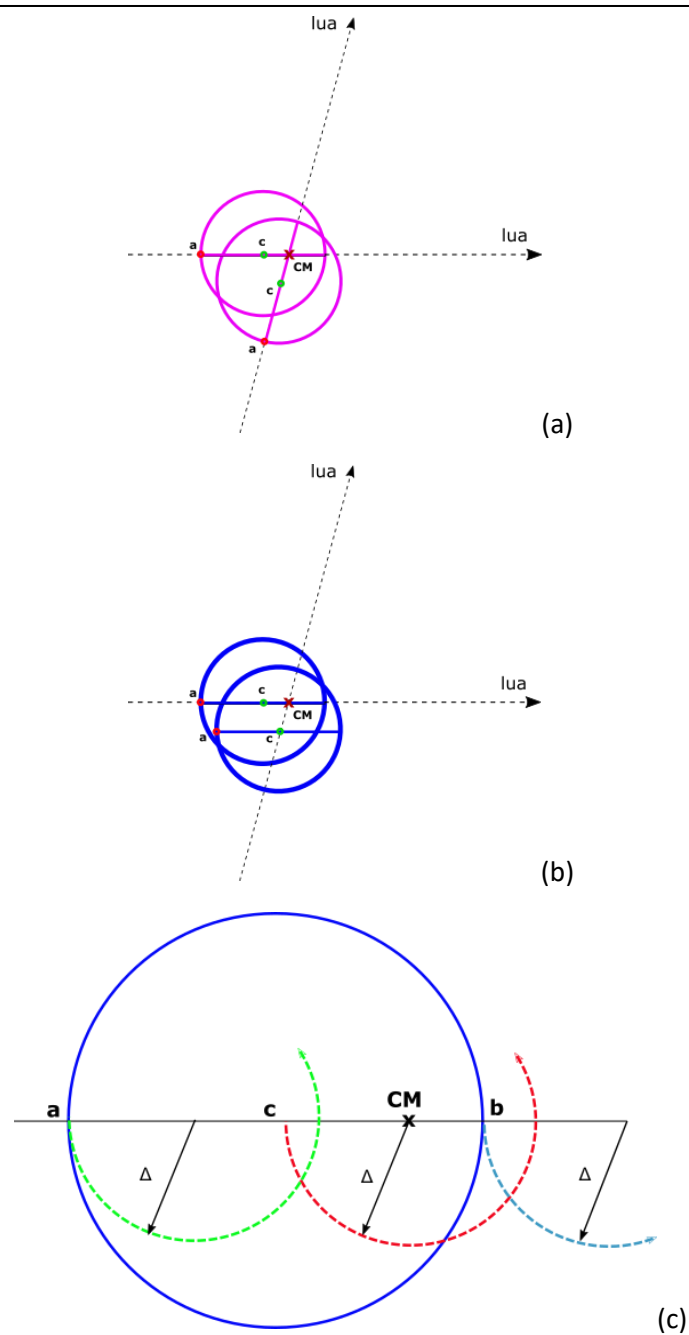


Figura 1.5 – Nesta figura representamos o movimento tal como observado ao longo do eixo de rotação do sistema Terra-Lua e que passa pelo CM. Não consideramos aqui o movimento diurno de rotação intrínseco da Terra em torno do seu centro e nem o movimento do sistema Terra-Lua em torno do Sol. (a) Neste desenho, representamos a concepção errada de que a Terra executa uma rotação em torno do CM de forma a manter sempre uma mesma face voltada para a Lua. (b) Nesta figura representamos o movimento correto. Tanto a Terra quanto a Lua executam um movimento puro de translação em torno do CM. Em (c) indicamos as trajetórias circulares de raio Δ que cada ponto sobre a Terra executa. Esses detalhes são importantes para dimensionar a intensidade das forças de maré.

espaço. Reconhecemos a força resultante como a força que impele a maré, ou **força de maré** (*tidal force*, F_m),

$$G_a - F_a = \omega^2 \Delta - \frac{GM_L}{(D + R_o)^2} \quad (1.3a)$$

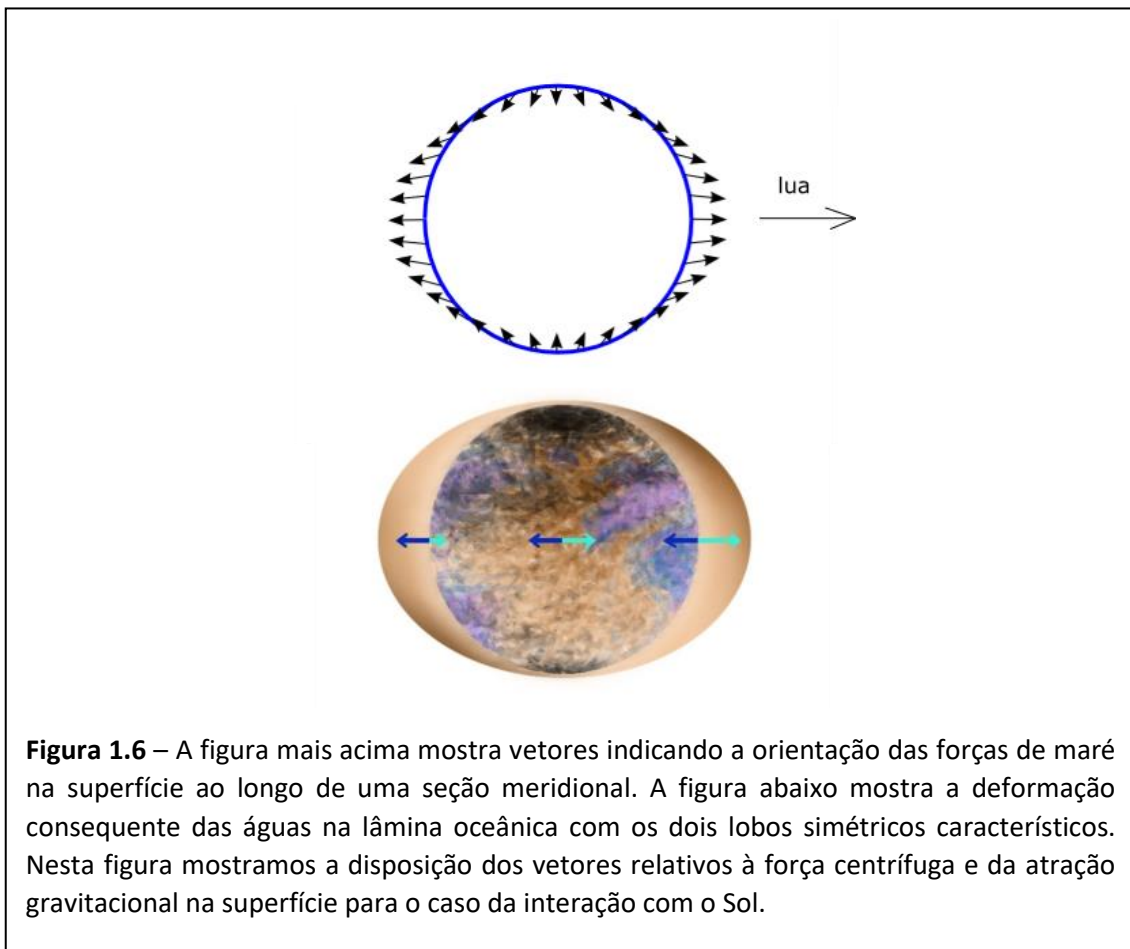
$$G_b + F_b = \omega^2 \Delta + \frac{GM_L}{(D - R_o)^2} \quad (1.3b)$$

Expandido as expressões acima em potências de (R_o/D) , desprezando os termos com potências superiores a um e, substituindo em seguida a equação (1.2), obtemos,

$$F_m = G_a - F_a = G_b + F_b = \frac{2GM_L R_o}{D^3} \quad (1.4)$$

Vemos assim que a força que impele a maré é a mesma dos dois lados opostos. No lado mais próximo da Lua temos uma proeminência da atração gravitacional da Lua e no lado oposto, mais afastado, temos uma proeminência da força centrífuga. O ponto \underline{e} na Figura 1.4 serve para avaliar a situação da força de maré fora do eixo de ligação Terra-Lua. A força de maré converge para esse eixo e é fácil perceber que a sua distribuição espacial tende a ter uma simetria axial. Esse comportamento se estende sobre todo o planeta dando origem à formação dos dois grandes lobos de maré simétricos, como vemos na Figura 1.6. Nesta figura consideramos uma situação idealizada de um planeta coberto integralmente por uma lâmina de água, apenas para resumir as principais consequências do modelo Newtoniano. Neste planeta idealizado, a condição de equilíbrio atingida com o movimento orbital da Lua (e do Sol) é o que se conhece como *maré de equilíbrio*, *maré astronômica* ou *maré gravitacional*.

A presença dos continentes, a complexidade da topografia do piso oceânico, a inércia, o atrito e vários outros fatores tornam a reação das águas, ou o movimento de maré, muito mais complexo no planeta real.



Por sua vez, o Sol exerce uma dinâmica de maré em tudo similar à da Lua, que podem ser estudadas como fatores independentes e que simplesmente se superpõem. Podemos escrever a relação (1.4) para a força de maré devido a interação com o Sol (F_M) como,

$$F_M = \frac{2GM_s R_o}{D_s^3} \quad (1.5)$$

onde M_s é a massa do Sol e D_s é a distância entre a Terra e o Sol. Se tomamos a razão entre as forças de maré nos dois casos temos que,

$$\frac{F_m}{F_M} = \frac{M_L D_s^3}{M_s D^3} \quad (1.6)$$

Substituindo os parâmetros em (1.6) pelos valores tabelados obtemos que,

$$\frac{F_m}{F_M} \cong 2,2$$

ou seja, a força de maré exercida pela Lua é, aproximadamente, o dobro da força de maré exercida pelo Sol. Como vemos em (1.6), embora o Sol tenha uma massa muito superior à da Lua está muito mais distante e a força de maré depende inversamente do cubo da distância entre a Terra e o astro considerado.

A ação conjunta produz uma maré de equilíbrio resultante que contempla quatro situações extremas de acordo com as fases da Lua. A Figura 1.7 reúne as quatro configurações.

Quando a Lua e o Sol estão alinhados, temos as fases de lua cheia ou lua nova. Nessas configurações as ações se intensificam, os lobos solar e lunar estão alinhados e ocorrem as marés mais intensas, chamadas de *marés vivas* ou *marés de sizígia*. Quando temos o Sol e a Lua em quadratura, temos as fases

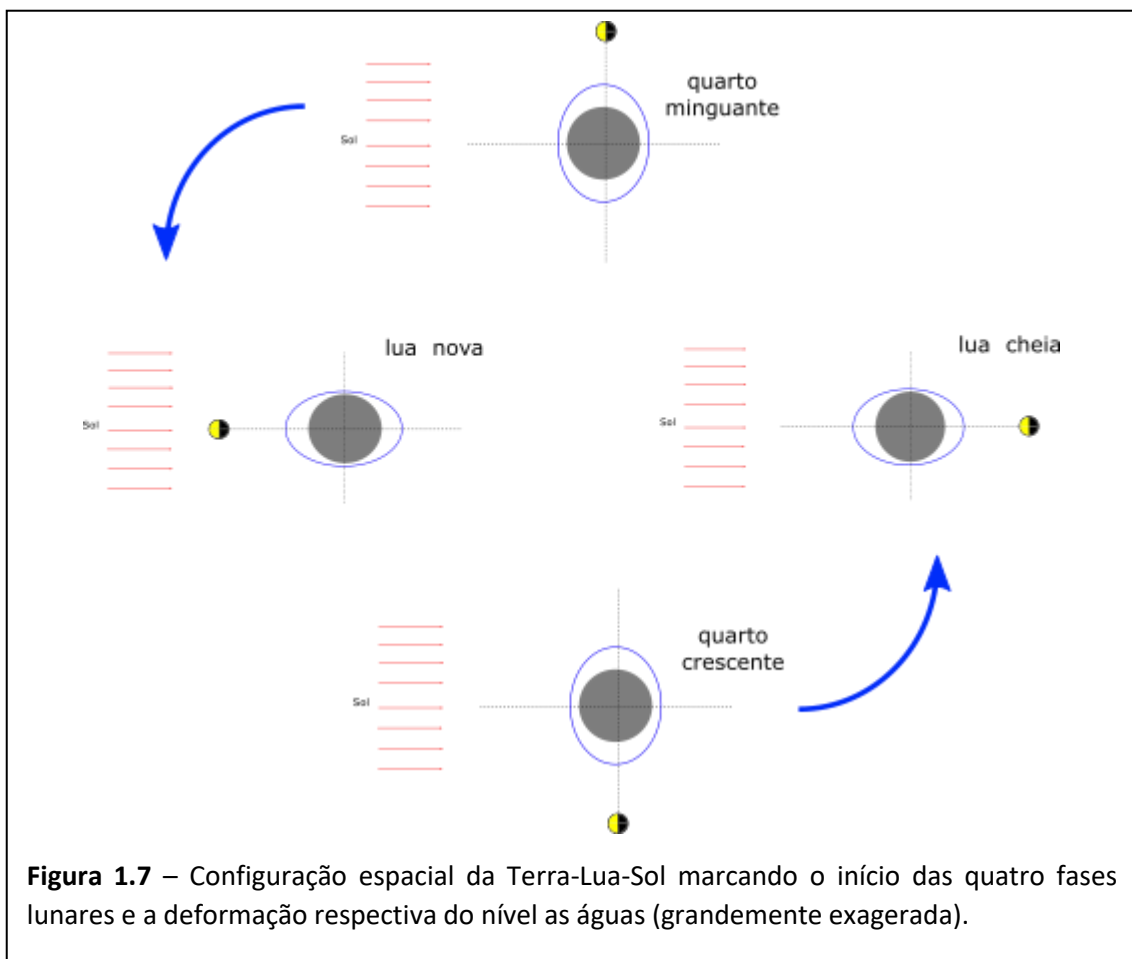


Figura 1.7 – Configuração espacial da Terra-Lua-Sol marcando o início das quatro fases lunares e a deformação respectiva do nível das águas (grandemente exagerada).

de quarto crescente ou quarto minguante. Nessas configurações temos a maior

diferença de fase entre os lobos lunares e solares e que resulta na máxima atenuação da maré, chamada de *marés mortas*. Entre essas situações extremas temos uma modulação contínua na elevação do lobo resultante.

Outro aspecto orbital que tem consequência sobre a disposição espacial dos lóbulos de maré é a orientação do plano orbital da Lua em relação ao equador terrestre e a eclíptica. A Figura 1.8 mostra a disposição do plano orbital da lua, da eclíptica e do equador. O plano orbital da Lua faz um ângulo de aproximadamente $5,1^\circ$ com a eclíptica e um ângulo de $18,1^\circ$ (atual) com o plano

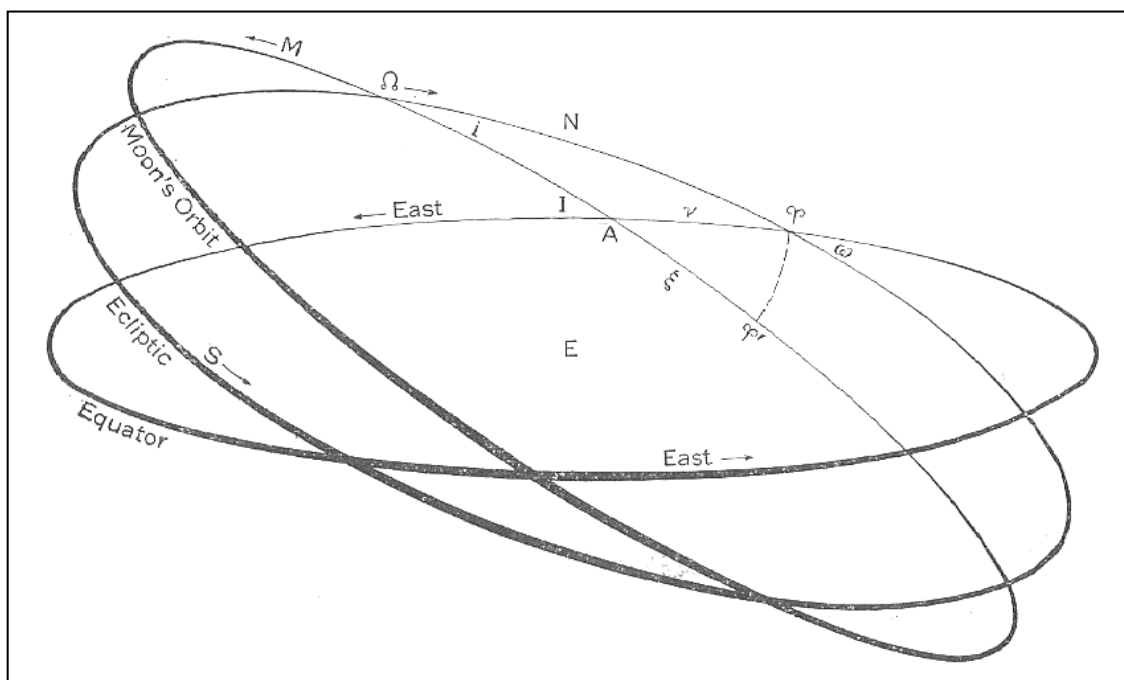


Figura 1.8 – Essa bela representação geocêntrica das órbitas do Sol (*Ecliptic*) e da Lua (*Moon's Orbit*) em relação ao Equador terrestre (*Equator*) reúne as informações astronômicas pertinentes para a previsão de marés (Schureman, 1941). Estes círculos se interceptam em seis pontos, três dos quais estão indicados por símbolos: γ , *equinócio vernal* na interseção do equador celeste e a eclíptica; Ω , *nodo lunar ascendente* na interseção da órbita lunar com a eclíptica; A, a *interseção lunar*, na interseção entre o equador celeste e a órbita da Lua. O ângulo ω entre a eclíptica e o equador celeste (obliquidade) é de $23,5^\circ$. O ângulo i entre a eclíptica e o plano da órbita lunar é de $5,1^\circ$. O ângulo I que mede a inclinação da órbita da Lua com o Equador, muda com a posição do *nodo lunar*. Quando o nodo lunar ascendente coincide com o equinócio vernal o ângulo $I = i + \omega$, ou $28,5^\circ$. Quando nodo lunar descendente coincide com o equinócio vernal o ângulo $I = \omega - i$, ou $18,1^\circ$. Esta variação tem um período de aproximadamente 19 anos e introduz importantes alterações no padrão de maré e deve ser levado em consideração.

do equador terrestre. O plano do equador terrestre faz um ângulo de $23,5^\circ$ com a eclíptica.

1.4 - Variação das marés ao longo do ano

A inclinação da órbita da Lua em relação à órbita da Terra (eclíptica) interfere nas alturas que as marés atingem ao longo do ano. Nas fases em que as marés ficam mais intensas (Lua Nova e Lua Cheia) as **Forças de Maré** da Lua e do Sol dão uma resultante maior ainda quando essas fases acontecem na interseção dos planos das órbitas lunar e terrestre. Em compensação, quando elas acontecem na situação de maior afastamento entre a Lua e a órbita da Terra, temos a menor resultante possível entre as contribuições lunar e solar.

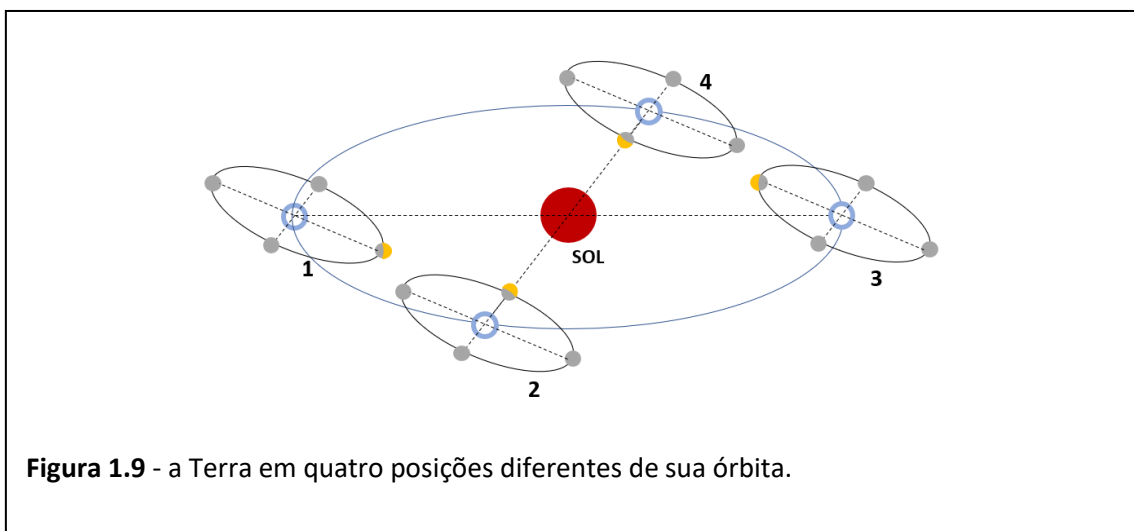


Figura 1.9 - a Terra em quatro posições diferentes de sua órbita.

Na Figura 1.9, estão representadas quatro posições distintas da Terra (enumeradas de 1 a 4), além da órbita lunar e das posições da Lua em suas

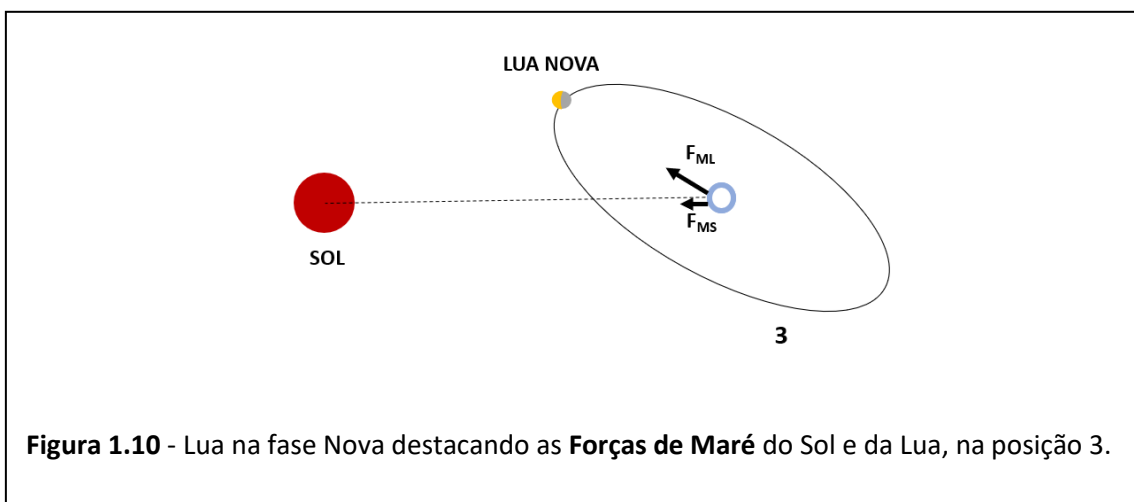
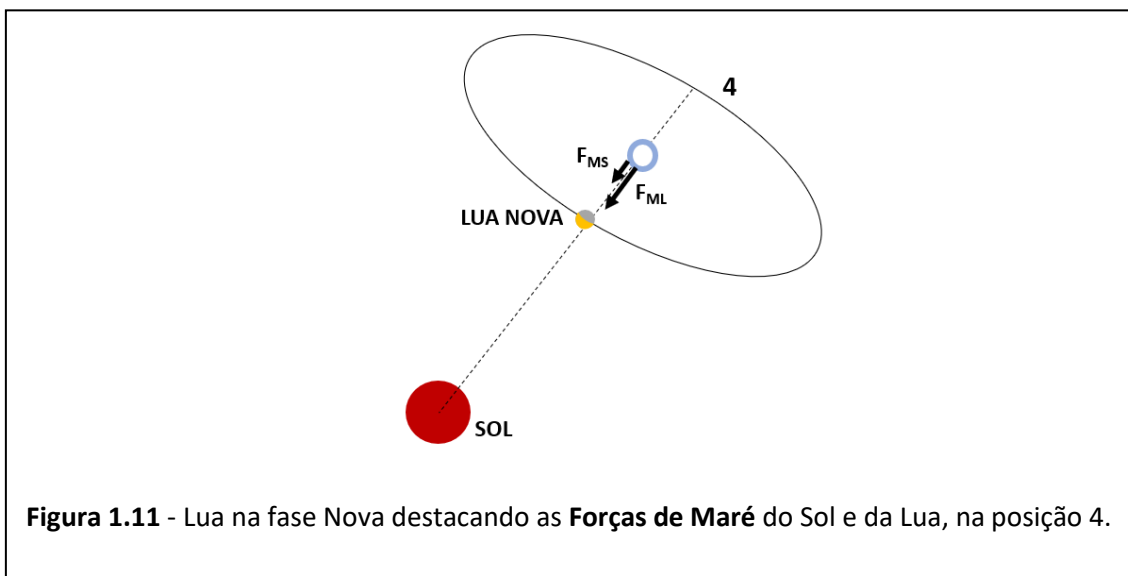


Figura 1.10 - Lua na fase Nova destacando as **Forças de Maré** do Sol e da Lua, na posição 3.

fases principais. No desenho, representamos a Lua Nova com sua devida iluminação.

Fazendo um recorte destacando somente a posição 3 (Figura 1.10), e marcando as **forças de maré** da Lua e do Sol, podemos perceber que o módulo da resultante será menor do que a soma dos módulos de F_{ML} e F_{MS} .

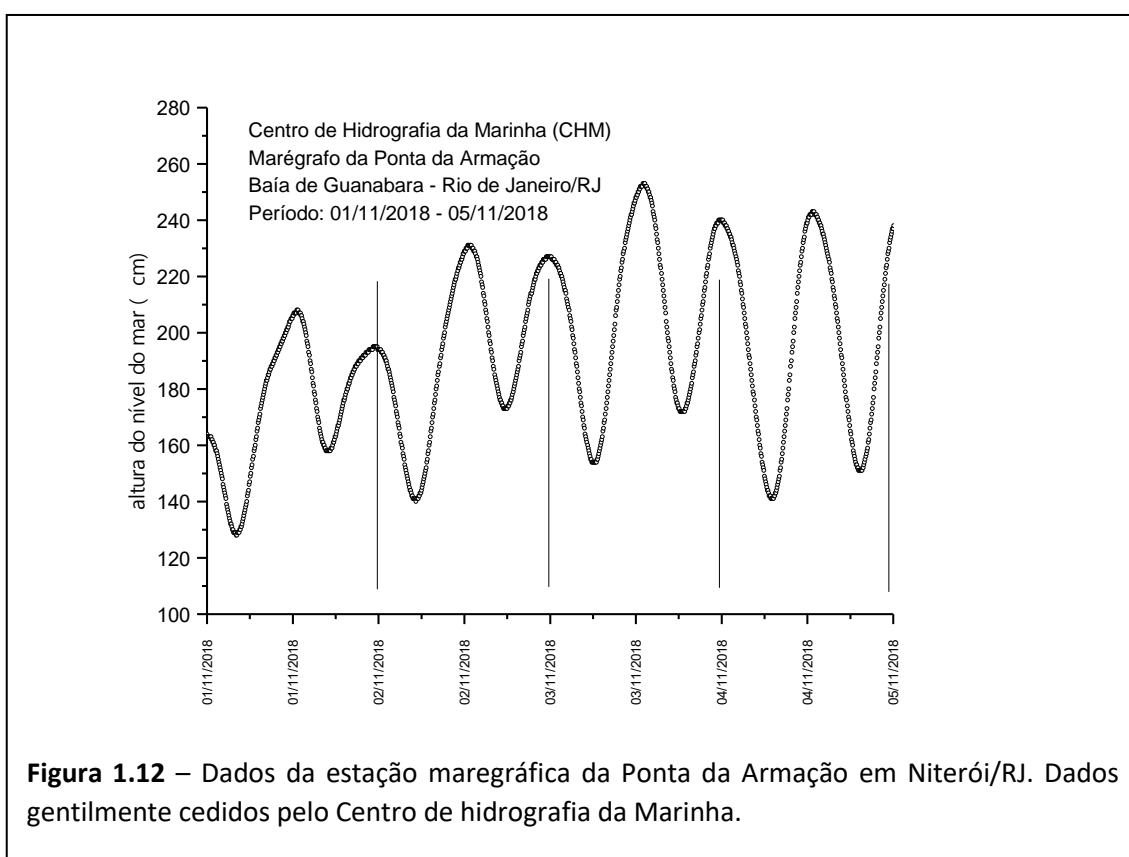


Analisando agora a situação na qual destacamos a posição 4 (Figura 1.11), a resultante das **forças de maré** da Lua e do Sol terá o módulo igual à soma dos módulos de F_{ML} e F_{MS} .

Nas posições 1 e 3 ocorrem os Solstícios, e nas datas em que a Terra passa por estas posições inicia-se o verão em um hemisfério e o inverno no outro. Nas posições 2 e 4 ocorrem os equinócios e nas datas correspondentes à estas posições, iniciam-se o outono e a primavera, cada um em um hemisfério terrestre. Podemos então concluir que nos equinócios as marés assumem as maiores amplitudes no ano e nos solstícios, as menores.

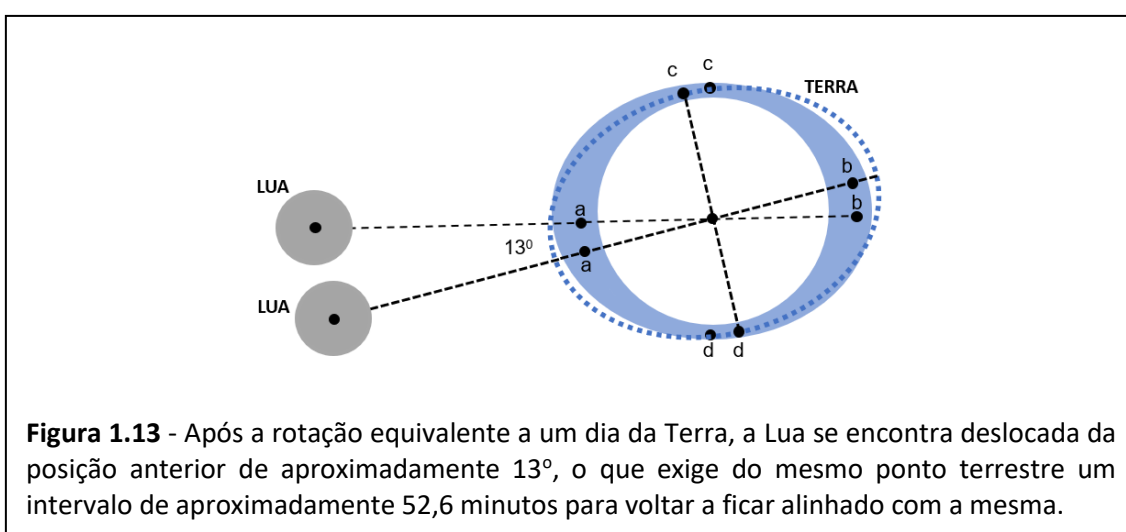
1.5 – A distribuição temporal da maré

Temos agora que observar a situação temporal das marés. Com o movimento de rotação da Terra, no prazo de um dia, uma dada localidade na superfície do planeta observará a elevação do nível do mar, e o abaixamento sucessivo, duas vezes ao dia. Se usamos uma régua vertical fixa no piso do mar e registramos em intervalos regulares o nível das águas encontrariamos, tipicamente, o que mostra a Figura 1.12. O gráfico mostra a variação da altura



do mar em relação a uma origem arbitrária, em que vemos dois máximos (preamar) e dois mínimos (baixamar) num período de 24 h. Os dados foram coletados em intervalos de cinco minutos. Vemos assim que o comportamento observado segue o que é esperado para a situação idealizada que descrevemos acima.

O intervalo de tempo observado entre dois máximos (ou dois mínimos) é ligeiramente maior do que 12 h. Isto está ligado ao fato de que o dia lunar, marcado pela passagem sucessiva da Lua pelo meridiano, é ligeiramente maior do que o dia solar médio. Isso se deve ao movimento orbital da Lua em torno da Terra: quando a Terra dá uma volta, a Lua já não está mais na mesma posição do céu. É sabido que a Lua completa uma volta ao redor da Terra (na verdade ao redor do centro de massa do sistema Terra-Lua como já foi dito anteriormente) em 27,4 dias. Isso quer dizer que, quando a Terra completa uma



rotação, a Lua já se deslocou $\frac{1}{27,4}$ de uma volta (aproximadamente 13°), e para o mesmo ponto terrestre voltar a ficar alinhado com a Lua, deveria percorrer uma volta e mais essa fração devida à movimentação da Lua. Ou seja, no nosso modelo, para sairmos do ponto **a** e voltarmos a ele, levaríamos o tempo de 1 dia + $\frac{1}{27,4}$ de um dia, o que dá aproximadamente 24 horas e 52,6 minutos. Então, para sairmos de **a** e chegarmos a **b** (de uma maré alta a outra consecutiva) levamos 12 horas e 26,3 minutos.

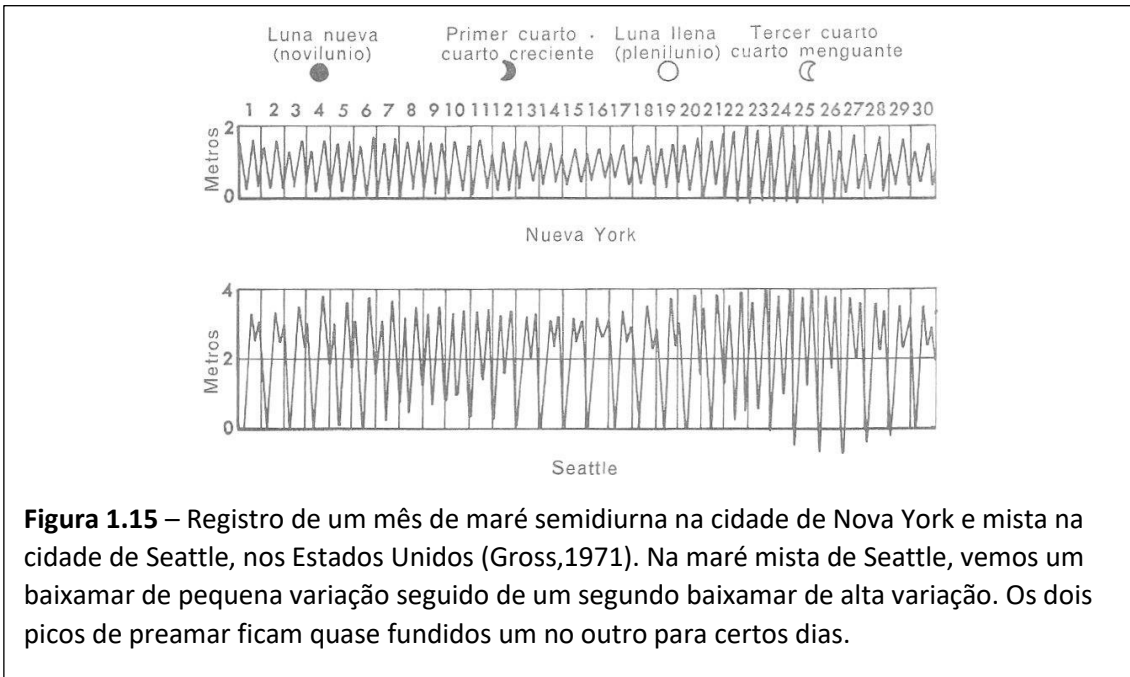
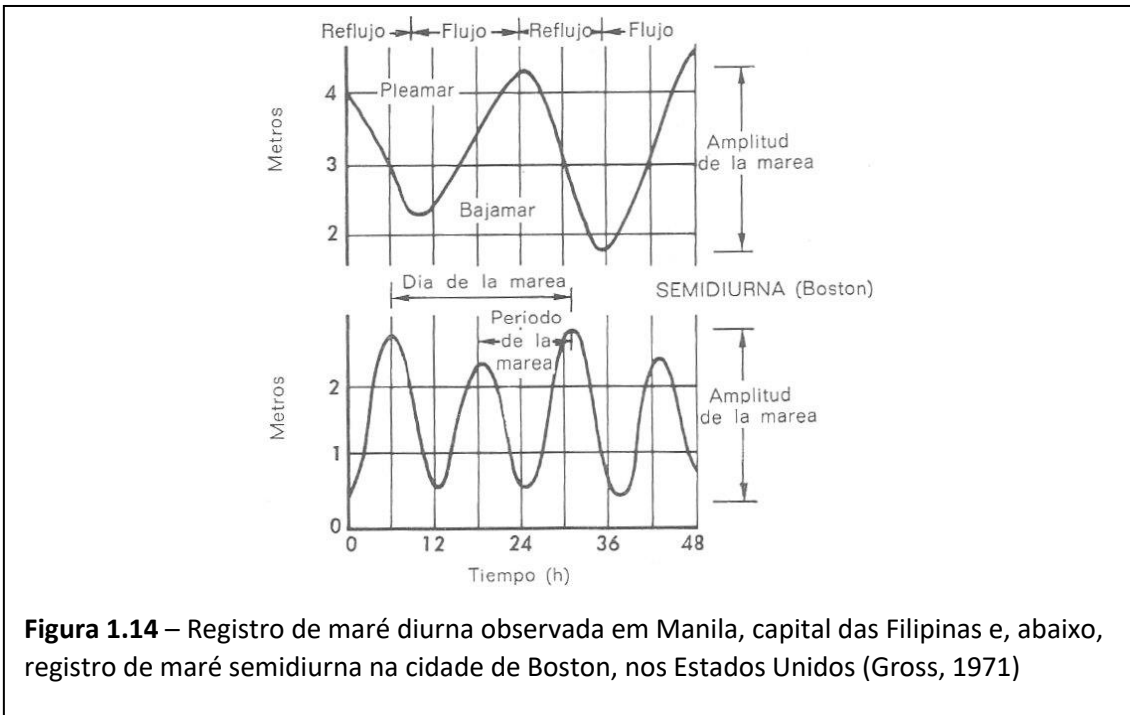
Esse modelo simples de maré astronômica, apresentado pela primeira vez por Isaac Newton no século XVII, explica satisfatoriamente os efeitos relativos do Sol e da Lua, como a formação de dois ciclos de maré no período de um dia, mas não consegue dar conta das alturas efetivamente atingidas pelo mar e a hora em que se dá a alta e a baixa em relação à passagem da Lua pelo meridiano local (Gross, 1971).

Se analisarmos o modelo de maré astronômica, a preamar numa dada localidade deve ocorrer bem próximo da passagem da Lua pelo meridiano local e pela passagem da Lua pelo meridiano oposto. Tomando por base um referencial fixo na Terra, isso significa que o lobo deve percorrer uma distância de uma semicircunferência terrestre em aproximadamente 12h para se sincronizar com o movimento da Lua. Se tomamos por base a linha do equador, isso significa desenvolver uma velocidade de 1600 km/h, aproximadamente. Para efeitos de comparação, a velocidade de som é de aproximadamente 1200 km/h. Por outro lado, podemos ver os dois lobos como imensas ondas transversais cuja velocidade de propagação depende da profundidade do oceano através de uma relação conhecida (Alonso & Finn, 1972, ver Volume II, pag. 260). Essa relação indica que a profundidade do oceano deveria ser minimamente de 20 km para que a “onda de maré” se ajustasse ao meio de propagação (a profundidade média dos oceanos não ultrapassa 4 km). Pensando em termos simples isso indica que deve se dar um descompasso entre a velocidade na crista da onda e as camadas de água próximas ao piso oceânico com a ocorrência de atrito.

A altura da maré alcançada em um determinado local é de previsão muito complexa, pois depende de inúmeros fatores. A profundidade local do mar, o relevo do piso, o traçado da costa em que se localiza o posto de observação de maré e até os ventos de larga escala exercem influência. No nosso caso, em que residimos na cidade do Rio de Janeiro, às margens da baía de Guanabara, esse problema se reveste de especial interesse. Na proposta sobre o ensino do fenômeno das marés que discutiremos adiante procuramos dar uma especial atenção sobre a altura das marés como medida em diferentes pontos da baía.

A observação espacialmente abrangente e ao longo de muitos anos que temos feito no nosso planeta nos permite separar basicamente três tipos de maré (Gross, 1971):

- maré diurna, manifesta um preamar e um baixamar ao longo de um dia. É o tipo mais simples sendo comum em partes do norte do golfo do México e do sudeste asiático.



- maré semidiurna, manifesta dois preamar e dois baixamar ao longo de um dia. É o tipo mais comum observado e mais bem descrito pelo modelo de maré de equilíbrio. Podemos ver um exemplo de registro dessas duas marés na Figura 1.14 (Gross, 1971). Uma em Manila, nas Filipinas e outra na cidade de Boston

na costa leste dos Estados Unidos. O registro apresentado na Figura 1.15 é um exemplo de maré semidiurna observada na Baía de Guanabara.

- maré mista, muito comum na costa do Pacífico nos Estados Unidos. A Figura 1.15 também ilustra o efeito de maré mista observada na cidade de Seattle, Estados Unidos (Gross, 1971)

1.6 – Correntes de maré

Em nossos trabalhos de coleta de dados no fundo da Baía de Guanabara ficamos muito impressionados com o fluxo e refluxo das marés. Um fato bem conhecido dos oceanógrafos é que as marés causam movimentos horizontais de água, as chamadas *correntes de maré*. Mesmo em alto mar, sem obstáculos, se verificam essas correntes que mudam constantemente de direção, fato pelo qual são conhecidas como *correntes giratórias*. Essas correntes repetem o ciclo uma vez por dia.

Na zona costeira, em estuários de rios, em portos, encontramos muitos obstáculos que impedem o deslocamento das águas ao contrário do que vemos em alto mar e que por sua vez impedem esse movimento giratório. Esses obstáculos induzem a formação das chamadas *correntes de maré alternantes*. As correntes fluem num sentido durante parte do ciclo de maré e invertem o sentido em outra parte do ciclo.

Quando numa entrada de baía, ou numa foz de um rio, a maré sobe, água flui entrando e preenchendo espaços. Essas correntes de maré são chamadas de *correntes de fluxo*. Quando a maré abaixa a água volta a correr para o mar e passam a ser chamadas de *correntes de refluxo*. Esse fluxo e refluxo é vital para a vida marinha nessas regiões e são separados por períodos de calmaria, sem correntes.

A formação dessas correntes é muito clara para quem observe o mar na Baía de Guanabara e, em algumas ocasiões, são extremamente intensas. Isso nos remete a um outro exemplo bem conhecido, o fenômeno da pororoca no rio Amazonas. Muitos vídeos no *YouTube* podem ser consultados para ilustrar esse interessante fenômeno, como por exemplo,

<https://www.youtube.com/watch?v=lrUpBss4XYk> (último acesso em 09/02/2019).

1.7 – Considerações

Neste capítulo, procuramos reunir alguns fatos sobre marés que possam constituir atividades investigativas no contexto de um projeto de ensino sobre este tema. Vamos discutir os objetivos e a estrutura que organizamos para este projeto no capítulo que se segue. Uma reflexão simples sobre o que encontramos no fenômeno das marés mostra que existe uma grande quantidade de problemas de Física Básica envolvidos, e tudo isso, num contexto natural muito estimulante para os jovens. A Mecânica em geral e a teoria da Gravitação de Newton em particular estão em foco, mas temos muito mais.

Para os leitores interessados em uma descrição mais detalhada sobre o fenômeno das marés, recomendamos o texto *Tidal Dynamics and Sea Level Variations* de Helge Drange, que pode ser obtido diretamente do endereço,

https://folk.uib.no/ngfhd/Teaching/Div/geof346_f2018.pdf

(último acesso em 20/03/2019).

CAPÍTULO 2 – Proposta de ensino sobre o fenômeno das marés: objetivo geral e infraestrutura

Neste capítulo vamos apresentar os objetivos de nossa proposta de ensino do fenômeno das marés e as facilidades que foram pensadas e construídas para a realização das atividades com os alunos. Nossa proposta consiste em uma sequência de atividades investigativas sobre as marés baseadas na observação, coleta e análise de dados. A planificação específica dessas atividades será objeto do capítulo seguinte.

Para desenvolver uma sequência didática sobre as marés, vamos coletar dados de duas estações maregráficas diferentes: uma delas, que foi construída por nós, está instalada no Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA), na Avenida Brasil, 9020, Olaria, Rio de Janeiro, RJ, 21030-001, (o CIAGA é o lugar onde funciona a Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante - EFOMM); e outra na Ponta da Armação, em Niterói, de posse do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) – o CHM tem uma rede de marégrafos em diversos locais que pode ser acessada na página do Centro, na seção *Dados de Maré*, em *Estações Maregráficas*, no link <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/dados-de-mare-mapa>. Na mesma página é possível acessar as *Tábuas de Maré*, que são previsões das marés em determinados locais. Elas são feitas para que responsáveis por embarcações possam se orientar na navegação. Importante saber que os dados das Tábuas de Marés não são registros de marégrafos, mas sim previsões feitas levando em conta as Marés Astronômicas, ou seja, as marés devidas às ações da Lua e do Sol. Outros fatores influenciam no valor da maré em cada local, o que pode dar diferença entre os dados das Tábuas e os dados medidos por marégrafos, mas que não chegam a comprometer a navegação. Observe na Figura 2.1 que a estação da Ponta da Armação fica mais próxima da saída da Baía, e a do CIAGA fica mais interna. Essa diferença geográfica pode ser responsável por uma defasagem nas marés dos dois pontos e vamos verificar isto experimentalmente com os dados dos marégrafos.

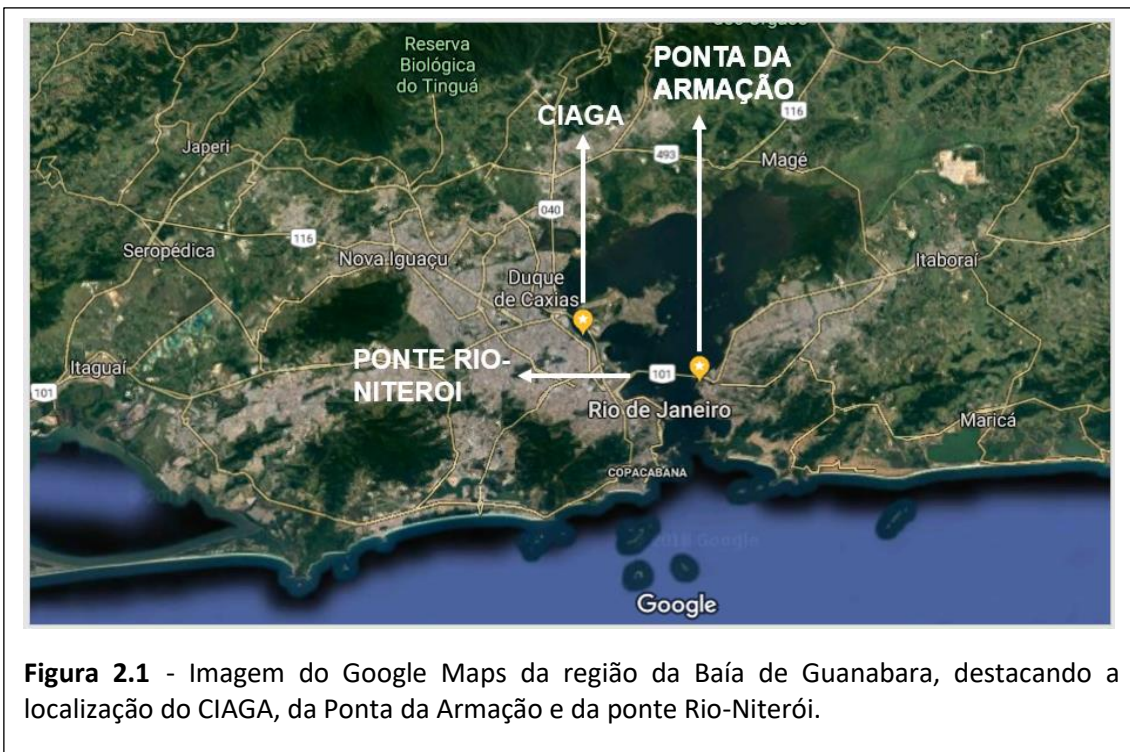
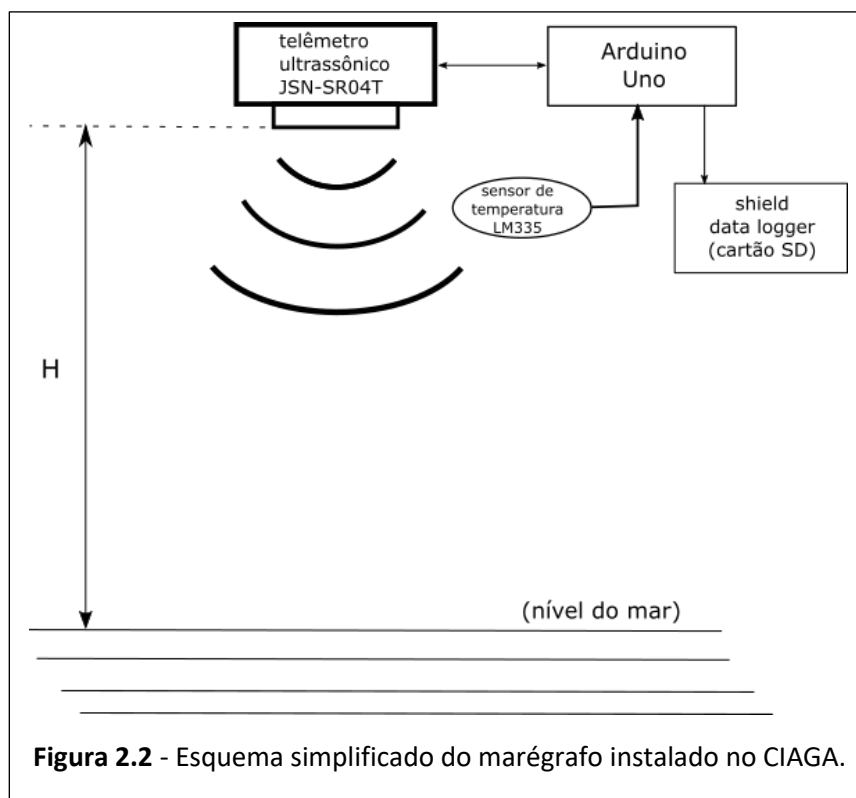


Figura 2.1 - Imagem do Google Maps da região da Baía de Guanabara, destacando a localização do CIAGA, da Ponta da Armação e da ponte Rio-Niterói.

2.1 - Estação Maregráfica do CIAGA

Como mencionado acima, a estação maregráfica instalada no CIAGA consiste em um projeto elaborado especificamente para este trabalho e funciona a partir de um sensor sônico acoplado a uma placa microprocessadora ARDUÍNO.

O sensor emite um pulso sonoro e recebe seu eco proveniente da superfície da água. Ao receber de volta o som, a placa mede o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção do pulso, e converte esta informação em uma distância (H) através da relação entre a velocidade do som no ambiente, o espaço de ida e volta e o tempo (uma descrição detalhada do processo pode ser encontrada no Apêndice I, como produto derivado deste trabalho). Os dados de altura em centímetros, a data e a hora (hora; minuto; segundos) são registrados em um cartão de memória, cujo arquivo é gerado em formato ASCII, e pode ser facilmente lido com o Bloco de Notas do Windows e similares.



Para ter acesso ao CIAGA com o intuito de instalar o marégrafo, contamos com a imensa ajuda do Ilustríssimo Senhor Comandante José Menezes Filho, que nos colocou em contato com o Ilustríssimo Senhor Comandante Rodrigo Reis Bittencourt, então Comandante do Corpo de Alunos (ComCA) da EFOMM.

Apenas por formalidade (não foi uma exigência do Comandante Rodrigo), a Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Marta Feijó Barroso, emitiu um ofício solicitando o meu acesso ao CIAGA. Após o primeiro contato com o Centro, fizemos a escolha do local de instalação e fomos orientados e ajudados em todas as etapas pelos, sempre muito solícitos, Suboficiais Paulo e Liberato, que ficaram responsáveis por liberar nosso acesso em todas as idas posteriores ao local, para fazermos as coletas de dados e os devidos cuidados de manutenção.

Vale deixar em registro que todo o processo foi muito tranquilo, desde o primeiro contato até a instalação da última versão do marégrafo, e nunca seremos suficientemente gratos ao pessoal do CIAGA, em particular os comandantes Paulo e Liberato, que nos deram todo apoio na condução dos

trabalhos. A ideia é que outros professores se encorajam a buscar novos locais e que construam seus próprios projetos, para que a experiência pedagógica seja mais rica de atividades experimentais e para que tenhamos mais pontos de observações das marés, permitindo, a partir de um esquema de comunicação entre as partes docentes envolvidas, a coleta de dados para comparação de diversas partes do nosso litoral. Talvez, no futuro, seja possível formar uma rede escolar de estações de observação de maré em nosso litoral.



Figura 2.3 - Primeira visita ao CIAGA. Da esquerda para direita: Rafael Guedes Soares – aluno do Mestrado e autor desta dissertação, Comandante José Menezes Filho – Capitão de Longo Curso e atual gerente executivo da TRANSPETRO, e o Comandante Rodrigo Reis Bittencourt – Capitão de Mar e Guerra e então Comandante do Corpo de Alunos da EFOMM.

É importante ressaltar que a construção do Marégrafo sônico expande a possibilidade de aprendizado e deve ser atentamente considerada: a de colocar os alunos em contato com uma linguagem de programação, com a eletrônica microprocessada e com a plataforma Arduino. A placa ARDUÍNO funciona controlando o sensor sônico e demais funções, mas precisa ser programada. Para tanto, faz uso de uma linguagem de programação simples de aprender e muito funcional. Embora o *sketch* (jargão dos usuários da plataforma Arduino para o programa) já esteja descrito em anexo, a familiarização com a placa e com os componentes do projeto, pode despertar o interesse para a construção

de outras ferramentas, que possibilitariam o estudo de diversos experimentos de física.



Figura 2.4 - Marégrafo instalado no CIAGA.

2.2 - Estação Maregráfica da Ponta da Armação (Niterói/RJ)

Para comparar as marés do CIAGA com a de outro local da própria Baía de Guanabara, solicitamos os dados do marégrafo da Ponta da Armação entrando em contato com o CHM (Centro de Hidrografia da Marinha) através do correio eletrônico chm.bndo@marinha.mil.br. Obtivemos uma resposta rápida, em que os responsáveis pelo serviço foram extremamente atenciosos. O arquivo de dados enviado é um documento de texto do tipo .txt, que contém três colunas: a primeira com a data do registro, a segunda com a hora (as medidas são registradas de cinco em cinco minutos) e a terceira com as alturas das marés em centímetros.

Em uma visita às instalações do complexo naval da Ponta da Armação, onde fica a DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil), na rua Barão de Jaceguai, S/N, Ponta da Armação, Niterói, pudemos fazer um registro fotográfico do marégrafo do qual obtivemos os valores de marés aqui utilizados. A visita foi conseguida através de contato com o Ilustre Senhor Comandante Cesar Henrique de Oliveira Borba, Capitão de Corveta, que se mostrou muito solícito. Além de nos receber de forma muito hospitaleira nos acompanhou na visita às instalações do marégrafo, nos fornecendo completa orientação sobre o funcionamento do aparelho e sobre alguns dados importantes nos registros hidrográficos, como Nível de Redução (NR) e Referência de Nível (RN) os quais explicaremos mais adiante.



Figura 2.5 - Complexo Naval da Ponta da Armação, com destaque para a posição do marégrafo em vermelho. Imagem do Google Maps.

O funcionamento do marégrafo utilizado pela Marinha – Sensor de Radar Kalesto - é parecido com o confeccionado por nós e instalado no CIAGA. Mas a diferença é que o nosso sensor funciona a partir da emissão e recepção de ondas sonoras, já o sensor usado pela Marinha emite e recebe ondas eletromagnéticas. O fato de usar ondas eletromagnéticas faz com que a telemetria não seja afetada pelas condições atmosféricas. O nosso projeto instalado no CIAGA, por sua vez, faz uso de um sensor ultrassônico cuja telemetria depende da velocidade de propagação de ondas sonoras, que depende da temperatura do ar. No nosso projeto temos que medir a temperatura ambiente para atualizar a velocidade de propagação das ondas sonoras. Um manual de instruções do Sensor Kalesto pode ser encontrado nos seguintes *links*:

link 1 - <https://fccid.io/OA6KALESTO/User-Manual/Users-Manual-FCC-radar-sensor-leaflet-129251>.

link 2 - <https://www.manualslib.com/manual/1359523/Ott-Kalesto.html#manual>

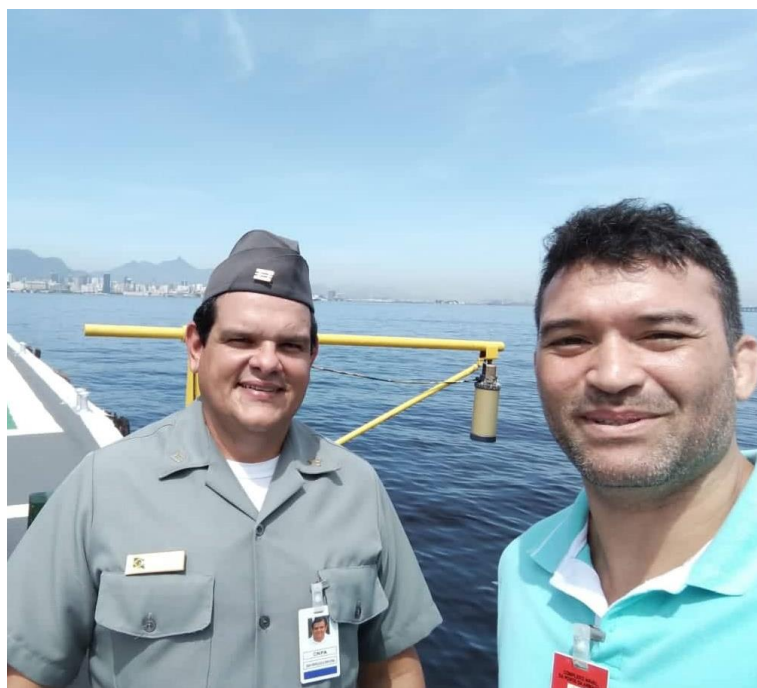


Figura 2.6 – Visita ao DHN na Ponta da Armação. À esquerda o Comandante Borba e ao fundo vemos o marégrafo suspenso.

A figura 2.7 mostra o sensor utilizado no marégrafo da Ponta da Armação e a régua utilizada para obter uma referência quando é feita a verificação do funcionamento do marégrafo. De acordo com o Comte Borba, toda vez que se inicia o dia, o marégrafo é conferido e se observa o valor da altura medida no aparelho. Após feito isso, o responsável pela aferição confere o valor medido pela régua e compara com o do marégrafo para ver se estão de acordo. Este procedimento é feito para evitar que o aparelho funcione sob circunstâncias defeituosas.

Uma descrição do marégrafo da Ponta da Armação, bem como um diagrama com algumas medidas relevantes para a compreensão da maré podem ser encontrados através de uma busca no *Google*, ou acessando o *link* [https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/50141 - ponta da armacao f-41 padrao v1-10.doc_0.pdf](https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/50141_-_ponta_da_armacao_f-41_padrao_v1-10.doc_0.pdf).

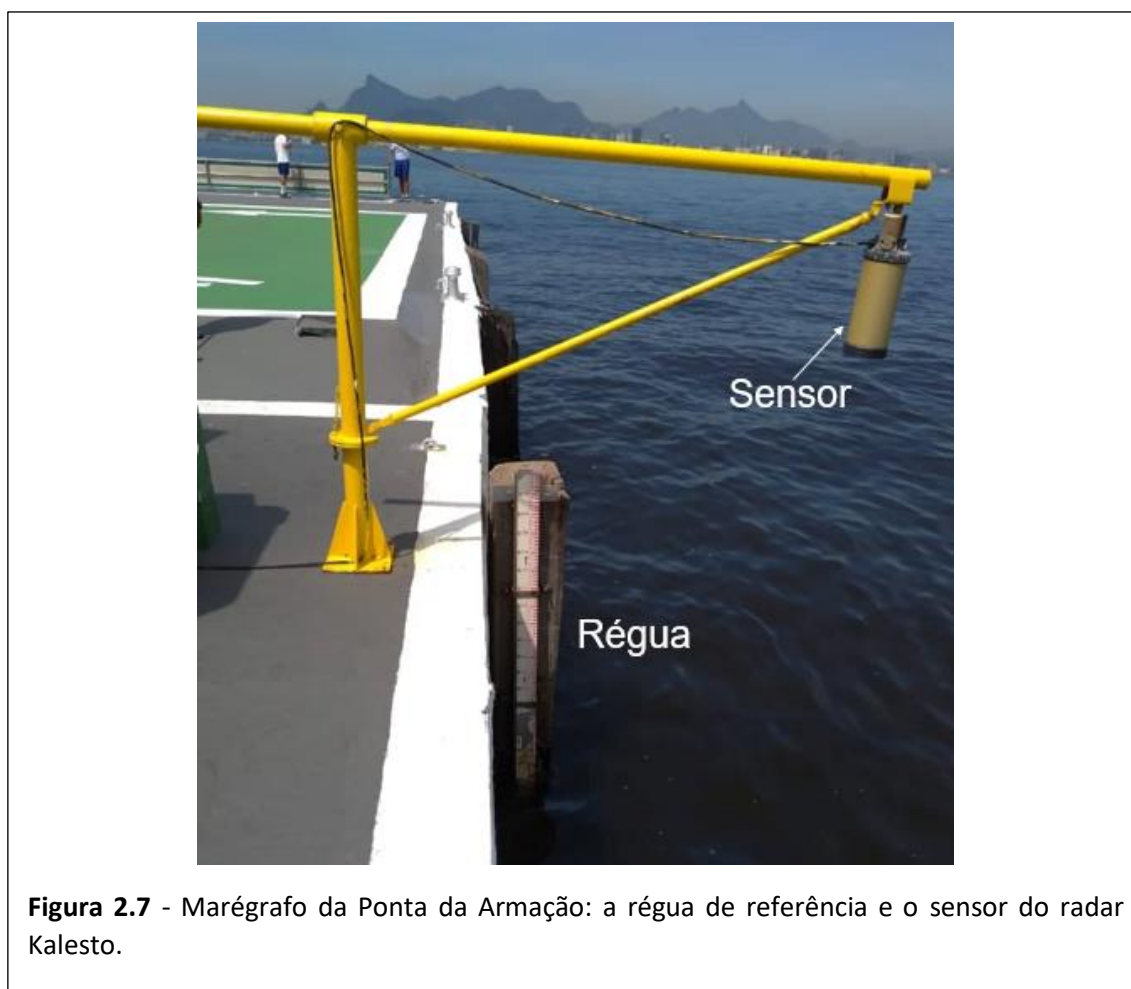


Figura 2.7 - Marégrafo da Ponta da Armação: a régua de referência e o sensor do radar Kalesto.

A figura 2.8 mostra uma versão resumida do diagrama da estação, para discutirmos alguns pontos importantes.

No nosso diagrama resumido não representamos o marégrafo nem a superfície da água, para termos claros os níveis que queremos discutir. O primeiro deles é o zero da régua, que, como podemos observar na figura, não está tocando o chão da Baía. Na explicação que obtive do Comte Borba, ele me esclareceu que não há um rigor para a escolha da posição deste zero, porém, existem pontos fixos em terra, próximos à régua (o mais próximo, neste caso, se encontra no degrau superior de uma escada que se encontra ao lado do marégrafo) os quais são usados como referências para a régua. Estes pontos (que são marcados com um pino de metal preso ao chão) são chamados de Referência de Nível (RN) e são de extrema importância para o caso de uma possível troca da régua, por qualquer que seja o motivo. Na figura acima está representado apenas um ponto de RN, mas no diagrama oficial da estação estão representados oito RN e na descrição da estação são mencionados dez. Ou seja, caso ocorra algum acidente e um destes pontos não possa mais ser observado, existem outros para que se faça a medição do nível. Pelo que vemos no diagrama, o RN1 (como é descrita a primeira Referência de Nível) está a 356,5 cm do zero da régua. Caso a régua seja trocada e essa distância mude para 360,0 cm (distância hipotética) por exemplo, basta calibrar as outras distâncias do diagrama com a diferença de 3,5 cm.

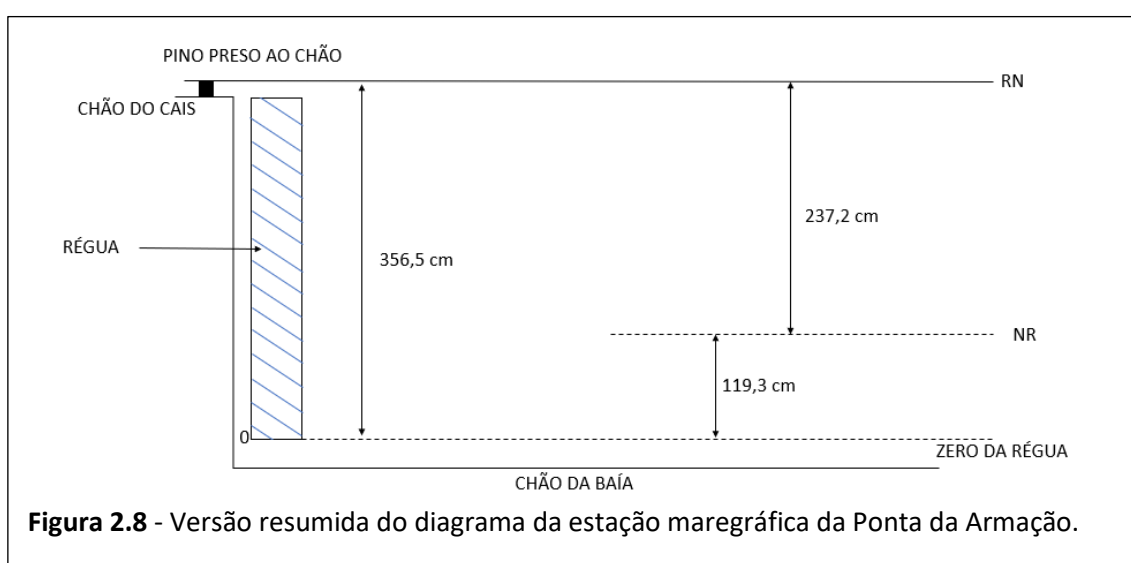
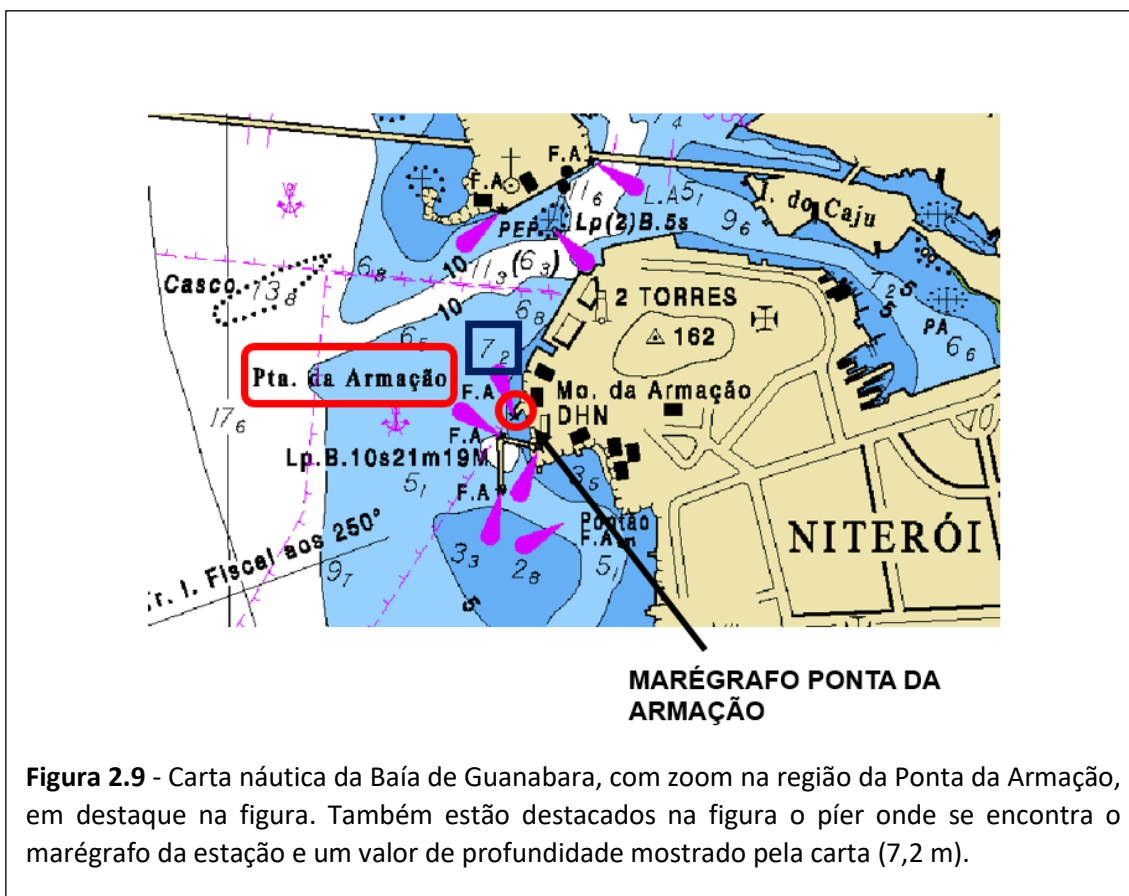


Figura 2.8 - Versão resumida do diagrama da estação maregráfica da Ponta da Armação.

A outra linha de referência mostrada na figura é a do Nível de Redução (NR), que é o “nível que corresponde à média das baixa-mares de sizígia” (Site do CHM – levantamentos hidrográficos - sondagem batimétrica. <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-lev-hidro/sondagem-batimetrica>). Lembrando que as marés e sizígia acontecem quando a Lua se encontra nas fases cheia e nova, onde ocorrem as maiores amplitudes das marés (menor maré baixa e maior maré alta). Para fins práticos, a ideia do Nível de Redução é informar para os navegantes qual é o menor valor de maré que determinado local pode chegar. Nas cartas náuticas, as profundidades de cada região do mar estão representadas e, de acordo com o Dicionário Hidrográfico da Organização Internacional de Hidrografia (IHO – em inglês) (https://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-32/S-32-eng.pdf), a profundidade é a “distância vertical de um determinado nível até o fundo”. No caso das profundidades anotadas nas cartas, o nível em questão é o Nível de Redução.



Na figura 2.9, está uma parte da carta náutica da Baía de Guanabara na região da Ponta da Armação, que está destacada na figura, assim como a (mais aproximada possível) posição de seu marégrafo.

Observe na figura que, em quase toda parte da água, há valores que estão representando as profundidades locais. Esses valores são da distância vertical entre o fundo do mar e o Nível de Redução do local. Importante ressaltar que os Níveis de Redução são específicos de cada lugar, então em regiões diferentes da Baía podem haver Níveis diferentes, dependendo de qual marégrafo foi usado para registrá-lo. Destacamos com um retângulo azul o valor da carta que aparece mais próximo da região do marégrafo da Ponta da Armação (7,2 m) – cabe uma atenção neste caso, porque o valor que aparece na carta, não representa a vírgula, mas os algarismos que estariam à esquerda da vírgula estão maiores do que os valores que estariam à direita dela.

O que este valor quer dizer é que do chão da Baía naquela região até o Nível de Redução do marégrafo da Ponta da Armação, existe uma distância vertical de 7,2 m. Lembrando que, pelo diagrama da estação maregráfica em questão, que se encontra na Figura 2.8, podemos ver que o Nível de Redução é de 119,3 cm. Só por curiosidade, podemos então calcular a distância entre o nível do Zero da Régua da estação ao chão da Baía naquela região fazendo a subtração entre profundidade da carta náutica e o Nível de Redução, que daria 600,7 cm (aproximadamente 6 metros).

A construção do nosso marégrafo, as coletas dos dados e a sua análise, podem ser uma poderosa ferramenta pedagógica, bem como a busca e a análise dos dados de marégrafos do CHM (Centro de Hidrografia do Brasil). Cabe a nós organizarmos uma sequência didática que explore essa ferramenta da melhor forma possível, para uma abordagem do fenômeno das marés e da física envolvida no fenômeno. Então, no próximo capítulo, vamos propor uma sequência para que sejam bem explorados os processos experimentais e as observações dos dados de marés.

CAPÍTULO 3 – A Sequência Didática e Análise de Dados

A nossa proposta de aplicação da sequência didática é direcionada inicialmente para turmas do terceiro ano do ensino médio, onde pretendemos trabalhar princípios do *Ensino por Investigação* que, de acordo com (SASSERON, 2015), “(...) ocorre quando informações, posicionamento e interpretações conflitantes estão em cena”. Com esta expectativa, vamos promover a inserção de problemas ao longo da sequência que possam desencadear estas interpretações conflitantes, gerando um desequilíbrio cognitivo nos alunos e alunas. Este desequilíbrio acontece quando percebemos que os esquemas de assimilação que possuímos não são suficientes para explicar, por exemplo, um fenômeno observado. Então, “um novo esquema, melhor e mais elaborado, resultado de análises conscientes e significativas, irá modificar os conhecimentos anteriores do sujeito, tornando-os melhores” (LOURENÇO E PALMA, 2005). Este processo foi definido como acomodação por Piaget, e como consequência dele, nossa estrutura reorganizada evolui, podendo assimilar novos conhecimentos mais complexos (FREZZA E MARQUES, 2009).

Vamos dividir a sequência em etapas para uma organização que busque facilitar a compreensão e a aplicabilidade do processo.

3.1 - Primeira Etapa

Para introduzir o assunto convém uma conversa (não muito formal) para que a turma dê suas impressões e exponha o que conhecem sobre as marés. Essa atividade pode começar com uma pergunta sobre a percepção de alunos e alunas em relação ao alcance das ondas na areia da praia, conforme o dia vai passando (é possível notar que a margem da água do mar vai mudando de posição na faixa de areia, conforme as horas passam). Importante ressaltar que esta introdução ao assunto deve ser feita de acordo com as especificidades do local onde será aplicada a aula. Não faria sentido, por exemplo, propor um debate sobre o que ocorre na praia em uma escola a qual alunos e alunas não tenham acesso à praia. Também é possível fazer a abordagem a partir de rios, mas precisamos tomar um cuidado neste caso, porque somente rios que tenham contato com o mar aberto sofrem com o efeito de maré. Em pequenas porções

de água, como lagos e lagoas, o fenômeno não é observado, pois a variação da força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol não é suficiente para provocar um deslocamento sensível das águas. Este é o caso dos mares internos, como, por exemplo, o mar Negro e o mar Cáspio. As lagoas, que são porções de água que têm contato com o mar, são passíveis do efeito de maré.

Após esta introdução, a ideia é tentar causar um certo impacto mostrando situações em que as marés transformem completamente o cenário de um local. Uma busca simples no Google mostra algumas imagens muito interessante em que vemos um grande contraste entre a maré baixa e a maré alta.

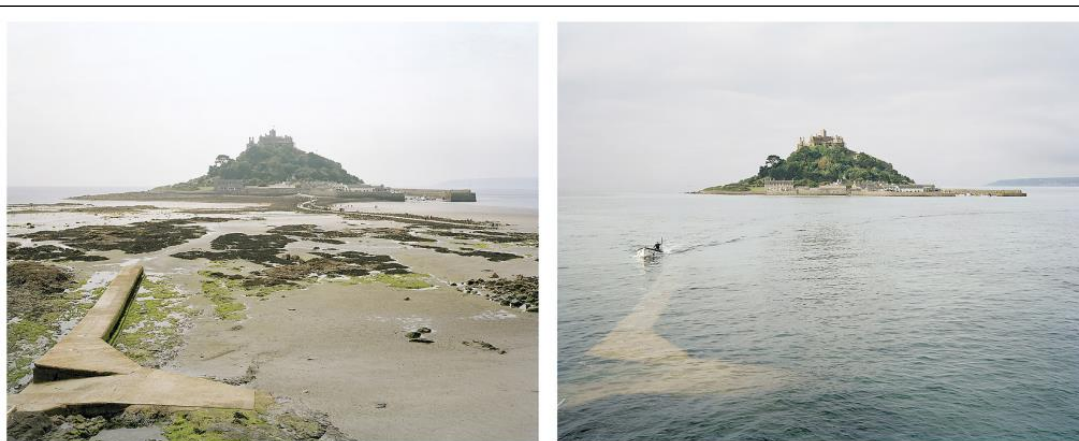


Figura 3.1 - Maré baixa e maré alta no Monte St. Michael na costa atlântica da França. Imagem disponível em: <https://caianomundo.ci.com.br/lugares-para-visitar-antes-e-depois-de-ficarem-submersos>

Na Figura 3.1 mostramos um caso bem impressionante da mudança das marés reconfigurando completamente o aspecto do local. Um outro exemplo bem ilustrativo está na Figura 3.2, que retrata os momentos de maré alta e baixa na Praia do Norte, Viana do Castelo, em Portugal.

Nessa primeira etapa, é bem possível que alguns alunos tenham um conhecimento muito vago sobre o fenômeno das marés, mesmo morando em regiões costeiras. Essas situações extremas vistas nas Figuras 3.1 e 3.2 podem ser comparadas com a situação local solicitando que os alunos observem o mar na sua região e façam registros fotográficos. Uma atividade de observação pode

ser recomendada nesta primeira etapa e o professor deve julgar a sua relevância para a sua turma. Na Figura 3.3 vemos, por exemplo, o cenário flagrado no nosso observatório no CIAGA (Baía da Guanabara). Com isso, esperamos ter despertado a curiosidade para que a turma se interesse em descobrir como e por que este fenômeno acontece.



Figura 3.2 - Maré baixa e maré alta na Praia do Norte, Viana do Castelo, em Portugal. Imagem disponível em: <https://olharvianadocastelo.blogspot.com.br/2017/11/praias-norte-o-sobe-e-desce-das-mares.html>

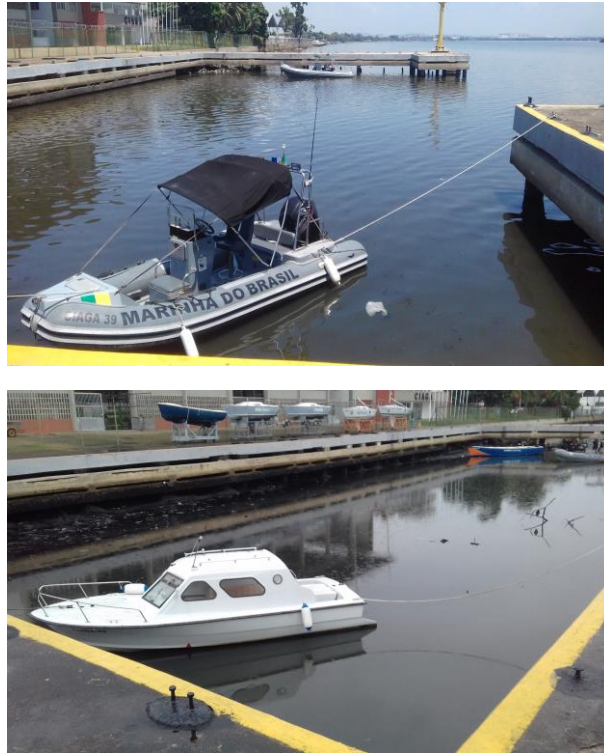


Figura 3.3 – Situação do mar na estação maregráfica do CIAGA. A foto de cima não corresponde à preamar do dia.

3.2 - Segunda etapa

O próximo passo é dar uma noção inicial de que existe uma relação entre as marés e o desenrolar das horas. A proposta é usar um vídeo acelerado que mostre com clareza a mudança das marés ao longo do dia. No YouTube, no link <https://www.youtube.com/watch?v=TqM697dYaB8>, é possível encontrar um vídeo acelerado de um intervalo de aproximadamente 12 horas das marés que ocorrem na comunidade de Halls Harbour na Baía de Fundy, que fica entre as províncias canadenses de New Brunswick e Nova Escócia. O local é conhecido por ter as maiores marés do mundo, registrando amplitudes de até 17 metros. O título do vídeo encontrado no link é “Veja em 30 segundos o ciclo da maré a Baía de Fundy”.

Este vídeo pode ser usado como mais uma ferramenta de motivação, por ser bem clara a modificação do ambiente pela maré, e pode servir perfeitamente para que se inicie uma discussão sobre a mudança das marés com o passar das horas. Nesta etapa, é interessante verificar a viabilidade de se solicitar aos

alunos que produzam uma sequência de fotos similar no seu ambiente costeiro. Essas fotos podem ser montadas em formato GIF.



Uma possível indagação seria: **“você conseguem estimar quanto tempo se passou no período representado no vídeo”**? Talvez sigam um caminho até chegar à variação da claridade do local e ao posicionamento das sombras como bons indicadores para as conclusões. Aqui é esperado que estimem entre 06:00 h e 18:00 h. É importante deixar claro que queremos uma estimativa, e não um dado preciso. Passada essa discussão, podemos dar início ao debate sobre o que foi observado em relação à variação da maré. Neste caso, trabalhamos com uma pergunta aberta como, **“o que a turma pôde observar sobre a mudança de nível da água durante o vídeo?”**, e a partir daí chegar à conclusão, através do debate, de que são observadas duas marés baixas e uma alta e que o vídeo começa com a maré baixa e termina também com a maré baixa, o que vai permitir relacionar o intervalo de tempo que foi debatido na primeira pergunta com o intervalo entre duas marés baixas consecutivas.

Então, até aqui já podemos fazer com que a turma conclua, pelo menos, que há duas marés baixas e uma alta em um intervalo de tempo menor do que um dia, e a partir de agora podemos abrir o espaço para discutir quais são as possíveis causas das marés. E com a futura constatação da formação de duas altas e duas baixas de maré ao longo de um dia, vamos ver, na sequência, o surgimento natural de uma contradição, de um desequilíbrio cognitivo estimulante.

Um ponto a se considerar na programação geral das atividades é o da possibilidade, como sugerimos acima, da inclusão de uma tarefa em que a turma seja instruída a fazer uma sequência de imagens do movimento diurno da maré. Um tal registro fotográfico tem associado os instantes de tempo de cada foto e conseqüentemente todas as informações sobre o movimento de maré ficam bem documentadas. A técnica que poderia ser utilizada é conhecida como *time lapse* onde várias fotografias são tiradas sequencialmente em intervalos fixos de tempo e cobrindo toda a extensão de um fenômeno. Em seguida as fotografias são montadas compondo um vídeo, ou um GIF, com um intervalo de tempo menor. Existem vários aplicativos para smartphone dedicados a essa técnica que podem ser usados. A observação das duas altas e duas baixas no intervalo de um dia fica bem simples de ser concluída. A fase de observação do fenômeno ficaria melhor estabelecida, ou seja, o resultado seria melhor do que assistir o vídeo sugerido acima. Entretanto, bem sabemos das dificuldades logísticas e operacionais de uma tal atividade para uma turma de jovens adolescentes e, portanto, a programação tem que ser bem avaliada.

3.3 - Terceira etapa

Seguindo na sequência, vamos agora propor outro vídeo para que se abra a discussão entorno das causas das marés. Neste caso será um vídeo de ficção que retrata uma consequência cientificamente embasada, embora ocorra a partir de um acontecimento absurdo do ponto de vista natural. Se trata de uma cena do filme “Todo Poderoso”, estrelado por Jennifer Aniston, Morgan Freeman e Jim Carrey. A cena que vamos usar mostra a personagem de Jim Carrey, que é dotado de poderes divinos, puxando a Lua para aproximá-la da Terra e

impressionar sua companheira interpretada por Jennifer. Depois de uma noite romântica, pela manhã, noticiários relatam catástrofes marinhas decorrentes de uma “onda de maré atípica” provocada por uma “atividade lunar incomum”, como é descrito no filme. Naturalmente, houve um aumento das marés devido à maior proximidade da Lua.

No quadro 1 foi o instante o qual escolhemos para fazer o recorte do vídeo; o quadro 2 é o momento em que a lua é lançada; no 3, ela está sendo aproximada; e no 4, aparece a reportagem na TV sobre as catástrofes marinhas.

Depois de mostrar o vídeo, temos uma indagação a ser feita: **o que foi destacada na cena como causa do aumento das marés?** A questão é de fácil conclusão, porque a própria cena relaciona “atividade lunar incomum” com a causa da “onda atípica de maré”. A partir desta relação, vamos dar o encaminhamento para apresentar algumas ideias ao longo da história sobre a relação entre a Lua e as marés, até chegarmos ao modelo de Newton. Podemos apresentar de forma expositiva os principais nomes mencionados no capítulo I deste trabalho e a ideia central do que foi dito por cada um deles, até que cheguemos à explicação de Newton para as marés. Nesta oportunidade,

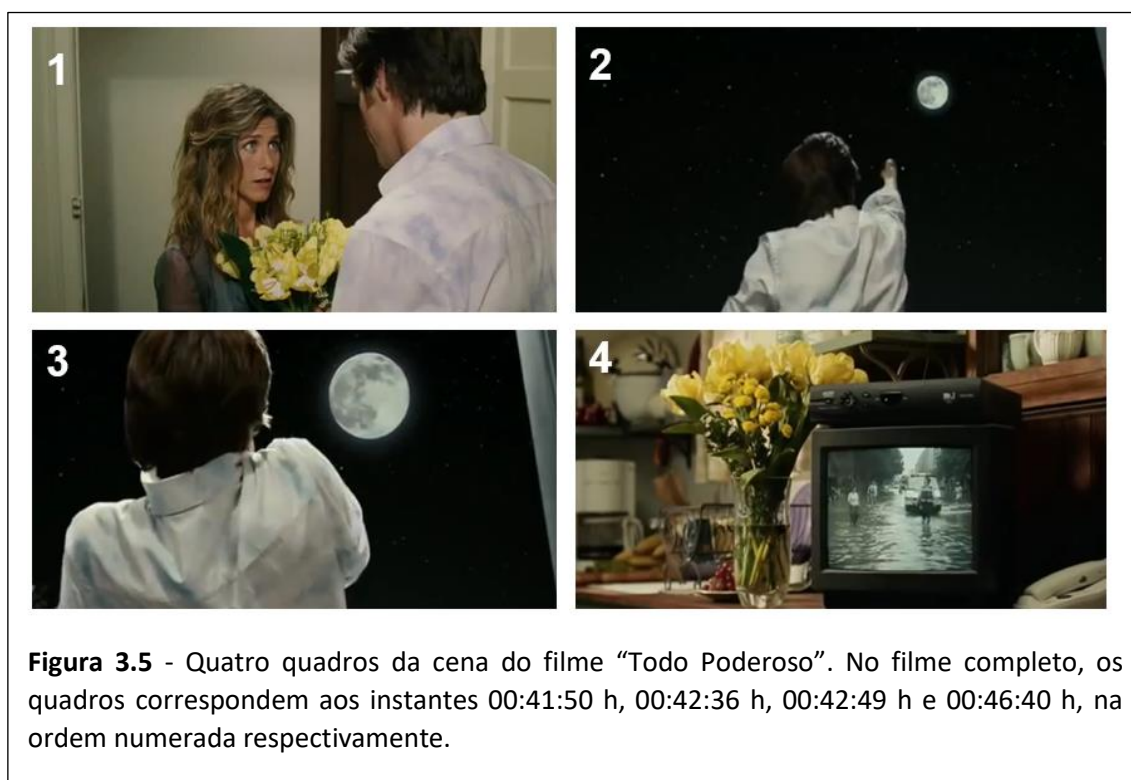
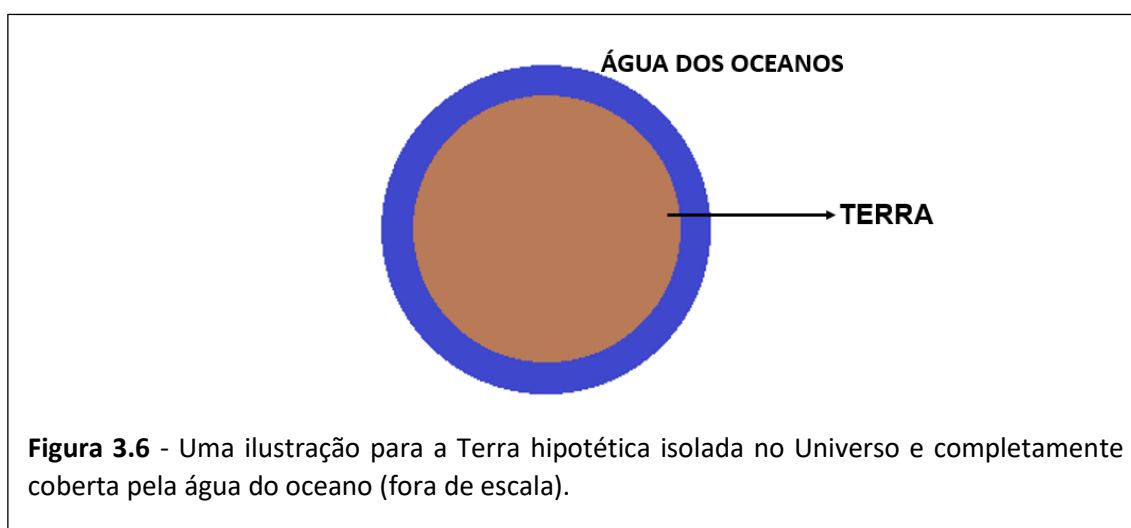


Figura 3.5 - Quatro quadros da cena do filme “Todo Poderoso”. No filme completo, os quadros correspondem aos instantes 00:41:50 h, 00:42:36 h, 00:42:49 h e 00:46:40 h, na ordem numerada respectivamente.

podemos relembrar o conceito de Força Gravitacional e sua expressão. Lembre-se que a proposta de aplicação é para turmas do terceiro ano do Ensino Médio, então alunos e alunas já teriam visto as Leis de Newton e a Lei da Gravitação Universal.

Com uma ideia das causas das marés construída, mesmo que ainda de forma embrionária, já podemos começar a explorar a elaboração de esquemas sobre como elas ocorrem. A ideia é permitir que os alunos reflitam sobre a forma que os oceanos assumem ao sofrer a ação gravitacional da Lua ou do Sol, a partir do que foi discutido até aqui. Para isso, será proposto um problema no qual a ideia é que desenhem o que acreditam que vai acontecer quando colocarmos um outro astro, que seria a Lua ou o Sol, na presença da Terra, com uma camada de água representando os oceanos. A Figura 3.6 ilustra o que seria a Terra com esta camada de água, e a posição onde poderia ser colocado o outro astro. É importante deixar claro que é uma situação hipotética em que a Terra estaria isolada no universo e estamos colocando o outro astro que será responsável pela maré.

A partir de então, será pedido que a turma reproduza em uma folha este desenho e acrescente um outro astro que será o causador das marés. Com isso, pediremos para representarem como ficará a água sob o efeito das marés e que expliquem seu raciocínio na própria folha. Depois desta parte, recolheremos os desenhos e vamos à proposta para a atividade da próxima etapa.



Podemos resumir as principais conclusões obtidas ao fim das três primeiras etapas como,

- um movimento de sobe e desce do nível do mar ocorre todos os dias. Esse movimento periódico de sobe e desce das águas é conhecido como maré e é visível em todas as partes do mundo. No máximo e no mínimo, que se alternam ao longo do dia, vemos uma forte mudança da paisagem costeira;

- há indícios de que o efeito tem origem na interação gravitacional com a Lua e possivelmente com o Sol. Uma reflexão sobre como ocorreria a ação gravitacional da lua sobre o oceano sugere a elevação das águas na região frontal à Lua;

- será muito interessante para entender melhor o que está acontecendo, ter um registro contínuo, ao longo de um dia, de como se dá o movimento de sobe e desce ao longo das horas.

3.4 - Quarta etapa

Vamos trabalhar com os dados das marés de um dia e propor a construção de um gráfico, para que a turma possa observar como elas variam nesse intervalo de tempo. Esses dados são obtidos com auxílio dos marégrafos em estações especificamente construídas para a observação das marés. Em nosso país, essa atividade observacional é coordenada e executada pela Marinha através de inúmeras estações distribuídas ao longo do litoral brasileiro. O setor responsável é o Centro de Hidrografia da Marinha, que possui uma página na web,

<https://www.marinha.mil.br/chm/>

prestando uma série de serviços ao público em geral, entre eles a de previsão de marés para orientação geral de navegação em nosso país.

Nesta etapa seria muito interessante uma visita da turma a uma estação maregráfica do CHM. Em conversa com o comandante Borba (ver capítulo 2) do CHM vimos que é perfeitamente possível agendar uma visita dos alunos. Nesta visita, eles conheceriam de perto o marégrafo e seu princípio de funcionamento.

Entretanto, sabemos dos diferentes problemas práticos que estão implicados nessas locomoções e devemos considerar essa atividade apenas como uma sugestão. Ela pode ser substituída por uma apresentação simples e previamente preparada pelo professor sobre o CHM e as estações maregráficas.

Em sequência, usaremos os dados do marégrafo da Ponta da Armação, fornecidos pelo CHM (Centro de Hidrografia da Marinha). Detalhe importante é que, embora usemos somente os dados referentes a um dia nesta primeira aplicação, nós podemos solicitá-los para um período maior (como em um mês, por exemplo) porque ao longo das aulas nós os usaremos para análise de outros períodos.

Vamos precisar organizar como a turma vai obter estes dados e uma sugestão é que se organizem de tal forma que tenhamos doze grupos no total. O objetivo desta divisão é sugerir que cada grupo solicite os dados de diferentes meses em sequência, para que tenhamos disponíveis um ano de dados para atividades futuras.

A análise dos dados deve ser fundamentalmente gráfica. Esta é uma grande oportunidade para exercitar a construção e manipulação de gráficos, exemplificando mais uma vez a importância dos gráficos na análise experimental. Como veremos, a quantidade de dados é tipicamente grande e é, portanto, infactível para um tratamento manual. No arquivo de um mês de dados de marés, nós temos aproximadamente 6400 medidas, ou seja, não é algo fácil de reproduzir manualmente em uma tabela. Mesmo para um só dia, são aproximadamente 300 medidas. Para tornarmos a manipulação desses valores mais viável, vamos propor o uso do programa Excel da Microsoft. Outros programas equivalentes podem ser encontrados para outros sistemas operacionais e essas escolhas devem ser cuidadosamente planejadas pelo professor. Uma das questões é que, como os alunos farão uso intensivo e passaram por um treinamento, podem adquirir qualificações muito importantes na área do trabalho.

Na Figura 3.7 mostramos o arquivo de texto que recebemos do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) com os valores das alturas das marés. No início do arquivo temos uma espécie de cabeçalho com o código da estação, o nome

do local onde está a estação, as coordenadas (longitude e latitude) do local, o período de registros das marés, o tipo de equipamento usado (que foi descrito no capítulo 2), a descrição da unidade em que a altura está registrada e o fuso horário em relação ao qual as horas estão registradas (a palavra papa ao lado da palavra horário representa a letra P de acordo com o Alfabeto Fonético Universal para soletração em comunicação radiofônica. Neste alfabeto, cada letra é representada por uma palavra, e uma tabela com todas as letras e cada palavra correspondente pode ser encontrada no link

<https://www.controlservice.com.br/uploads/downloads/alfabeto-fonético-universal100908lob.pdf>.

A região sudeste adota o Fuso Horário P (UTC-3), que é o horário de Brasília.

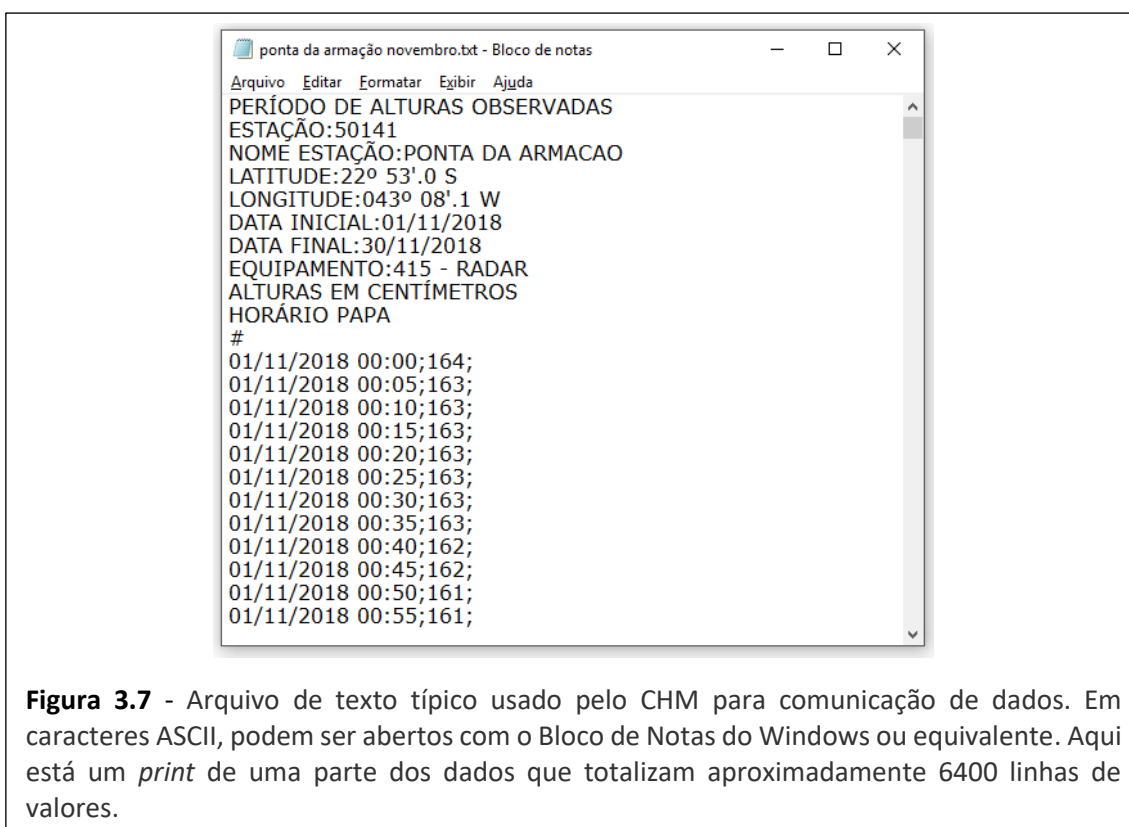


Figura 3.7 - Arquivo de texto típico usado pelo CHM para comunicação de dados. Em caracteres ASCII, podem ser abertos com o Bloco de Notas do Windows ou equivalente. Aqui está um *print* de uma parte dos dados que totalizam aproximadamente 6400 linhas de valores.

Os dados no arquivo do CHM que precisamos para montar a tabela Excel estão logo abaixo do símbolo “jogo da velha” e o primeiro valor vem na linha **01/11/2018 00:00;164** (ver figura 3.7). Aqui lemos que o dado foi registrado no dia primeiro de novembro de 2018, à zero hora, zero minuto, e a altura registrada foi de 164 centímetros. Para exportarmos estes valores para o arquivo de Excel, precisaremos selecionar todos os valores que nos forem de interesse (se vamos montar a tabela somente do dia primeiro, podemos selecionar os dados correspondentes a este dia), copiarmos os dados selecionados e colarmos no Excel. Mas aqui encontramos um problema: ao colarmos estes dados na planilha do Excel, todos os valores juntos ocupam a mesma coluna (ver Figura 3.8), e não conseguimos manipular os valores separadamente, o que impossibilita a criação do gráfico, que é o nosso objetivo final.

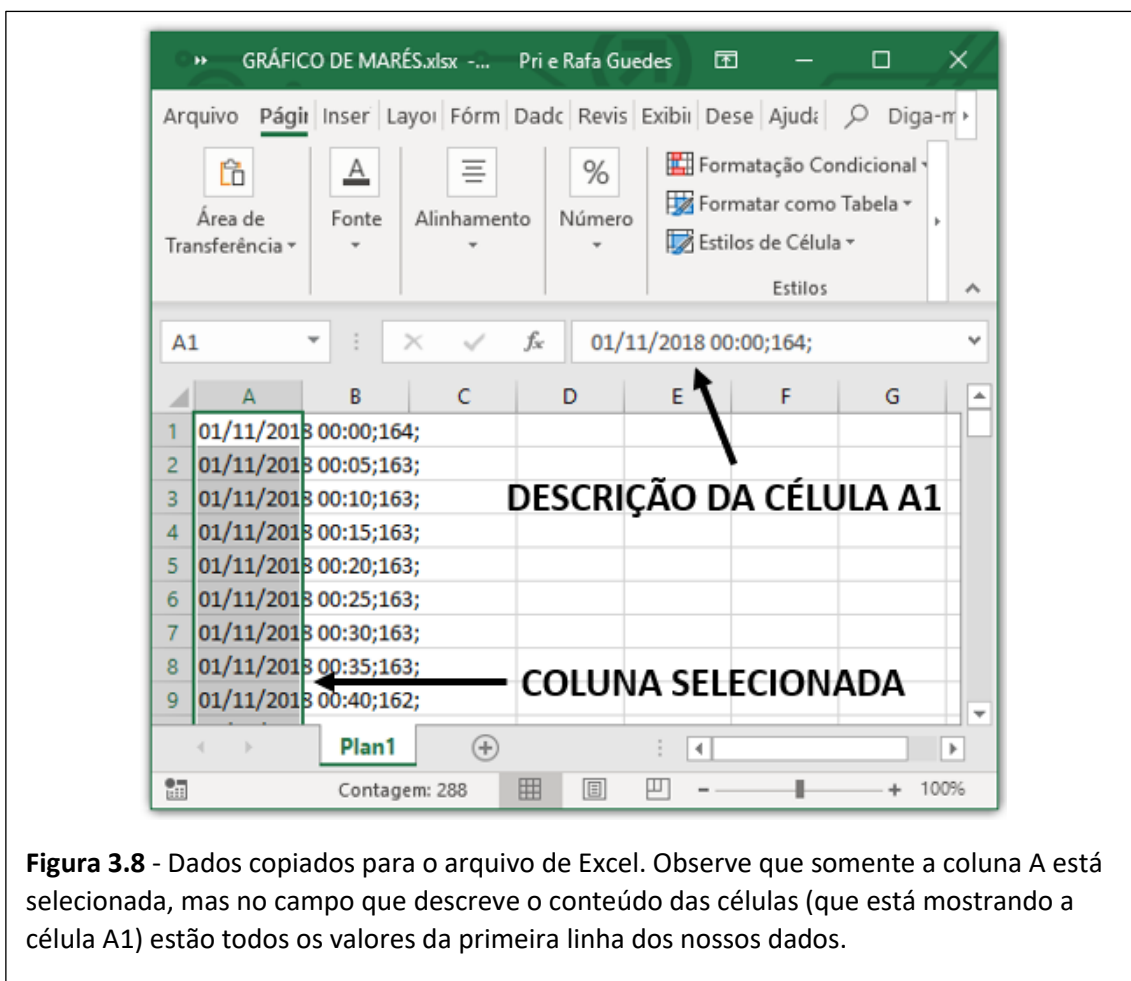


Figura 3.8 - Dados copiados para o arquivo de Excel. Observe que somente a coluna A está selecionada, mas no campo que descreve o conteúdo das células (que está mostrando a célula A1) estão todos os valores da primeira linha dos nossos dados.

Então, precisamos destacar os valores para que fiquem em colunas independentes e, assim, poderemos manipulá-los de forma separada. Para isso, usaremos algumas funções do programa que permitem esta ação, e vamos descrever abaixo o passo a passo.

3.4.1 – Separando dia, mês e ano dos demais valores:

- Selecione toda a coluna com os valores e pressione **Ctrl+U**. A janela mostrada na Figura 3.9 será aberta;

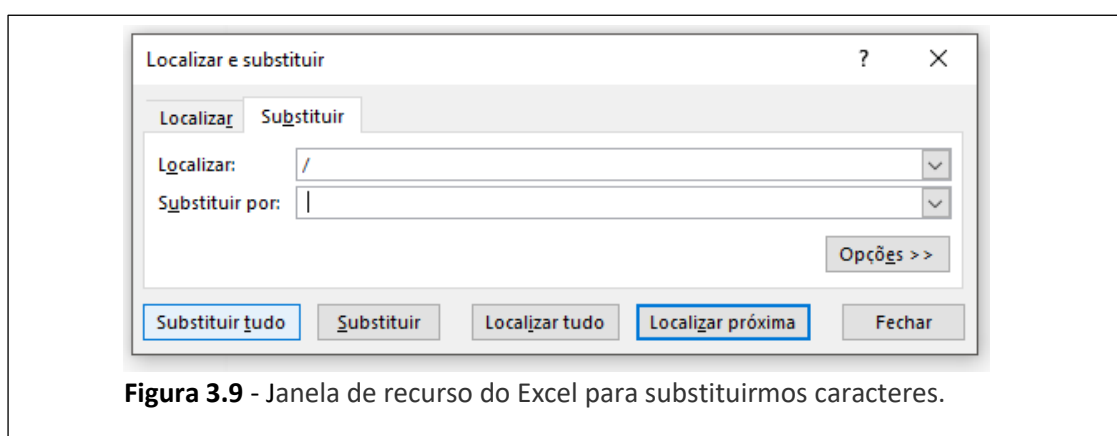


Figura 3.9 - Janela de recurso do Excel para substituímos caracteres.

- Onde está escrito **Localizar** coloque uma Barra (/) e onde está escrito **Substituir por**, coloque um Espaço. Esta ação vai substituir todas as barras das datas por espaços.
- Selecione toda a coluna
- Vá em **Dados**
- Clique na opção **Texto para Colunas** (ver Figura 3.10);
- A seguinte janela (ver Figura 3.11) ficará disponível. Certifique-se de que a opção **Largura Fixa** esteja marcada, clique em **Avançar** duas vezes e, em seguida, clique em **Concluir**.

Após esta ação, os dados ficarão separados como na figura 3.12 a seguir. Observe nas linhas que o número 1 (dia) está separado do número 11 (mês) e do número 2018 (ano), mas hora, minuto e altura estão na mesma coluna D.

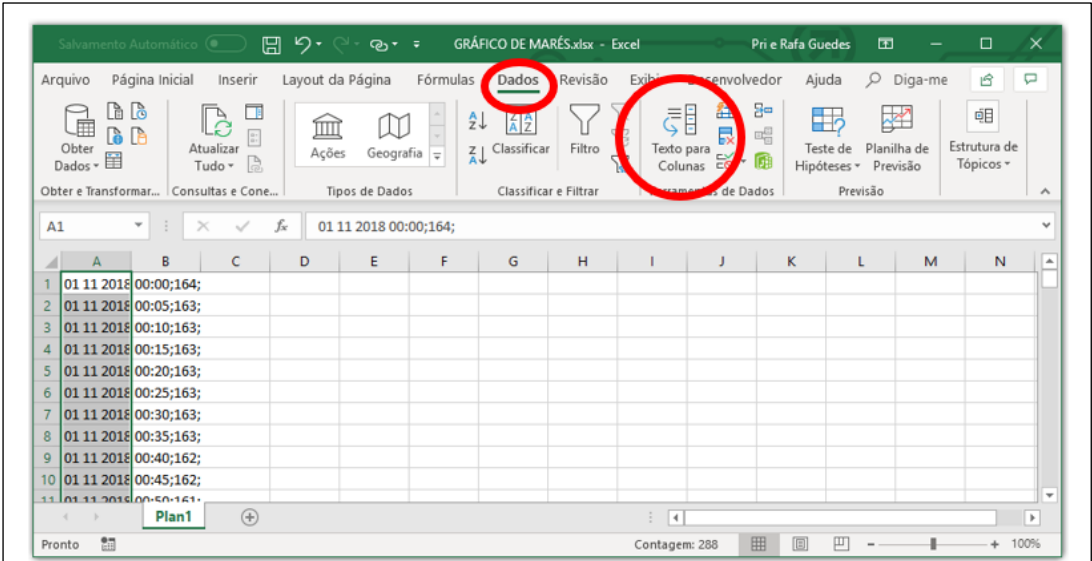


Figura 3.10 - Planilha do Excel com destaque para a opção Dados e texto para colunas.

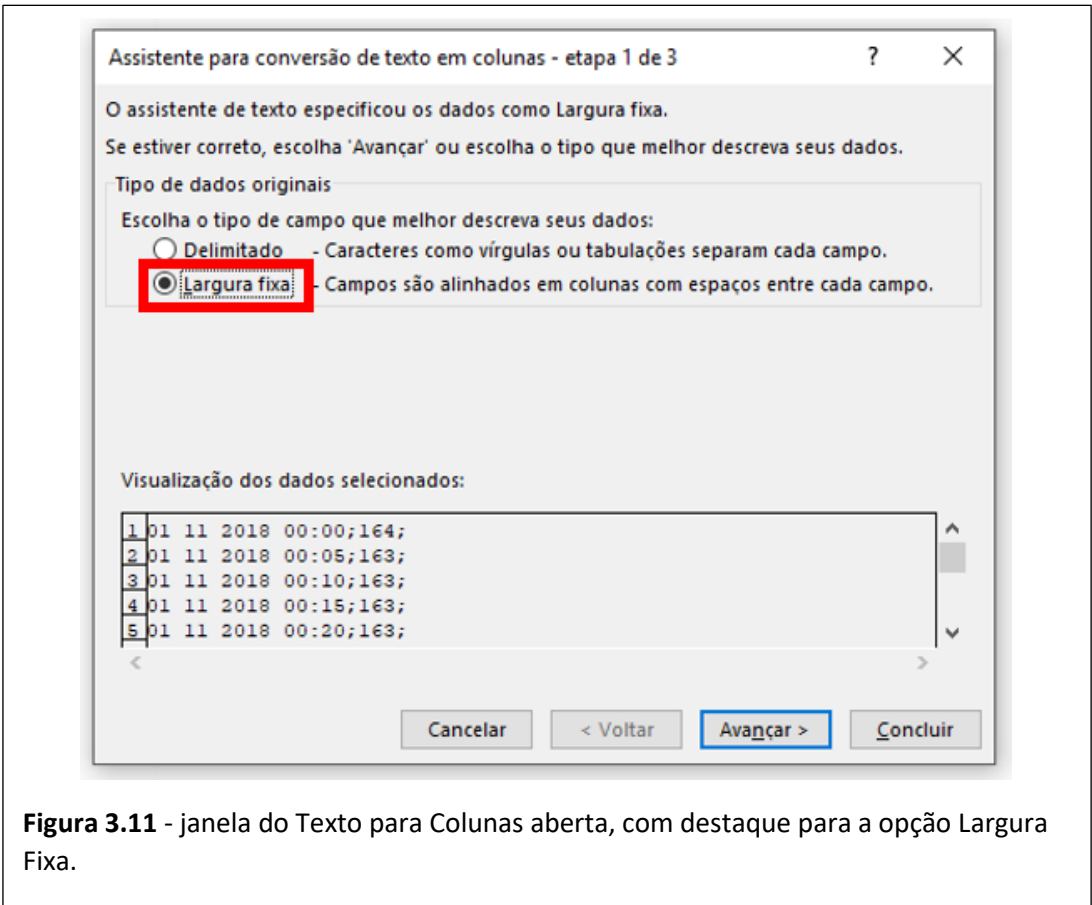


Figura 3.11 - janela do Texto para Colunas aberta, com destaque para a opção Largura Fixa.

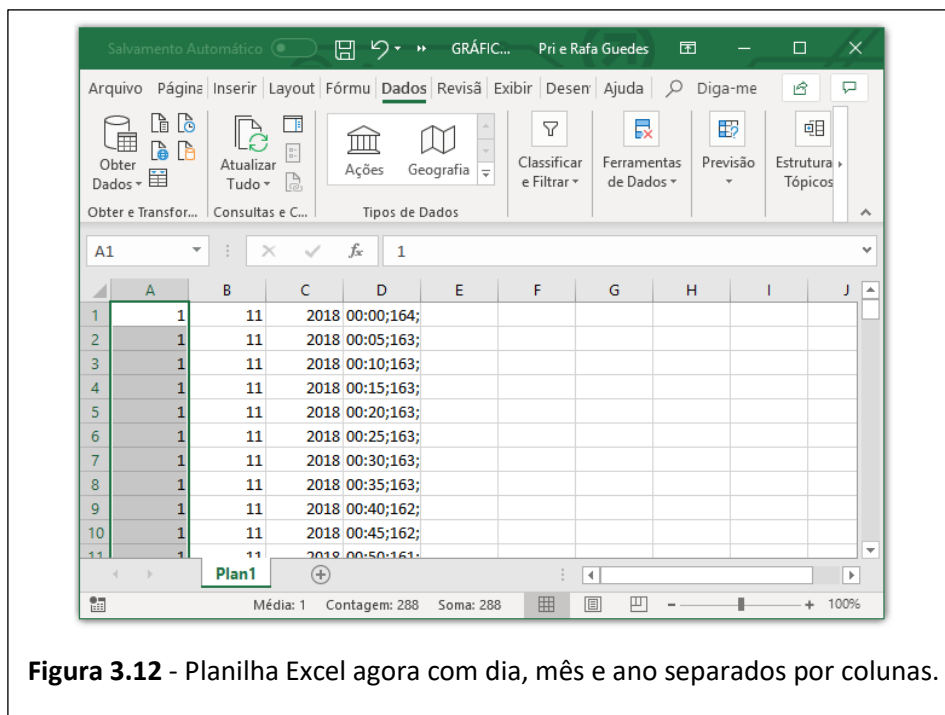


Figura 3.12 - Planilha Excel agora com dia, mês e ano separados por colunas.

3.4.2 – Separando a hora dos minutos:

- Agora selecione a coluna **D**, onde estão os valores de hora, minuto e altura das marés todos na mesma coluna.
- Vá novamente em **Dados, Texto para colunas**, mas agora, ao invés da opção **Largura Fixa**, marque a opção **Delimitado**, e clique em avançar uma vez (ver Figura 3.13).
- Aparecerá a janela da Figura 3.14. Agora, além de **Tabulação**, marque também a opção **Outros** e no campo ao lado coloque “dois pontos” (:). Em seguida, clique em avançar mais uma vez e clique em **Concluir**.

Agora teremos os valores das horas sozinhos na coluna **D**, como mostra a Figura 3.15, mas ainda teremos os valores dos minutos e os valores das alturas na mesma coluna **E**. O próximo passo é separá-los.

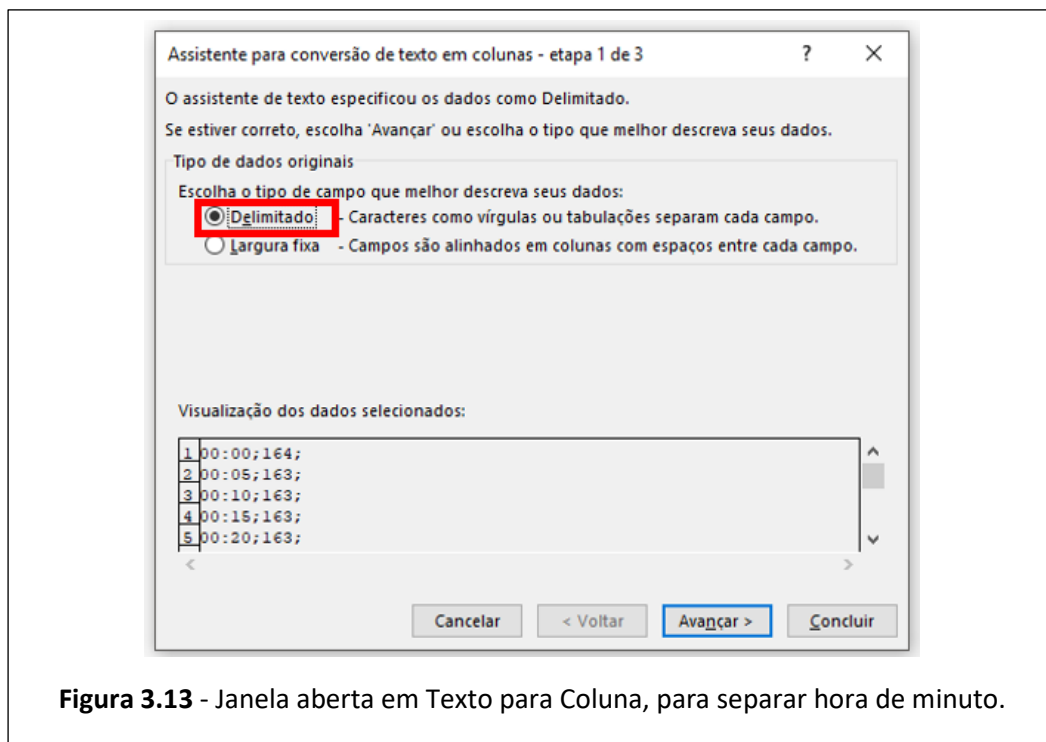


Figura 3.13 - Janela aberta em Texto para Coluna, para separar hora de minuto.

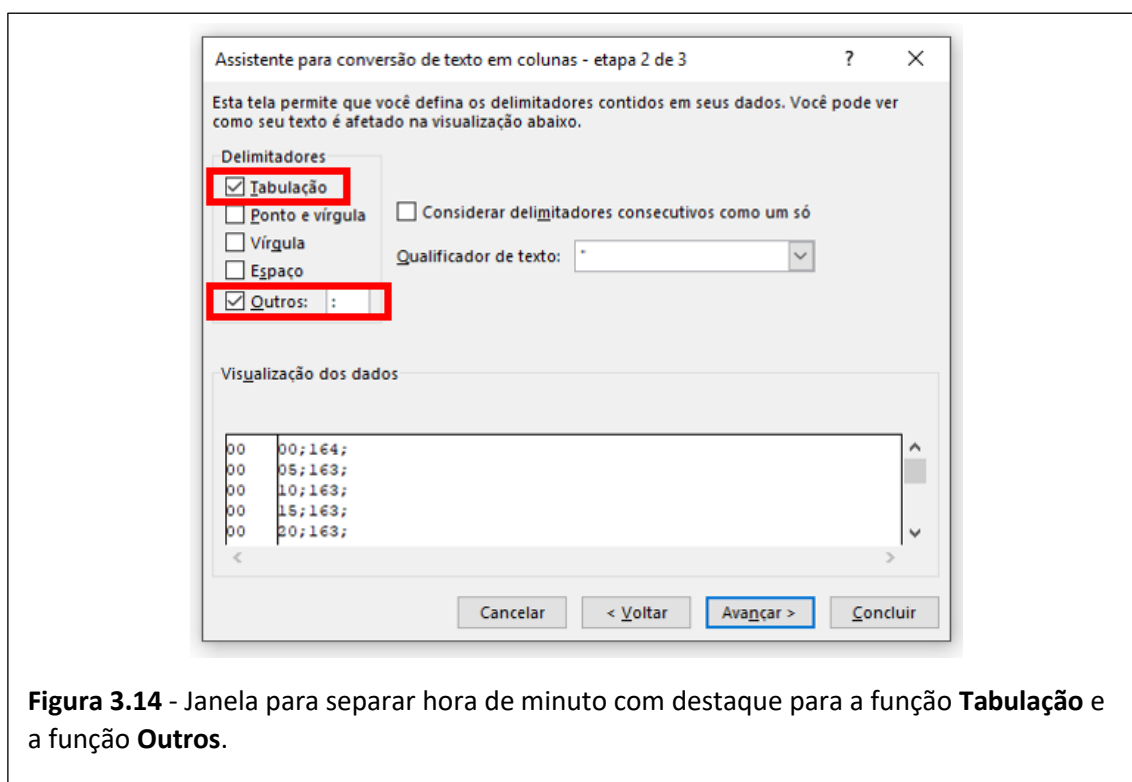


Figura 3.14 - Janela para separar hora de minuto com destaque para a função **Tabulação** e a função **Outros**.

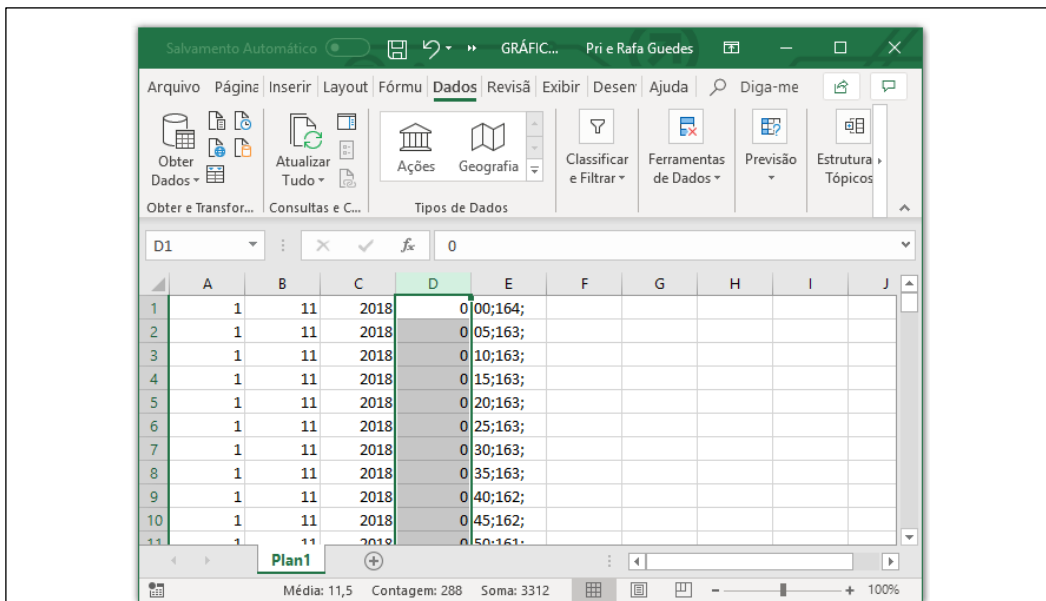


Figura 3.15 - Planilha do Excel com os valores de hora em uma coluna independente.

3.4.3 – Separar os minutos das alturas:

- Selecione a coluna **E**, clique em **Dados** e em **Texto para Colunas**.
- Clique em **Avançar** uma vez, verifique se as opções **Tabulação** e **Outros** estão marcadas e no campo ao lado de **Outros**, coloque Ponto e Vírgula (;). Em seguida clique em **Avançar** mais uma vez e clique em **Concluir**. Depois destes procedimentos, teremos todos os valores independentes em colunas diferentes.

Uma sugestão para tornar a identificação de cada valor mais fácil é inserir uma linha em branco para colocarmos a descrição de cada coluna. Para isso, clique com o botão direito do *Mouse* sobre a linha **1** (exatamente sobre o número 1) e vá em **Inserir**. Ao colocar as descrições, observe que a ordem das colunas é Dia, Mês, Ano, Hora, Minuto, Altura. Veja a Figura 3.16.

Com essas tabelas prontas, podemos partir para o próximo passo que será montar um gráfico para observarmos os dados da maré.

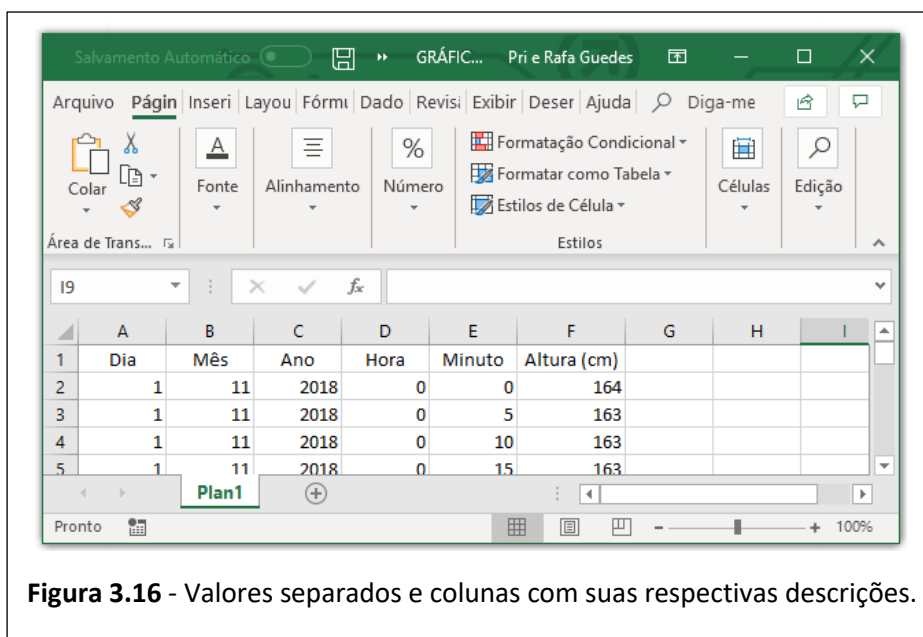


Figura 3.16 - Valores separados e colunas com suas respectivas descrições.

3.4.4 – Construindo os gráficos para análise

1 – Gráfico Simples

Uma forma de gráfico que pode ser feita é a mais simples possível, em que selecionamos somente a coluna dos valores das alturas e clicamos em **Inserir**. Dentro desta opção, há uma parte de **Gráficos** em que podemos escolher alguns tipos. A figura abaixo mostra a coluna selecionada, a área de gráficos e o tipo que escolhemos para mostrá-lo pronto, que no caso é o gráfico em Linha. Abrirá uma janela com subtipos de gráficos e nós escolheremos a primeira opção de gráfico **Linha 2D**.

Na Figura 3.18 apresentamos o gráfico pronto.

Como só selecionamos uma coluna, o Excel entende automaticamente que os valores escolhidos devem estar no eixo da vertical. No eixo da horizontal, ficam os números das linhas correspondentes a cada valor. Note que o título do gráfico coincide com a descrição que demos para a coluna selecionada, que escrevemos na primeira linha da referida coluna. Isto também é uma ação automática do programa.

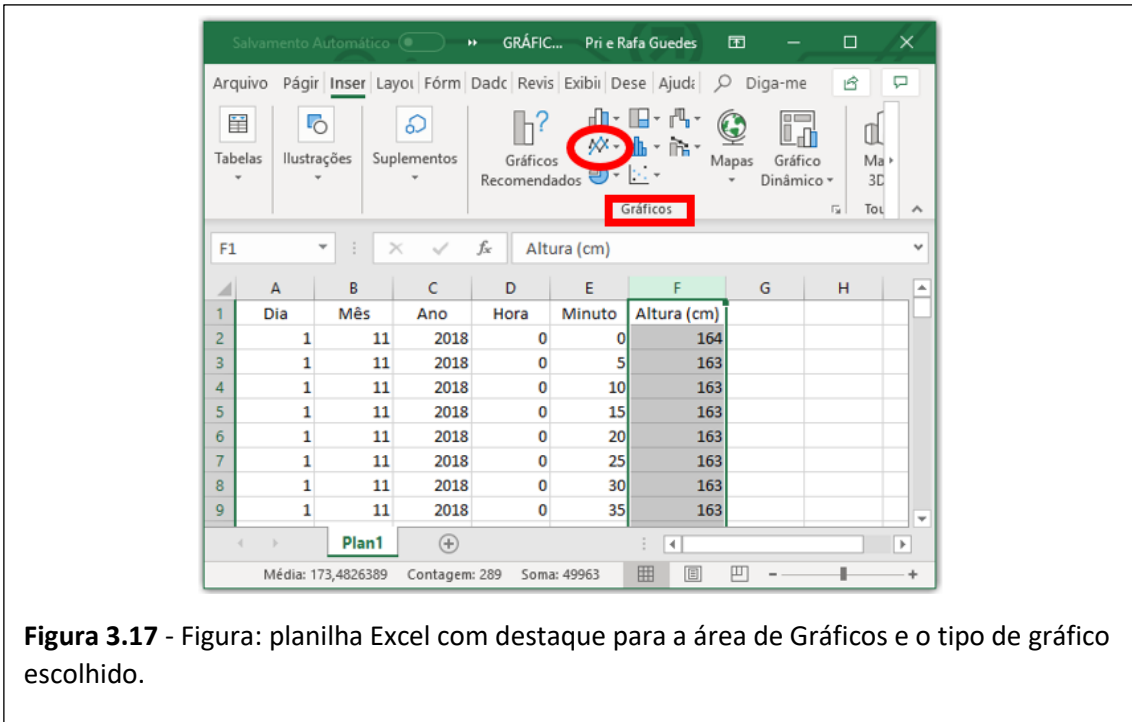


Figura 3.17 - Figura: planilha Excel com destaque para a área de Gráficos e o tipo de gráfico escolhido.

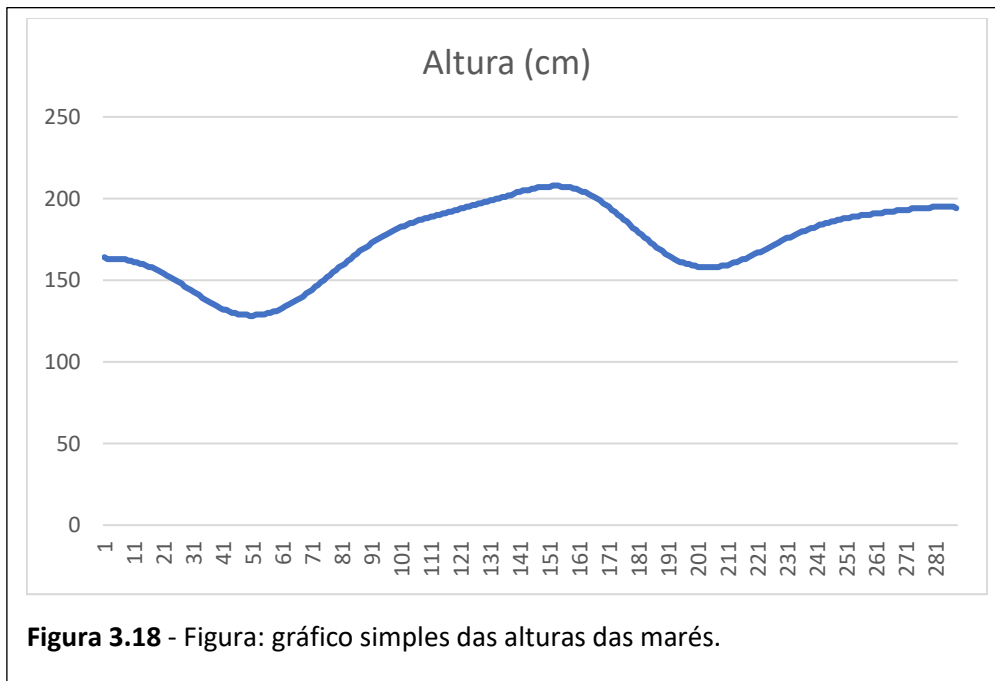


Figura 3.18 - Figura: gráfico simples das alturas das marés.

Este gráfico nos permite com clareza identificar o comportamento das marés, lembrando que o intervalo é de um dia. Podemos observar a modulação em que o gráfico começa numa descendente, chega ao valor mais baixo (maré baixa), torna a subir atingindo uma maré alta, volta à segunda maré baixa e encerra o dia a caminho da segunda maré alta. No caso, não ficam tão explícitos os pontos de marés altas, embora consigamos perceber as marés baixas com

exatidão. Além disso, o gráfico não é tão bem definido quando comparado com o de outros dias, e isso ocorre porque no dia 01/11/2018 estávamos mais próximos da fase Quarto Minguante da Lua, que, como vimos no capítulo 1, ocasiona amplitudes menores das marés.

Encontramos uma limitação neste tipo de gráfico, porque não podemos observar os instantes correspondentes aos picos de maré alta, o que seria uma análise muito importante para o nosso trabalho. Afinal, no eixo da horizontal, não temos os instantes correspondentes às marés e sim a numeração da linha onde se encontra tal valor.

Uma coisa que poderia sanar este problema seria selecionar duas colunas, uma das alturas e outra dos tempos. Porém, cada altura está associada a um minuto, que por sua vez está associado a alguma hora do dia, ou seja, para cada valor de altura precisamos simultaneamente de dois valores de instantes (aqui estamos ignorando os dias e os meses porque não há necessidade nesta análise, porém, em outras ocasiões, precisaremos levar em consideração minutos, horas e dias neste gráfico).

Para resolvermos este problema, existe a opção de criarmos um Gráfico Dinâmico, em que podemos colocar no mesmo eixo, mais de um valor, desde que estejam associados na tabela. Então, poderemos usar o eixo da vertical com os valores das marés e o eixo da horizontal com os instantes (minutos e horas). Vejamos à construção do gráfico.

2 – Gráfico Dinâmico

Para a construção deste tipo de gráfico, podemos selecionar todos os dados da nossa tabela, clicamos em **Inserir** e vamos na opção **Gráfico Dinâmico** (observe a Figura 3.19). Ao clicar em **Gráfico Dinâmico** aparecerá a janela da Figura 3.20, na qual só precisamos clicar em **Ok**. Ao clicar em **Ok**, uma nova planilha dentro do mesmo arquivo será criada, e do lado direito desta planilha aparecerá uma janela com a descrição **Campos do Gráfico Dinâmico**, conforme a Figura 3.21.

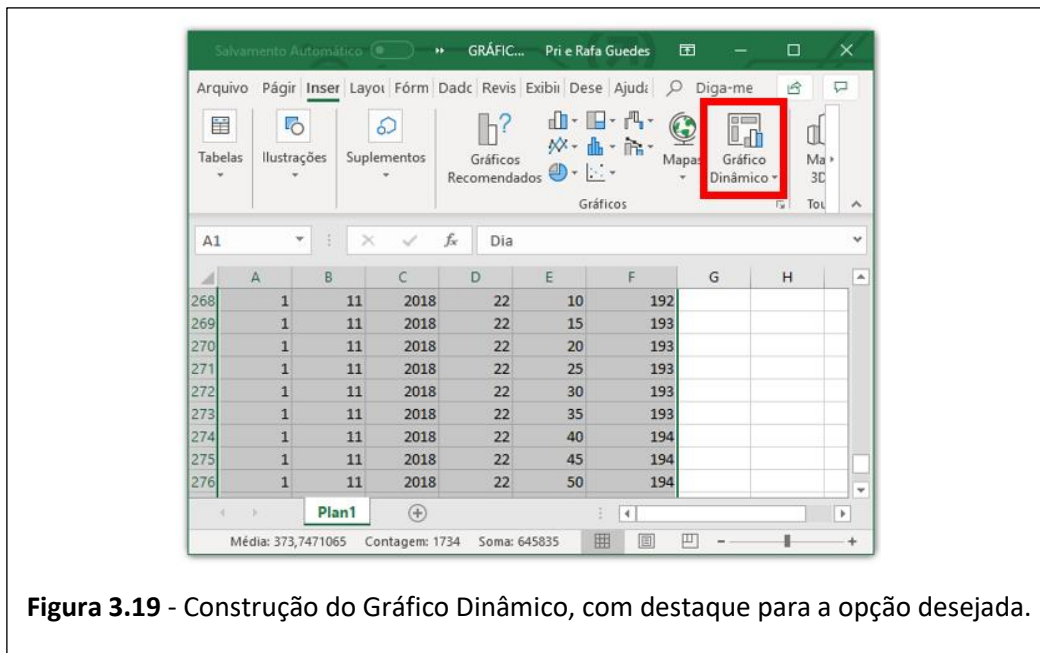


Figura 3.19 - Construção do Gráfico Dinâmico, com destaque para a opção desejada.

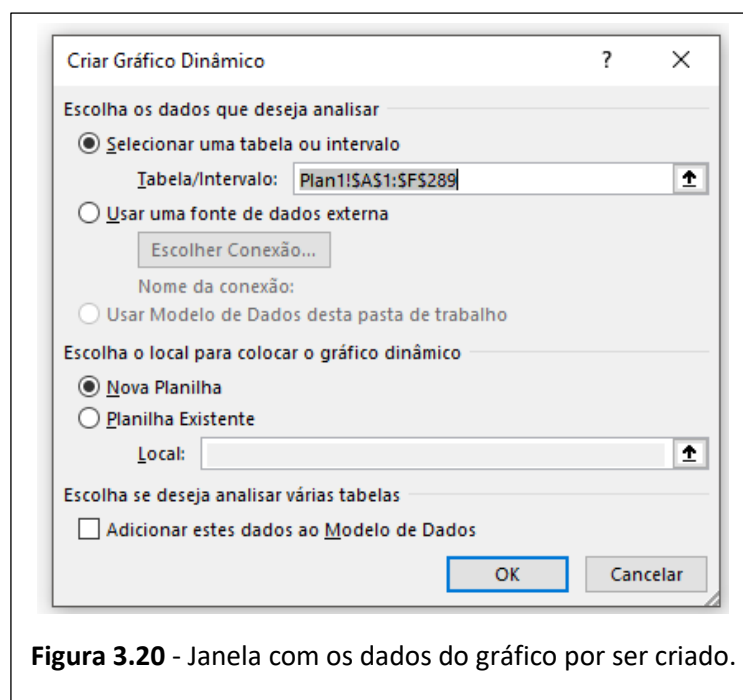


Figura 3.20 - Janela com os dados do gráfico por ser criado.

Neste campo há uma janela com a descrição de cada coluna selecionada, que coincide com o que há na primeira linha de cada coluna. No nosso caso aparecem as descrições Dia, Mês, Ano, Hora, Minuto e Altura (cm). Logo abaixo há quatro janelas das quais usaremos a janela **Eixos (Categorias)**, que corresponde ao eixo horizontal, e a janela **Valores**, que corresponde ao eixo vertical. Então, para construirmos o gráfico basta arrastarmos cada coluna para as respectivas janelas, com um cuidado à parte quando formos arrastar os eixos

dos instantes, porque precisamos indicar para o Excel que os minutos estão “dentro” das horas, logo precisamos arrastar primeiro a coluna Hora e depois a coluna Minuto (lembrando que não vamos precisar colocar a coluna Dia, Mês e Ano, porque analisaremos os valores somente de um dia).

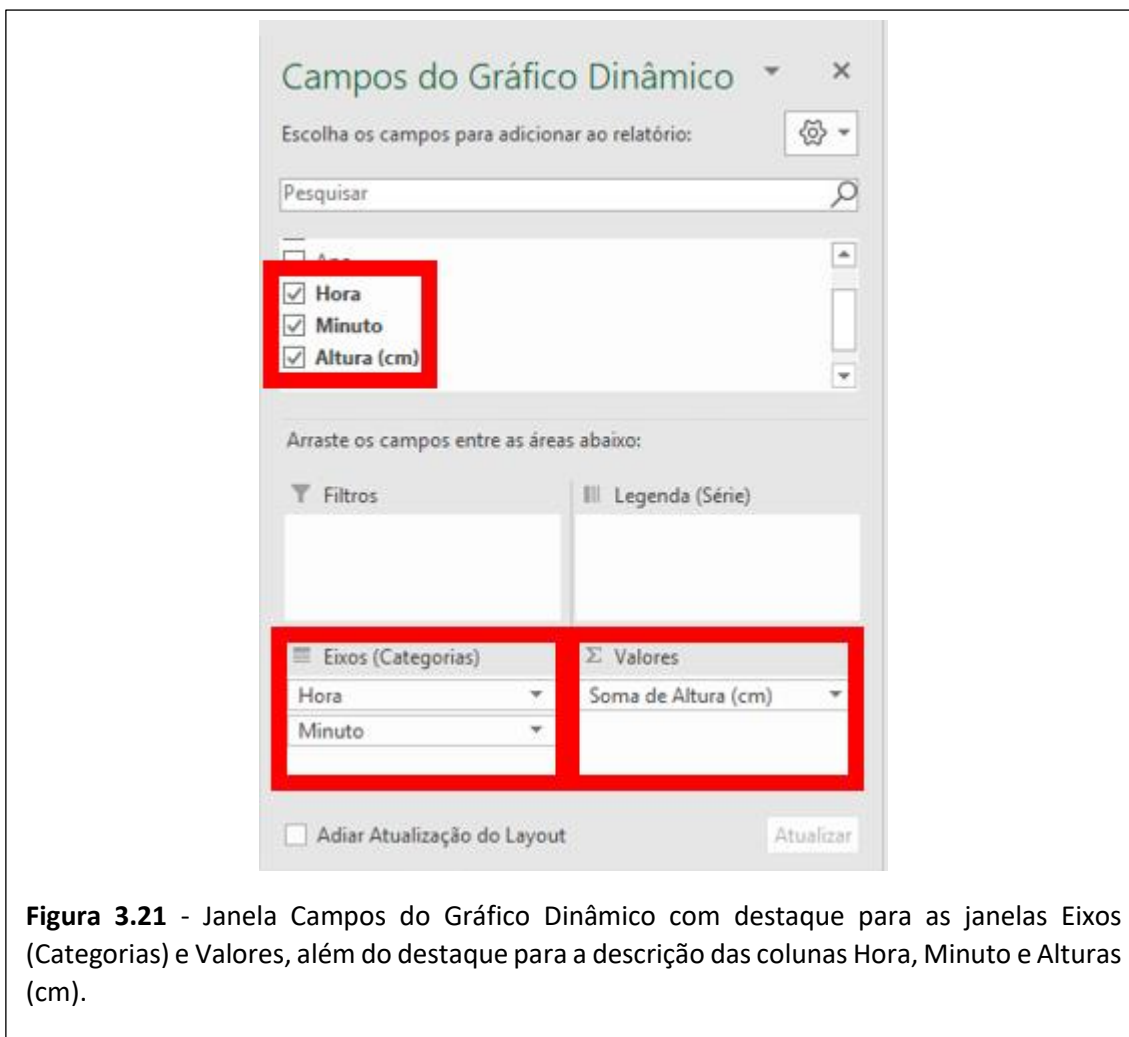


Figura 3.21 - Janela Campos do Gráfico Dinâmico com destaque para as janelas Eixos (Categorias) e Valores, além do destaque para a descrição das colunas Hora, Minuto e Alturas (cm).

Junto à janela vista na Figura 3.22, aparecerá a planilha com uma tabela onde constam os valores de horas, minutos e alturas. Ao lado, surgirá uma janela com o gráfico do tipo **Colunas**.

Vamos dar um destaque às funções importantes do gráfico que facilitarão nossas análises. Mas antes vamos mudar o tipo de gráfico de **Colunas** para **Linha** apenas por conveniência, porque facilitará em análises futuras. Para isso, basta clicar com o botão direito do *mouse* na área do gráfico (região de fundo

branco que delimita os eixos do gráfico) e aparecerá uma janela vertical com diversas opções. Vá em Alterar Tipo de Gráfico, e na janela seguinte clique em **Linhas** e clique em **Ok** (ver Figura 3.23).

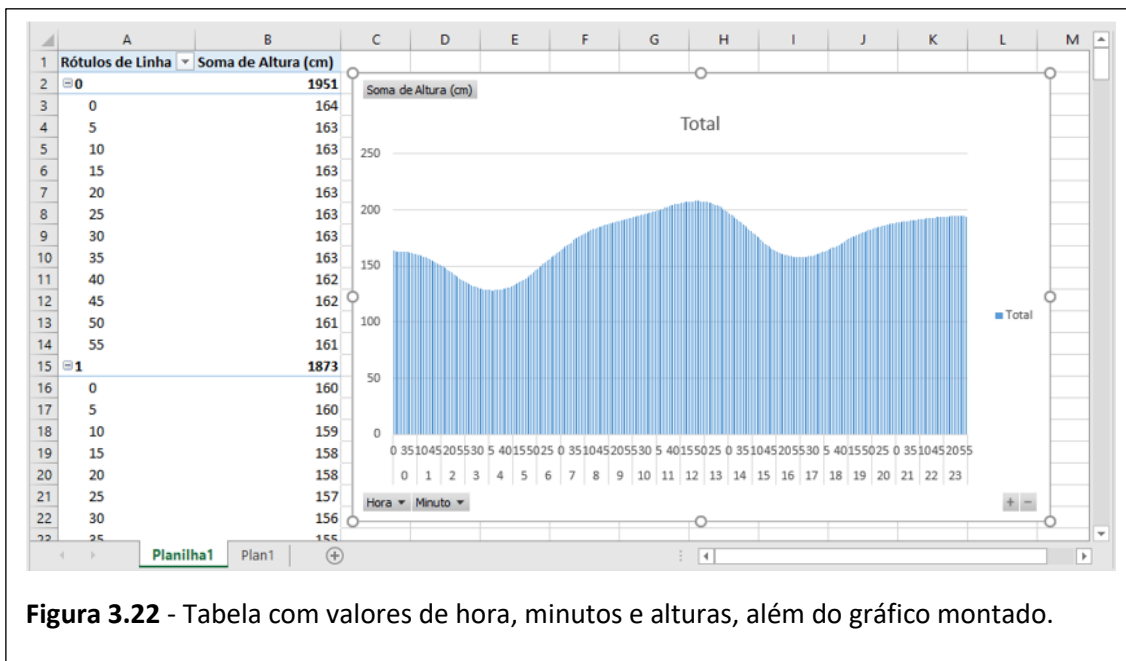


Figura 3.22 - Tabela com valores de hora, minutos e alturas, além do gráfico montado.



Figura 3.23 - Gráfico alterado para o tipo Linha

Observe na figura acima que na janela do gráfico, no canto inferior esquerdo, há duas barras cinzas, uma com a descrição **Hora** e outra com a descrição **Minuto**, que são os chamados **Filtros**. Ao clicarmos nestas barras, podemos selecionar os instantes que queremos no eixo da horizontal, e o gráfico

é reconstruído somente com os valores das alturas correspondentes a estes instantes. Vamos marcar as primeiras seis horas do dia para vermos um exemplo.

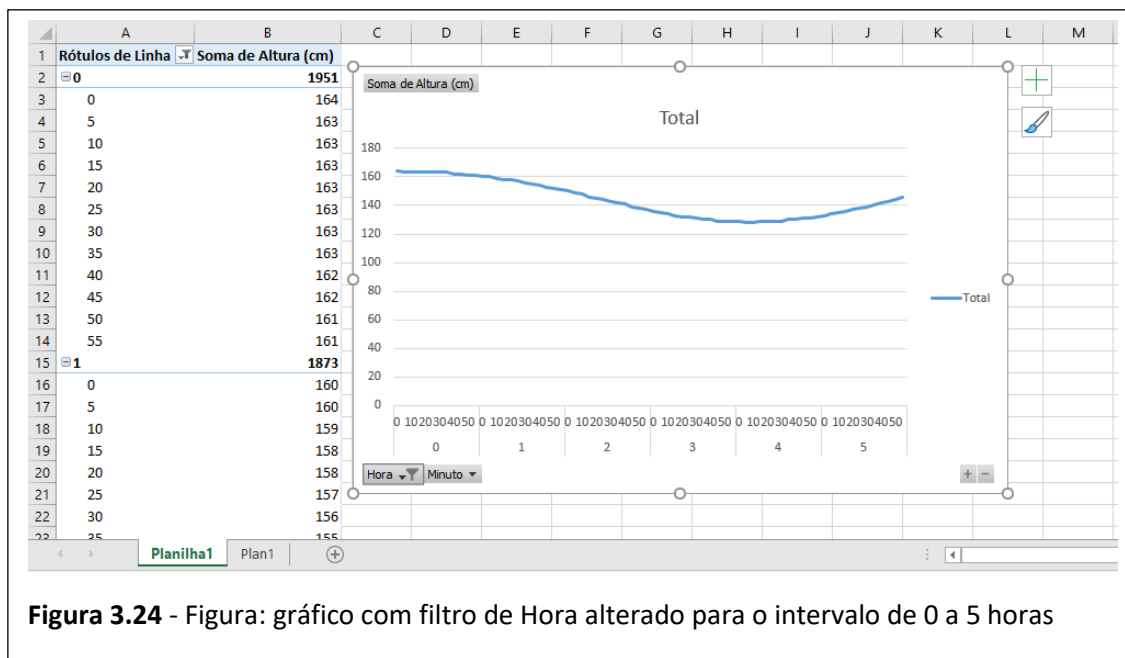


Figura 3.24 - Figura: gráfico com filtro de Hora alterado para o intervalo de 0 a 5 horas

Veja na Figura 3.24 a curva do gráfico redesenhada somente para o intervalo selecionado. Podemos ver que a escala de valores do eixo da vertical mudou automaticamente, porque ela se ajusta de acordo com os limites de valores das alturas naquele intervalo selecionado. Mas a escala pode ser alterada, seguindo os seguintes passos: clique com o botão esquerdo do *mouse* sobre a região onde se encontram os valores do eixo vertical, com isso aparecerá uma moldura retangular envolvendo os valores do eixo; em seguida, coloque o cursor (a setinha do *mouse*) exatamente sobre a moldura, de forma que apareça uma barra horizontal na tela escrita **Eixo Vertical (Valor)**; então, clique com o botão direito do *mouse* e vá em **Formatar Eixo**; uma nova janela à direita da planilha se abrirá e nela estão as opções de **Limites** com o campo para o **Máximo** e o **Mínimo**. Veja a Figura 3.25.

Nosso objetivo é disponibilizar este tutorial de todo o tratamento dos dados no Excel para os alunos e alunas. Isso pode ser feito através de um grupo de E-mail, uma pasta em programas de nuvem como o DropBox, ou podemos disponibilizar para que copiem em algum drive pessoal. Assim, eles terão

condições de construir seus próprios gráficos e levarão para a sala na próxima aula.

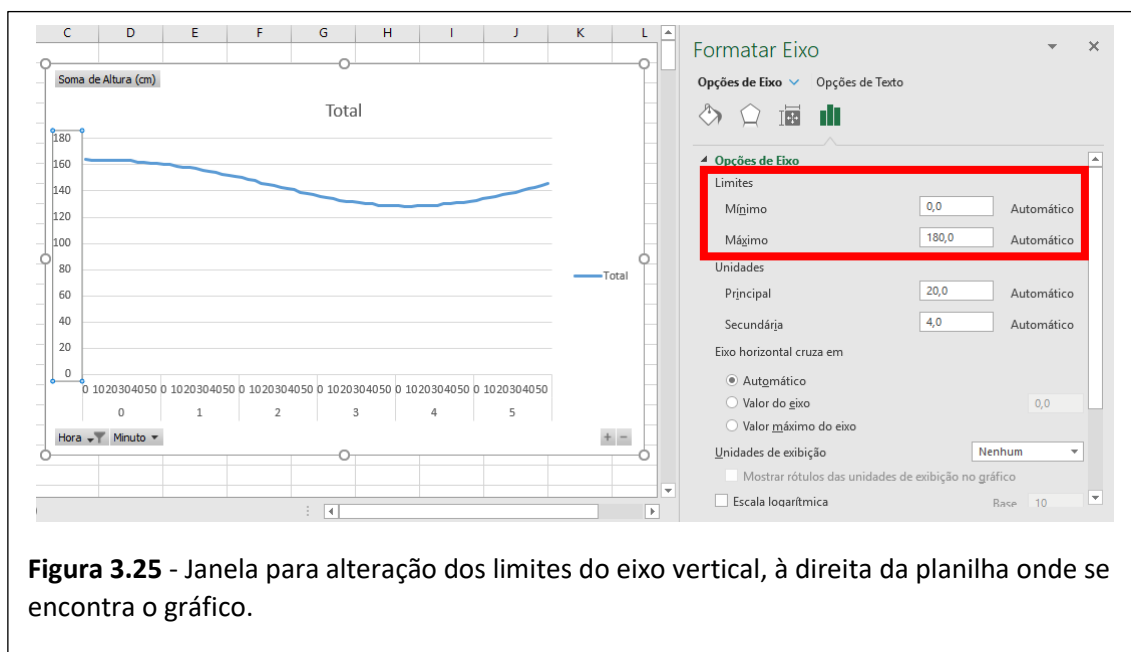


Figura 3.25 - Janela para alteração dos limites do eixo vertical, à direita da planilha onde se encontra o gráfico.

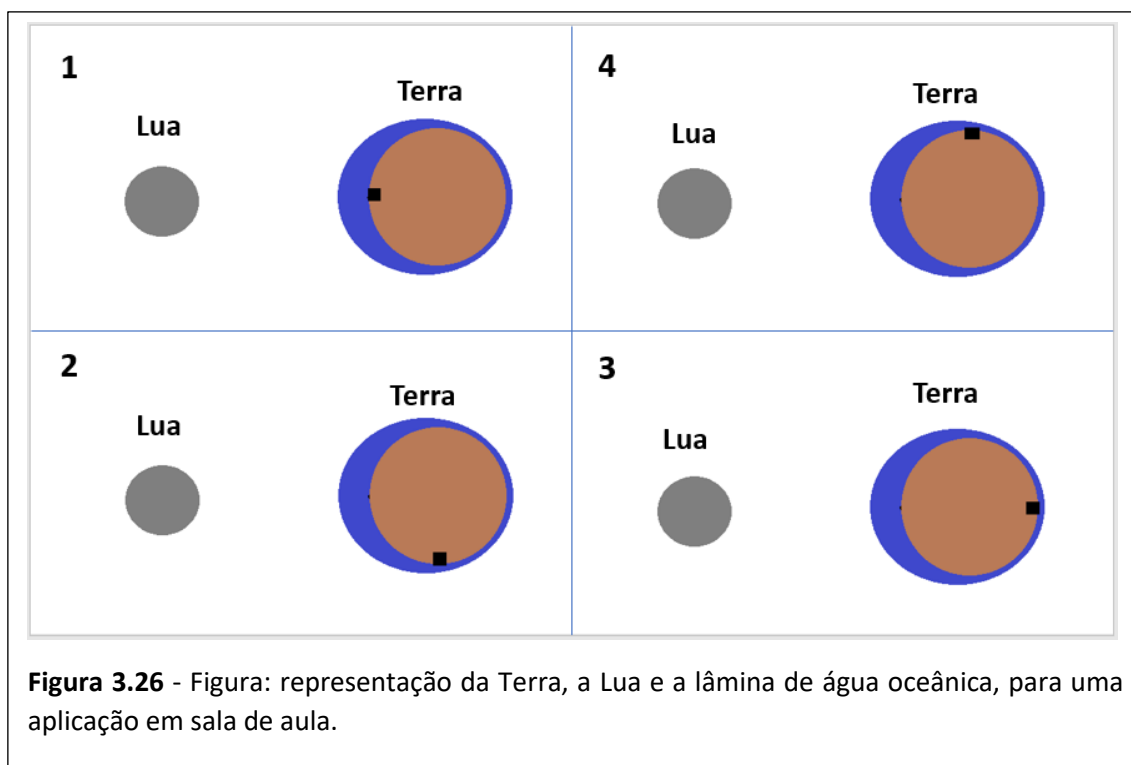
3.5 - Quinta etapa

No início da aula, precisaremos destinar um momento para que eventuais dúvidas com a construção dos gráficos sejam tiradas. Passada esta etapa, vamos devolver os desenhos feitos pela turma na aula anterior, e pedir para que eles reflitam sobre o comportamento das marés observado a partir do gráfico e o que poderia ser previsto a partir do desenho.

Na atividade dos desenhos, é perfeitamente plausível conceber que tenderão a um formato no qual haverá apenas a formação de um bojo de maré voltado para a posição do astro causador da maré (Lua ou Sol). Em uma ocasião na qual foram aplicadas parcelas de uma sequência didática para o ensino das marés (a sequência, na verdade, era a construção preliminar da sequência que culminaria no trabalho desta dissertação) para 4 alunos de uma turma do Pré-Vestibular Social Padre Tiúba, entre os dias 16/10/2018 e 01/11/2018, foi possível averiguar como eles distinguiriam as marés em um modelo com apenas um bojo de maré.

A figura 3.26 foi apresentada para a turma e o seguinte problema foi proposto:

A figura representa a Terra, um astro causador de maré (Lua, por exemplo) e a lâmina de água assumindo uma forma hipotética na superfície terrestre devido à atração gravitacional. Temos quatro quadrantes onde um quadradinho preto está representando uma posição sobre a Terra. Indique em cada posição se a maré é alta ou baixa.



Na figura 3.27 estão as respostas dos alunos, os quais eu identifiquei como A, B, C e D. Observe que três dos quatro (75%) responderam que teríamos uma maré alta e uma maré baixa. Apenas o aluno C respondeu que teriam duas marés altas e duas baixas, mas anexo à resposta disse não ter certeza.

Então, podemos inferir que, em um modelo no qual supõe-se apenas um bojo de maré (que é o que esperamos que seja imaginado pelos alunos na atividade do desenho, na primeira etapa), é majoritária a concepção de que há apenas uma maré alta e uma maré baixa.

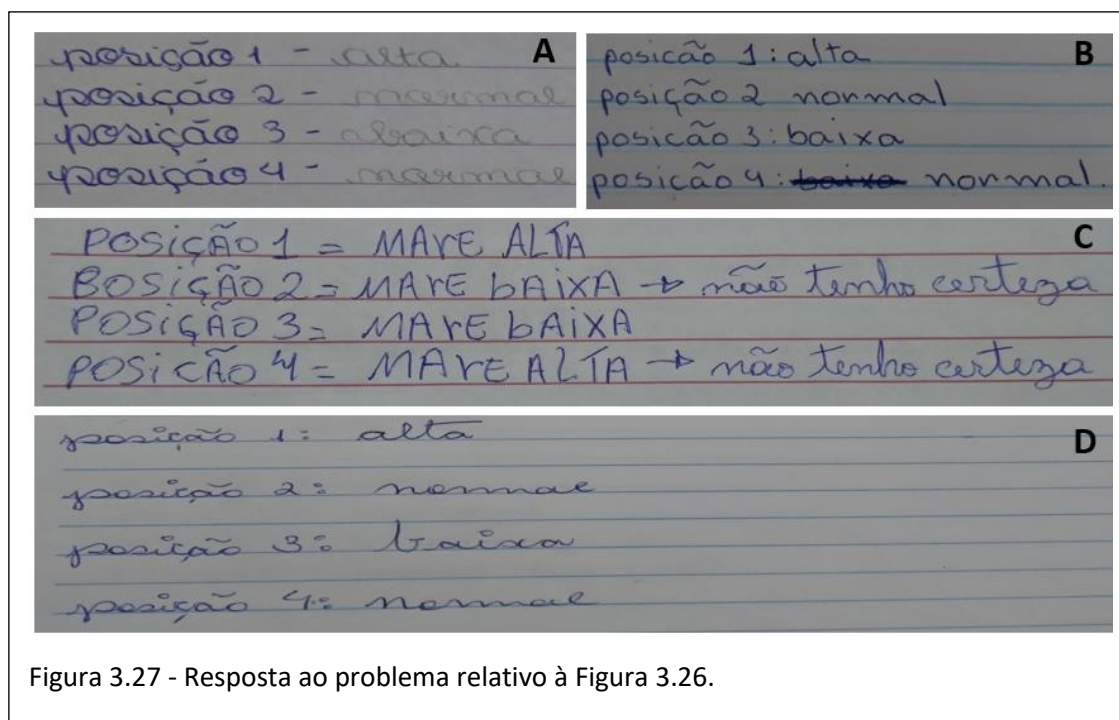
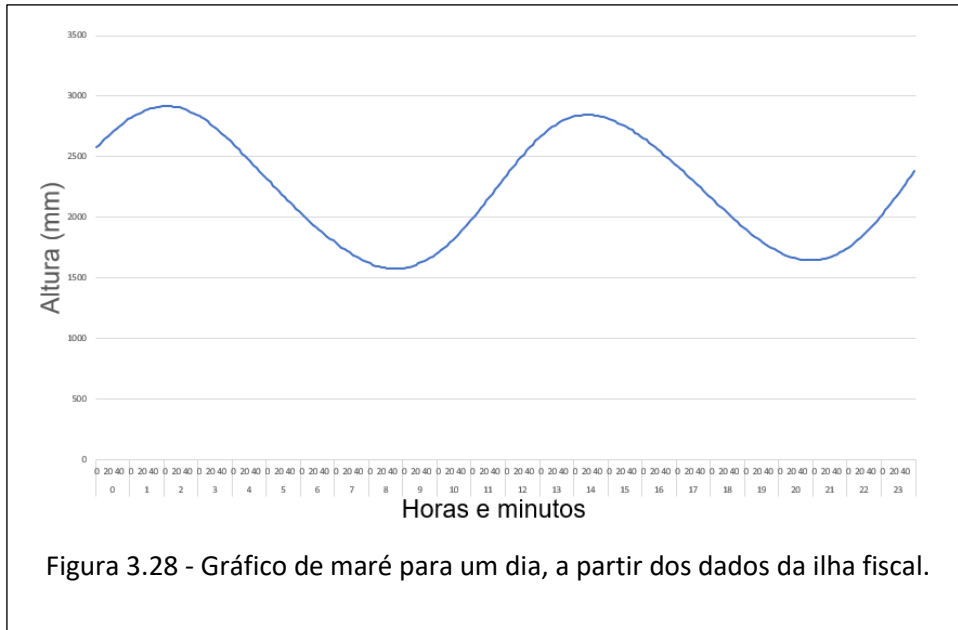


Figura 3.27 - Resposta ao problema relativo à Figura 3.26.

Então, podemos inferir que, em um modelo no qual supõe-se apenas um bojo de maré (que é o que esperamos que seja imaginado pelos alunos na atividade do desenho, na primeira etapa), é majoritária a concepção de que há apenas uma maré alta e uma maré baixa.

Este mesmo grupo de alunos (a menos do aluno indicado pela letra C, que esteve ausente nesta oportunidade) foi apresentado ao gráfico das marés de um dia, que foi construído a partir dos dados do marégrafo da ilha Fiscal (Fig. 3.28), e receberam os seguintes questionamentos:

- 1 – A partir da análise do gráfico, quantas marés altas ocorreram?
- 2 – A que horas acontece cada maré alta?
- 3 – Qual é o intervalo de tempo entre duas marés altas consecutivas?
- 4 – A partir da análise do gráfico, quantas marés baixas ocorreram?
- 5 – A que horas acontece cada maré baixa?
- 6 – Qual é o intervalo de tempo entre duas marés baixas consecutivas?



Na Figura 3.29 estão as respostas.

A

- 1- Duas marés altas.
- 2- Primeira maré: Entre 1 e 2 horas.
Segunda maré: Entre 1 e 2 horas.
- 3- Aproximadamente 12 horas.
- 4- Duas marés baixas.
- 5- Primeira maré: Entre 8 e 9 horas.
Segunda maré: Entre 20 e 21 horas.
- 6- Aproximadamente 12 horas.

B

- 1- Duas Marés altas
- 2- 2h e ds 14h
- 3- 12h entre cada uma delas
- 4- Duas Marés baixas
- 5- Entre 8h e 9h, e 20h e 21h
- 6- aproximadamente 12h.

D

1. Duas marés altas
2. 1ª: entre 1 e 2 horas.
2ª: entre 13 e 14 horas
3. aproximadamente 12h
4. duas marés baixas
5. 1ª: entre 8 e 9 horas.
2ª: entre 20 e 21 horas
6. aproximadamente 12h.

Figura 3.29 - Respostas dos questionamentos referentes ao gráfico da figura 3.28.

Observe que nas perguntas 1 e 4, sobre quantas marés altas e quantas marés baixas eles podem ver pelo gráfico, todos responderam duas.

Então, se os alunos concebem que o modelo com um bojo de maré (do problema anterior) tem como consequência uma maré alta e outra baixa por dia, e analisando o gráfico, eles conseguem perceber que há duas marés altas e duas baixas por dia, é possível criar condições para estabelecer este conflito e a partir daí construir a ideia do que pode causar essas duas marés por dia.

3.6 – Sexta etapa

Criado este conflito, precisaremos justificar fisicamente o porquê de duas marés altas e duas marés baixas por dia, já que ter como causa as atrações gravitacionais da Lua e do Sol não explica este fenômeno. Antes de realizar esse estudo podemos ainda realizar esta sexta etapa que procura estabelecer que a diferença das amplitudes máxima e mínima não é constante e varia dia após dia. Como vimos no capítulo 1 isto tem que ver com o movimento da lua e do sol em suas orbitas aparentes (no referencial geocêntrico).

Nesta etapa, vamos distribuir um conjunto de dados relativos a diferentes dias sequencialmente selecionados, e pedir para que a turma realize as seguintes atividades:

- **Em todas as atividades a seguir, compare seus resultados com o dos colegas de grupo.**
- **Calcule a amplitude das marés de seus respectivos gráficos. Neste caso podemos orientar a pegarem a média das marés altas, a média das marés baixas e fazerem a diferença.**
- **Indique os instantes de cada maré alta e de cada maré baixa.**
- **Diga qual é o intervalo de tempo entre as duas marés altas consecutivas.**
- **Diga qual é o intervalo de tempo entre as duas marés baixas consecutivas.**

Após esta atividade, podemos questionar se os resultados encontrados eram iguais ou diferentes dos resultados de cada colega.

A partir desta comparação, esperamos que os grupos concluam que os horários e as amplitudes mudam para dias diferentes. Com isso já temos uma motivação para propor a construção do gráfico de um mês. Então, para a aula seguinte, a turma deve construir individualmente o gráfico de um mês completo, o que pode ser feito com os mesmos procedimentos em que foram orientados nas etapas anteriores.

Aqui, uma intervenção nossa será importante: quando formos criar o Gráfico Dinâmico, abrirá o Campos do Gráfico Dinâmico (que já foi mencionado acima) e neste campo teremos uma janela para arrastarmos os valores das Alturas, e outra janela para arrastarmos os valores de instantes. É necessário ressaltar que no campo dos instantes, os valores precisam ser arrastados na ordem Dia, Hora e Minutos, respectivamente. Vamos pedir que tragam para a próxima aula o gráfico impresso e verifiquem, em pesquisa na web, qual as datas relativas às fases lunares do mês analisado.

3.7 - Sétima etapa

Novamente, destinaremos o início da aula para tirarmos possíveis dúvidas sobre a construção do gráfico, e esperamos que a turma consiga obter um gráfico similar ao da figura abaixo.

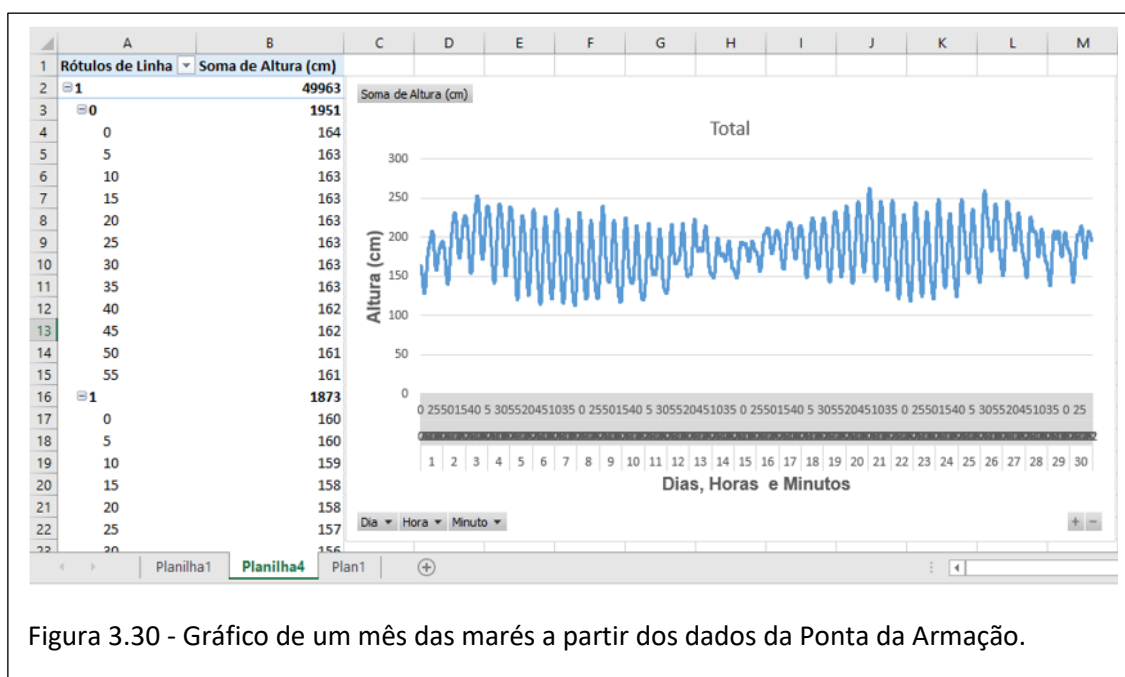


Figura 3.30 - Gráfico de um mês das marés a partir dos dados da Ponta da Armação.

Como já foi esclarecido, os valores das horas e dos minutos no eixo da horizontal ficam indistinguíveis por conta da alta quantidade de dados. Mas quando houver necessidade de analisar instantes mais específicos, será possível usar os filtros que já foram explicados nas etapas anteriores.

De posse dos gráficos vamos orientar a análise partindo de algumas perguntas, que apresentamos abaixo:

O que acontece com a amplitude das marés ao longo do mês?

Em que dias e horas as marés apresentam as maiores amplitudes?

Em que dias e horas as marés apresentam as menores amplitudes?

Agora precisamos conduzir uma discussão que leve a turma a refletir sobre a possibilidade das posições da Lua e do Sol resultarem nesta mudança de amplitude. Vamos pedir que os alunos marquem em seus gráficos os períodos relativos as fases lunares. A título de ilustração, mostramos esse gráfico preparado com auxílio do programa Origin (Figura 3.31).

Então, podemos mostrar uma imagem da Terra, da Lua e do Sol quando estamos em cada uma das fases da Lua. Podemos ver essa imagem na Figura 1.6. Com a imagem posta para a turma (projetada ou desenhada no quadro, talvez), faríamos a seguinte pergunta:

Em qual das situações desta figura, teríamos as preamares de maiores amplitudes e as de menores amplitudes?

Também daríamos a oportunidade de a turma refletir sozinha sobre esta pergunta, dando alguns minutos para isso. Em seguida, podemos levantar a discussão sobre as posições relativas da Terra, Lua e Sol resultarem nas fases da Lua e seria a oportunidade de falarmos das marés de Sízigia e marés de Quadratura. Aqui será também um bom momento para mencionarmos a supremacia da ação lunar em relação à solar no efeito de maré, e isso levanta a possibilidade de um novo desequilíbrio cognitivo. Ao tratarmos da relação entre as marés solar e lunar, podemos sugerir que os alunos calculem o valor da força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol, separadamente, sobre uma massa qualquer na superfície da Terra. Isso mostraria que a força do Sol é bem maior

do que a força da Lua (ver Cap. 1), então estaríamos induzindo a mais um impasse para avançarmos à etapa da dedução da expressão da **Força de Maré** (esta dedução também se encontra no capítulo 1).

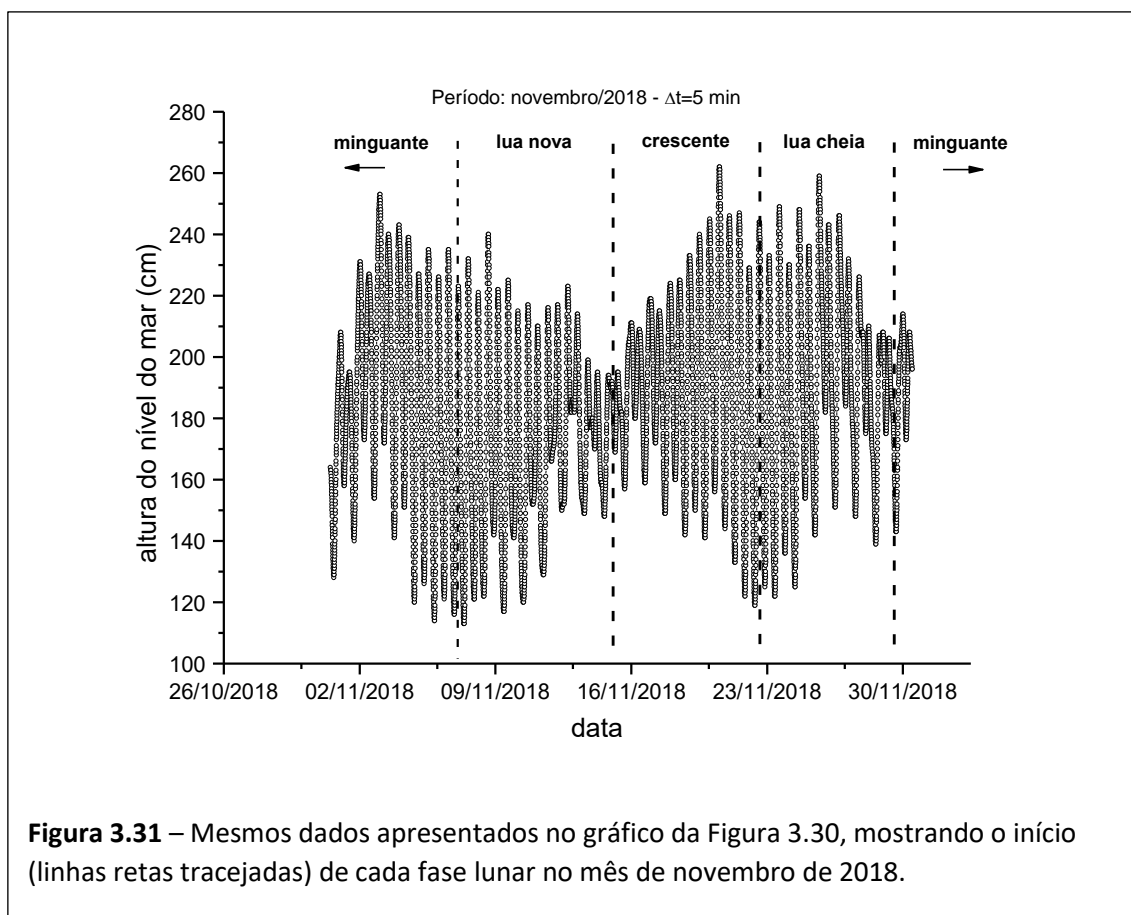


Figura 3.31 – Mesmos dados apresentados no gráfico da Figura 3.30, mostrando o início (linhas retas tracejadas) de cada fase lunar no mês de novembro de 2018.

3.8 – Oitava Etapa: elaboração do modelo de equilíbrio

Etapa de elaboração do *modelo de equilíbrio* e dedução da força que impele o movimento de maré, a força de maré, tal como apresentamos no capítulo 1. Não fazemos nenhuma sugestão em especial sobre essa etapa uma vez que seu planejamento é muito dependente do público alvo. Acreditamos que é possível também se limitar a uma discussão mais qualitativa mostrando a importância da força centrífuga e a não uniformidade na distribuição da força de atração gravitacional, tanto da Lua quanto do Sol, ao longo da superfície do planeta.

3.9 – Nona Etapa: uma proposta simples de simulação do modelo astronômico

Logo do primeiro contato com um gráfico das marés, é possível perceber que estamos lidando com um fenômeno periódico e com períodos bem definidos. Então, uma atividade interessante seria simular matematicamente o movimento de maré em função das conclusões obtidas com o modelo.

Uma função periódica $y = f(x)$ é a função cujo comportamento se repete para determinados valores de x , isto é, existe um valor mínimo T para o qual $f(x) = f(x+T)$ para todo x . T é denominado o período de $f(x)$. As funções trigonométricas Seno e Cosseno têm esta propriedade e podem modelar um fenômeno periódico, como é o caso das marés.

A função,

$$y = \sin\left(\frac{2\pi}{T}x\right)$$

é uma função periódica de período T . Para relacionarmos esta função com as marés, precisamos definir quem é o período deste fenômeno observado por nós, e quais são os valores de x que faremos variar para montarmos uma tabela no Excel. A partir desta tabela, vamos construir um gráfico para compararmos com os gráficos das marés que observamos ao longo da sequência.

Como sabemos, o comportamento das marés se repete a cada 12 horas aproximadamente e sua causa depende de dois agentes basicamente: a Lua e o Sol. Como cada astro é responsável por uma parcela das marés, na verdade temos dois fenômenos periódicos independentes que se somam resultando as marés observadas. Então, podemos modelar uma função periódica que seja a soma das funções que representem as ações lunar e solar.

De acordo com a teoria sobre as marés descrita neste trabalho, a formação do bojo de maré será motivada pela passagem do astro causador (lua ou Sol) pelo meridiano daquela região, e pelo meridiano da localidade diametralmente oposta. Ou seja, quando a Terra dá meia volta em relação ao Sol ou à Lua, o comportamento da maré volta a se repetir. Então, já temos o período das marés: meio dia.

Porém, meio dia solar e meio dia lunar correspondem a intervalos de tempo diferentes, porque a Lua se desloca consideravelmente em relação à

Terra (esta explicação foi feita com detalhes no capítulo 1). Então, o meio dia solar é de 12 horas e o meio dia lunar é de, aproximadamente 12,5 horas.

Aplicando estes valores na equação acima, e supondo $\pi \approx 3,14$, teremos que

$$y_{\text{sol}} = \sin(0,5233 \cdot x)$$

$$y_{\text{lua}} = \sin(0,5024 \cdot x)$$

$$y_{\text{total}} = y_{\text{sol}} + y_{\text{lua}}$$

Então, podemos fazer um gráfico para y_{total} e analisar seu comportamento. No entanto, precisamos estabelecer quais valores de x vamos usar, para montarmos uma tabela e daí selecionarmos os valores para a construção gráfica. No caso, o valor de x corresponde às horas que se passam ao longo do tempo que vamos querer analisar no gráfico. Se vamos montar a tabela para analisar um dia, podemos colocar valores de 1 a 24. Se quisermos analisar uma semana, deveremos criar uma tabela com valores de 1 a 168 (quantidade de horas em uma semana), e se quisermos analisar os valores em um mês, deveremos usar x variando de 0 a 719 (considerando o mês padrão de 30 dias), sempre colocando em horas, porque estamos usando o período em horas.

Para criar este gráfico com o Excel, basta seguir os seguintes passos:

- Colocar na primeira coluna os valores de 0 a 23. Para tornar mais prático, coloque 0, 1, e 2 nas três primeiras linhas, selecione os três valores, coloque o cursor do *mouse* no canto inferior direito da célula que contém o número 3 e pressione o botão esquerdo. Com o botão pressionado, arraste para baixo até a linha 24.
- Na primeira célula da coluna B siga o seguinte comando: = sen(0,5233*A1)+sen(0,5024*A1).
- Depois de ter colocado a função nesta primeira célula da coluna B, coloque o cursor no seu canto inferior direito até que apareça a cruz preta, e clique duas vezes com o botão esquerdo.

Depois de criada a tabela, vamos inserir uma linha acima dos valores para colocar as denominações x e y .

A seguir, vamos selecionar as duas colunas e clicar em **Inserir, Gráficos recomendados**. Esta opção já coloca a primeira coluna no eixo horizontal e a segunda coluna no eixo vertical. Vamos escolher o gráfico do tipo **Linha**, que é a quarta opção.

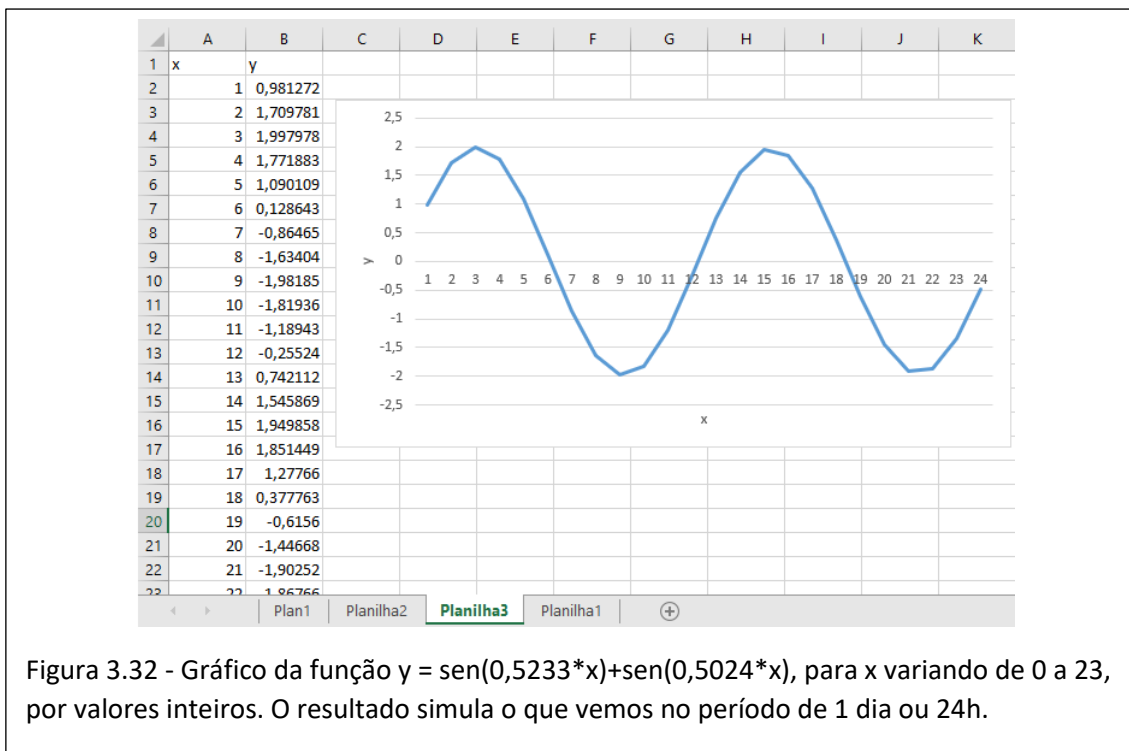


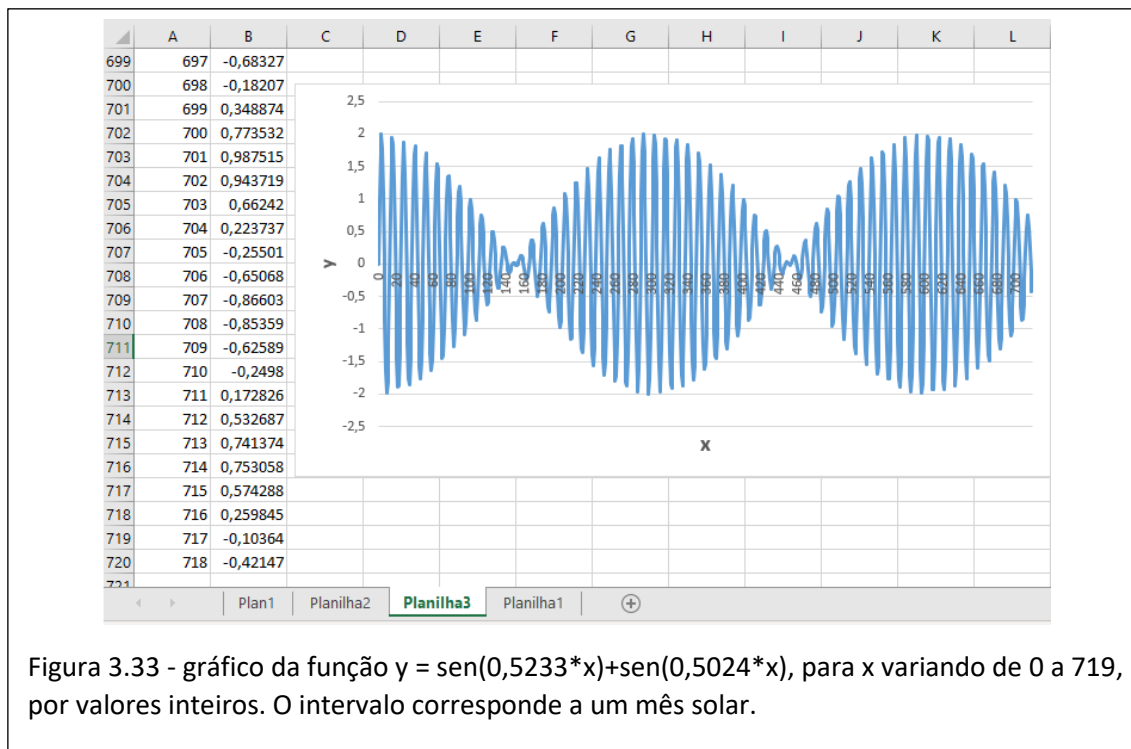
Figura 3.32 - Gráfico da função $y = \text{sen}(0,5233*x) + \text{sen}(0,5024*x)$, para x variando de 0 a 23, por valores inteiros. O resultado simula o que vemos no período de 1 dia ou 24h.

Comparando com o gráfico da Figura 3.28, podemos observar que o comportamento é muito similar.

Para fazermos esta análise em um mês, basta acrescentarmos valores à coluna de x até completar 719, e colocarmos os valores de y correspondentes. Para isso, sigas os seguintes passos:

- Vamos selecionar todos os valores da coluna x, em seguida vamos colocar o cursor no canto inferior direito da última célula desta coluna e pressionar o botão esquerdo do mouse. Enquanto pressionamos, vamos arrastar até a linha A720.
- Agora, na célula da linha 24 da coluna y, vamos colocar o cursor no canto inferior direito para que apareça a cruz preta, e vamos dar dois cliques com o botão esquerdo.

Feitos estes procedimentos, a tabela será criada com valores correspondentes a um mês. Agora faremos o mesmo procedimento para a criação do gráfico recomendado.



A figura simulada é muito parecida com o gráfico observado na Figura 3.31 das marés em um mês obtidos com o marégrafo da Ponta da Armação.

3.10 – Décima Etapa: investigando o comportamento da maré em dois pontos diferente da Baía da Guanabara.

Agora que já temos uma base de informações sobre as marés e suas principais causas, vamos tratar de um problema mais específico que é a comparação das marés de dois locais distintos. Esta etapa é complementar, na medida que procura investigar aspectos mais realistas do fenômeno das marés.

Nesta formulação da proposta geral, a utilização do marégrafo sônico é deixada para esta etapa final. Aqui apresentamos o projeto do marégrafo construído para este trabalho, a tecnologia envolvida para a construção e a física que diz respeito ao comportamento cinemático do pulso sonoro e sua relação

com as alturas registradas pelo marégrafo (esta explicação consta no Apêndice 1).

No capítulo 2, a Figura 2.1 mostra uma imagem da vista superior da Baía de Guanabara destacando as posições onde se encontram a Ponta da Armação e o CIAGA. Como o marégrafo da Marinha está mais para a entrada da Baía do que o marégrafo do projeto, que está mais próximo do fundo da Baía, nós esperamos que a formação de *correntes de maré* possa produzir a preamar na Ponta da Armação em um instante diferente do registro feito no CIAGA. Esse é ponto central da investigação nesta última etapa.

Então, a proposta é começar a aula mostrando esta figura supracitada e colocar o seguinte problema: **descubra se há alguma defasagem entre as marés na Ponta da Armação e as marés no CIAGA.**

Tarefa básica desta etapa é pedir que a turma construa o gráfico com os dados de marés do nosso marégrafo. O procedimento é idêntico ao empregado com os dados fornecidos pelo CHM.

Para ilustrar o tipo de resultado que podemos encontrar selecionamos uma coleta de dados realizadas no marégrafo sônico do CIAGA no período de **14/11/2018 à 27/11/2018**. O gráfico de maré encontrado é mostrado na Figura 3.34. A diferença que temos nos dados coletados no CIAGA é que o intervalo dos registros era de 30s.

Vamos proceder a comparação dos gráficos obtidos a partir dos marégrafos da Ponta da Armação e do CIAGA para verificarmos se há ou não defasagem entre estes dois pontos da Baía de Guanabara.

Posto o problema, é possível que uma mediação seja necessária para orientar a turma na escolha dos métodos usados na busca pela resposta. E a primeira coisa é eles perceberem que precisam comparar os dados do mesmo período dos dois marégrafos. Chegando a esta conclusão, eles podem optar por analisar os instantes de cada baixa mar e de cada preamar nas tabelas dos dois marégrafos para observarem se há alguma defasagem perceptível, ou usarem os gráficos sobrepostos para analisarem se os picos se encontram defasados.

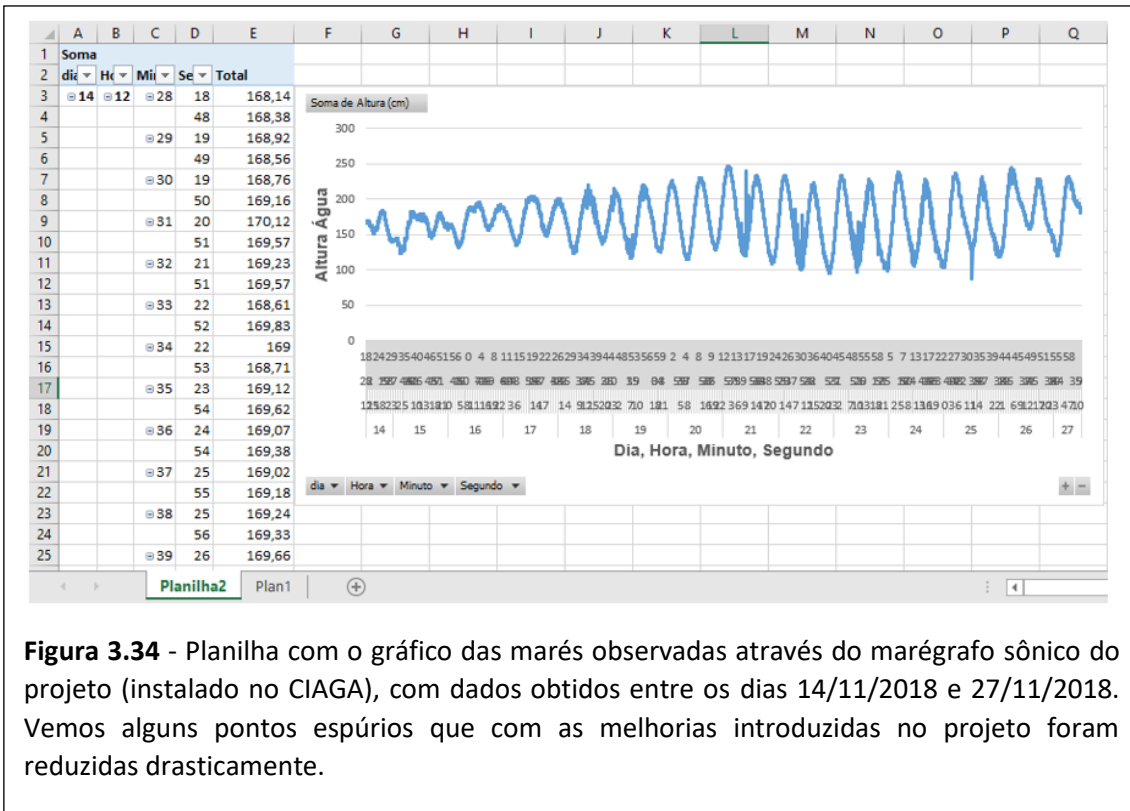


Figura 3.34 - Planilha com o gráfico das marés observadas através do marégrafo sônico do projeto (instalado no CIAGA), com dados obtidos entre os dias 14/11/2018 e 27/11/2018. Vemos alguns pontos espúrios que com as melhorias introduzidas no projeto foram reduzidas drasticamente.

Para comparar os dois gráficos, uma forma muito interessante seria plotar os dois juntos na mesma planilha do Excel e isto é possível, desde que estejamos lidando com valores de abcissas iguais. Porém, os dados da Marinha são registrados de cinco em cinco minutos, e os dados do marégrafo sônico, a cada trinta segundos. Logo, não teremos como comparar diretamente na mesma planilha do Excel. Então precisaremos olhar os gráficos separadamente, comparando os instantes em que acontecem os picos nos dois e observar se há ou não defasagem. Vamos propor que os alunos analisem dia a dia, observando os instantes das baixas e das altas das marés.

Para facilitar nossa análise dos picos no gráfico, podemos usar uma linha pontilhada descendo do gráfico até o eixo horizontal para servir de orientação. Estas formas podem ser inseridas no Excel indo em **Inserir, Ilustrações, Formas, Linhas**. Vamos pegar o dia 20/11/2018 como exemplo, porque temos o gráfico bem definido devido à maior amplitude das marés neste período. Os dados fornecidos pelos marégrafos oficiais da Marinha não levam em conta o horário de verão, então “para obter o horário correto das alturas da maré (...) os

usuários devem somar 1 (uma) hora às fornecidas” (BRASIL, 2014). O marégrafo usado pelo projeto tem a hora ajustada levando em consideração a mudança de horário prevista para o período, então precisaremos fazer o ajuste em um dos conjuntos de dados. Vamos optar por ajustar os dados da Ponta da Armação. Abaixo vamos mostrar o passo a passo para isso.

1 – Criar uma coluna **Correção**

- Na primeira coluna vazia da planilha já criada com os dados do marégrafo da Ponta da Armação vamos criar uma coluna com o nome de **Correção**.
- Vamos colocar na primeira célula o valor 1.

Colocar o cursor do *mouse* no canto inferior direito da célula e dar dois cliques com o botão esquerdo para que este valor seja replicado para todas as células da coluna.

2 – Criar uma coluna **Hora Corrigida**

- Na coluna à direita vamos colocar o nome de **Hora Corrigida**.
- Na primeira célula vamos colocar a função $=D_2+G_2$. Isso pode ser feito colocando o sinal de igual, clicando na célula **D₂** (primeiro valor de **Hora**) e, em seguida, clicar na célula **G₂** (primeiro valor de **Correção**)

Colocar o cursor do *mouse* no canto inferior direito da célula e clicar duas vezes com o botão esquerdo.

A figura 3.35 representa como ficaria a tabela com as devidas correções. Mas aqui surgirá a necessidade de outro ajuste, porque ao adiantar em uma hora o relógio, a hora 23:00 de um dia passa a ser a hora 00:00 do dia seguinte, mas diante da nossa correção, teremos a hora 24:00 ao invés da 00:00. Então precisaremos substituir todos os valores 24 pelos valores 0 na coluna **Hora Corrigida** e mudar o dia correspondente a estas horas para o dia seguinte. Na figura 3.36 estão marcadas as linhas correspondentes ao dia 29 no intervalo de horas 24. Vamos precisar modificar estes dias para 30 e as horas para 0. Observe a figura 3.37.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dia	Mês	Ano	Hora	Minuto	Altura (cm)	Correção	Hora corrigida
2	1	11	2018	0	0	164	1	1
3	1	11	2018	0	5	163	1	1
4	1	11	2018	0	10	163	1	1
5	1	11	2018	0	15	163	1	1
6	1	11	2018	0	20	163	1	1
7	1	11	2018	0	25	163	1	1
8	1	11	2018	0	30	163	1	1
9	1	11	2018	0	35	163	1	1
10	1	11	2018	0	40	162	1	1
11	1	11	2018	0	45	162	1	1
12	1	11	2018	0	50	161	1	1
13	1	11	2018	0	55	161	1	1
14	1	11	2018	1	0	160	1	2
15	1	11	2018	1	5	160	1	2
16	1	11	2018	1	10	159	1	2
17	1	11	2018	1	15	158	1	2
18	1	11	2018	1	20	158	1	2
19	1	11	2018	1	25	157	1	2
20	1	11	2018	1	30	156	1	2
21	1	11	2018	1	35	155	1	2

Figura 3.35 - Figura: planilha de Excel com os dados da Ponta da Armação devidamente corrigidos em relação ao Horário de Verão.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8336	29	11	2018	22	30	184	1	23	
8337	29	11	2018	22	35	184	1	23	
8338	29	11	2018	22	40	184	1	23	
8339	29	11	2018	22	45	184	1	23	
8340	29	11	2018	22	50	184	1	23	
8341	29	11	2018	22	55	184	1	23	
8342	29	11	2018	23	0	183	1	24	
8343	29	11	2018	23	5	183	1	24	
8344	29	11	2018	23	10	183	1	24	
8345	29	11	2018	23	15	183	1	24	
8346	29	11	2018	23	20	183	1	24	
8347	29	11	2018	23	25	183	1	24	
8348	29	11	2018	23	30	182	1	24	
8349	29	11	2018	23	35	182	1	24	
8350	29	11	2018	23	40	182	1	24	
8351	29	11	2018	23	45	182	1	24	
8352	29	11	2018	23	50	181	1	24	
8353	29	11	2018	23	55	181	1	24	
8354	30	11	2018	0	0	180	1	1	
8355	30	11	2018	0	5	180	1	1	
8356	30	11	2018	0	10	179	1	1	
8357	30	11	2018	0	15	179	1	1	
8358	30	11	2018	0	20	178	1	1	

Figura 3.36 - Dados com as horas 24 que deverão ser transformadas em hora 0.

Feito todo este processo, vamos construir o gráfico com as horas devidamente corrigidas no intervalo que nos interessa. Os resultados para as duas estações são mostrados nas Figuras 3.38 e 3.39.

	A	B	C	D	E	F	G	H
8336	29	11	2018	22	30	184	1	23
8337	29	11	2018	22	35	184	1	23
8338	29	11	2018	22	40	184	1	23
8339	29	11	2018	22	45	184	1	23
8340	29	11	2018	22	50	184	1	23
8341	29	11	2018	22	55	184	1	23
8342	30	11	2018	23	0	183	1	0
8343	30	11	2018	23	5	183	1	0
8344	30	11	2018	23	10	183	1	0
8345	30	11	2018	23	15	183	1	0
8346	30	11	2018	23	20	183	1	0
8347	30	11	2018	23	25	183	1	0
8348	30	11	2018	23	30	182	1	0
8349	30	11	2018	23	35	182	1	0
8350	30	11	2018	23	40	182	1	0
8351	30	11	2018	23	45	182	1	0
8352	30	11	2018	23	50	181	1	0
8353	30	11	2018	23	55	181	1	0
8354	30	11	2018	0	0	180	1	1
8355	30	11	2018	0	5	180	1	1
8356	30	11	2018	0	10	179	1	1
8357	30	11	2018	0	15	179	1	1
8358	30	11	2018	0	20	178	1	1

Figura 3.37 – A hora 24 corrigida para 0 e dia 29 corrigido para 30.

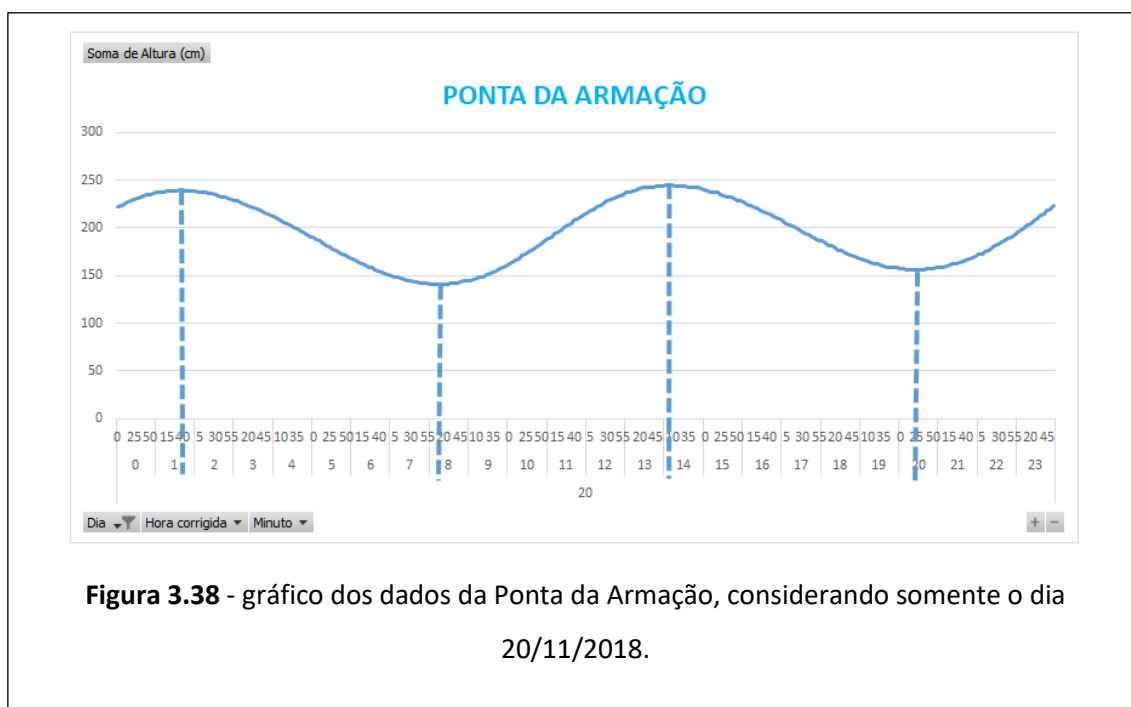


Figura 3.38 - gráfico dos dados da Ponta da Armação, considerando somente o dia 20/11/2018.

Em uma primeira análise dos instantes em que ocorrem as marés altas e as baixas para os dois marégrafos, podemos observar que, ao menos as horas

coincidem para os dois gráficos, então precisaremos olhar as horas 1, 8, 14 e 20 nos dois gráficos para ver se há diferença de minutos.

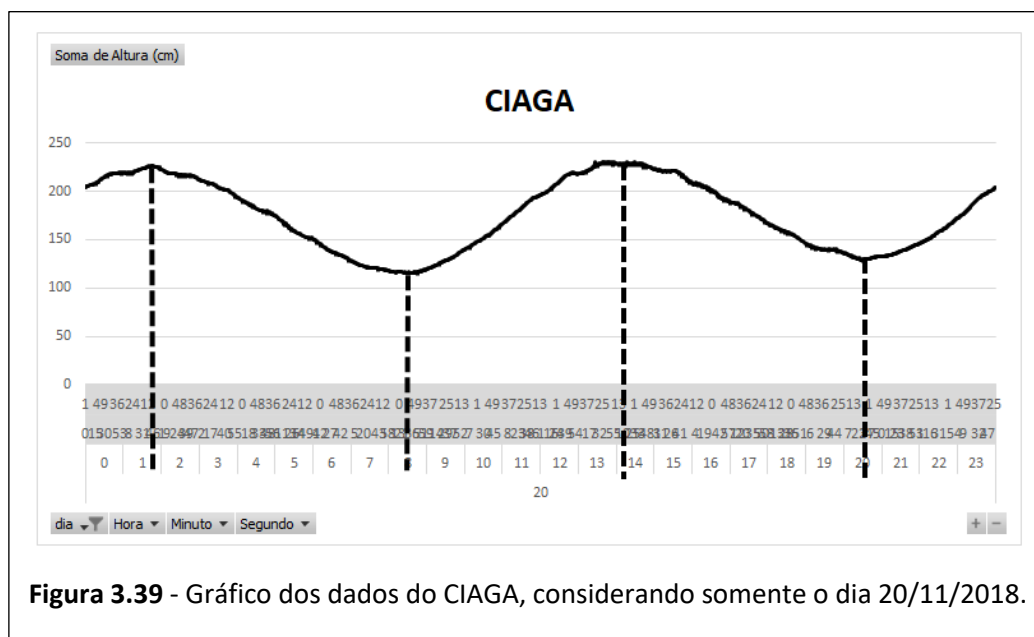


Figura 3.39 - Gráfico dos dados do CIAGA, considerando somente o dia 20/11/2018.

3.10.1 – Análise da hora 1

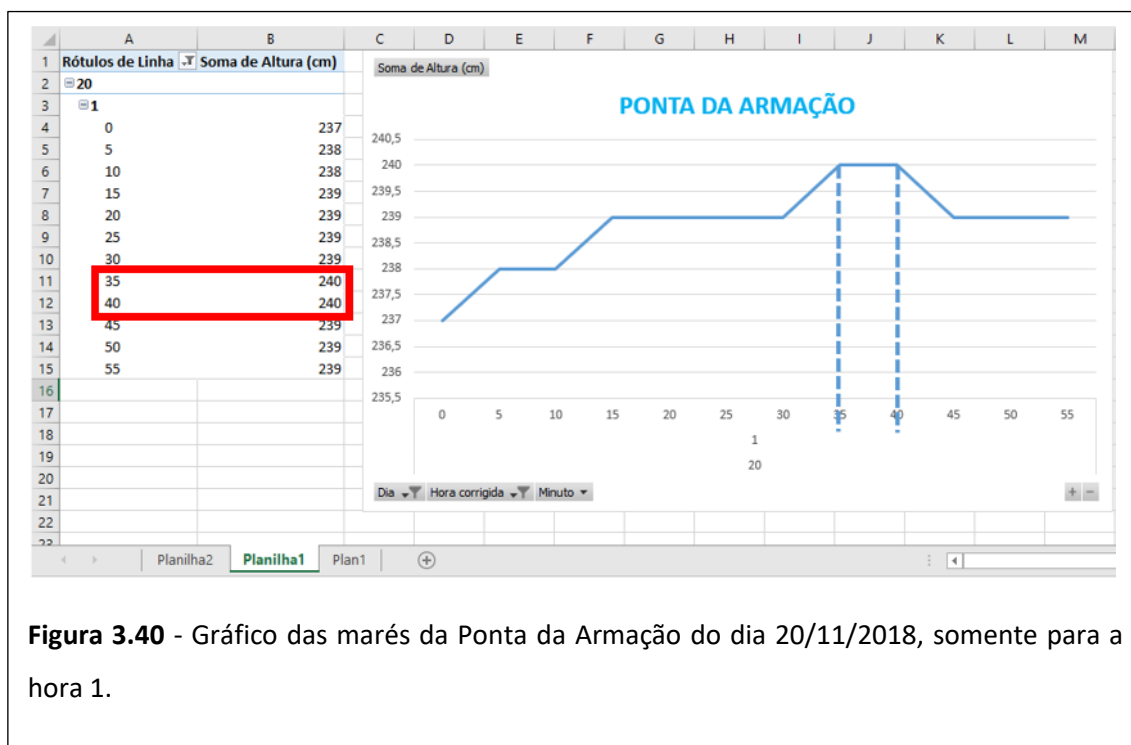


Figura 3.40 - Gráfico das marés da Ponta da Armação do dia 20/11/2018, somente para a hora 1.

No gráfico, os valores do eixo horizontal são, de baixo para cima, do dia (20), hora (1) e minutos (0 a 55). O gráfico do marégrafo da Ponta da Armação

(Fig. 3.40) é muito bem definido e relacionando com os valores da tabela, podemos ver que tanto no minuto 35 quanto no minuto 40, o valor é 240 cm de altura (o maior neste intervalo, logo, a primeira maré alta do dia). Podemos tomar como uma primeira medida a posição do pico no meio do intervalo: 1h 37 min. Podemos pensar numa forma mais elaborada para essa medida que leve em consideração um número maior de dados, mas por hora achamos mais conveniente um critério mais simples baseado na observação do gráfico.

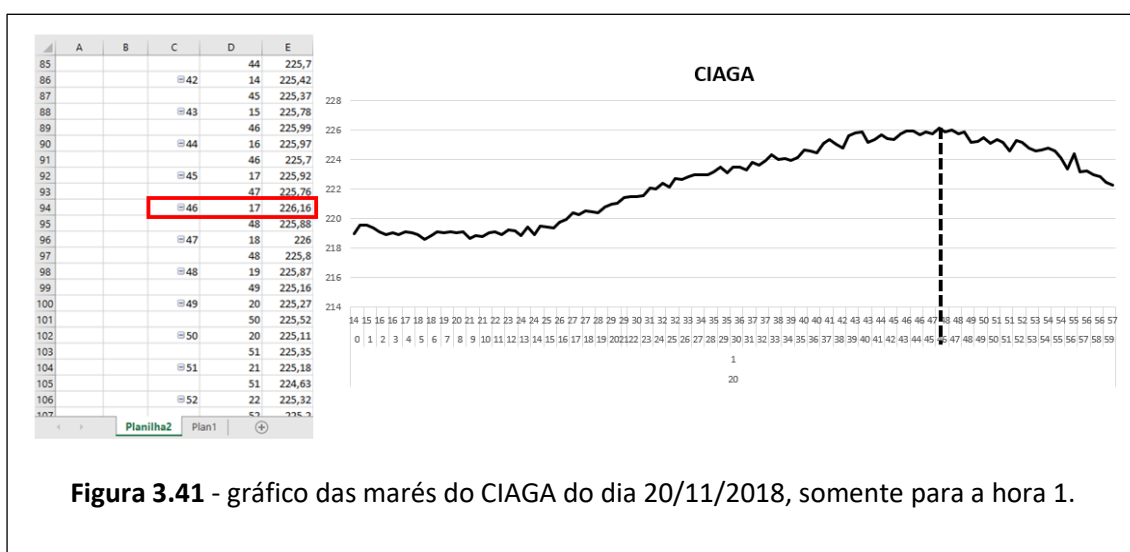


Figura 3.41 - gráfico das marés do CIAGA do dia 20/11/2018, somente para a hora 1.

Com o marégrafo do CIAGA (Fig. 3.41) temos duas medidas para cada minuto, e uma dispersão de dados um pouco maior. Vale observar que a ordem para os valores do eixo horizontal é, de baixo para cima, dia (20), hora (1), minutos (0 a 59) e segundos.

O maior valor neste intervalo é de 226,16 cm, que acontece no minuto 46, aos 17 segundos. Entretanto, temos que considerar o registro da altura como sendo confiável até a casa do centímetro e não do décimo ou centésimo. Isso é uma consideração feita sobre as características do sensor ultrassônico descrito no Apêndice 1 e nas características da grandeza medida. Nas próximas versões os dados serão gravados sem as casas decimais. Podemos estimar o horário da maré alta como 1h 46 min.

Observando estes gráficos, vemos que há uma diferença entre as altas que pode ser estimada em 10 minutos e que esta alta é observada primeiro na Ponta da Armação.

Então vamos analisar a hora 8 e fazer a medida.

3.10.2 – Análise da hora 8

Vemos que o baixamar ocorre após as 8h. Neste caso, entre o minuto 0 e o minuto 25 onde temos o registro do valor 141 cm, que é a primeira maré baixa do dia. Podemos tomar o centro do intervalo e registrar o valor: 8h 12 min.

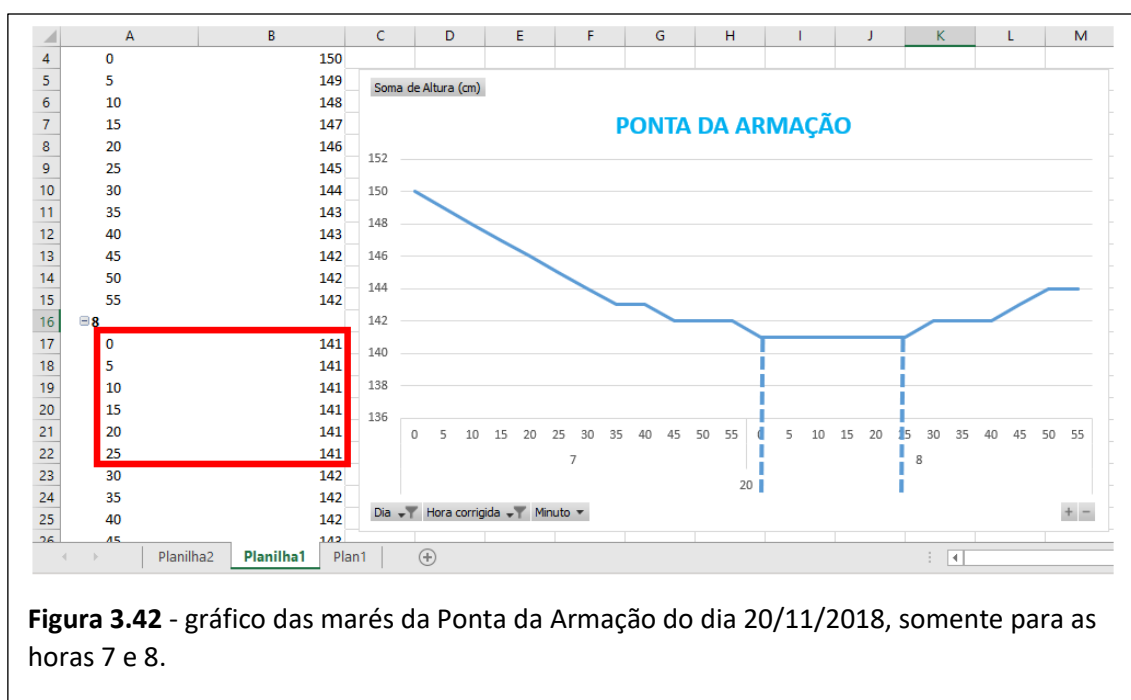


Figura 3.42 - gráfico das marés da Ponta da Armação do dia 20/11/2018, somente para as horas 7 e 8.

A primeira baixa mar do dia 20 registrada no marégrafo do CIAGA foi no minuto 29 da oitava hora. O valor foi de 115,37 cm. Observe, porém, que não há uma descida de valores consistente antes desta baixa, porque podemos observar muita oscilação (embora pequena) entorno do valor, o mesmo acontecendo depois desta baixa, quando a maré volta a subir. Podemos tomar como estimativa o horário da baixa como 8h 29 min.

Analisando, há uma diferença na baixa estimada em 17 minutos com a baixa observada na Ponta da Armação sendo anterior à observada no CIAGA.

O mesmo procedimento pode ser observado para os picos seguintes. Podemos reunir esses resultados na tabela seguinte:

Data: 20 de novembro de 2018			
	Ponta da Armação	CIAGA	Diferença
Preamar I	1h 37min	1h 46 min	+ 11 min
Baixamar I	8h 12min	8h 29min	+ 17 min
Preamar II	14h 5min	13h 47min	- 18 min
Baixamar II	20h 23min	20h 29min	+ 6 min

Esses resultados preliminares mostram o que os alunos poderiam encontrar nesta investigação. Eles servem para concluir algumas coisas interessantes:

- Os resultados sugerem que existe uma diferença entre os horários da preamar e baixamar observados entre a Ponta da Armação e o CIAGA. Essa diferença não é constante e parece ter um caráter complexo que precisa ser estudado para um número maior de dias.
- Se faz necessário melhorar o método para medir os pontos de preamar e baixamar. Esse método deve ser menos visual e levar em conta um número maior de dados. As medidas devem ser aferidas no marégrafo ultrassônico e a precisão final deve ser levada em conta.
- A diferença entre os horários deve estar ligada à formação de *correntes de maré* que se formam na Baía de Guanabara. Se for assim, abre-se espaço para aprofundar a investigação sobre essas correntes tanto no fluxo (entrada das águas) quanto no refluxo (saída das águas).

Com relação a esses dados é importante um esclarecimento complementar. Devido a limitações técnicas os dados do marégrafo sônico não foram corrigidos pela variação da temperatura do ar. Essa correção só foi implementada posteriormente, mas acreditamos que, mesmo com essas correções, teríamos observado essa defasagem.

3.11 - Considerações

O desenvolvimento deste terceiro capítulo buscou organizar uma sequência didática que oriente a aplicação de atividades à base de investigações sobre as marés. No entanto, devemos ter em mente que adaptações e modificações sempre serão bem-vindas para que o trabalho possa ser adequado à realidade de cada professor e cada escola. É perfeitamente plausível que usemos apenas partes da sequência, que encurtemos alguma etapa, ou que acrescentemos outras para um estudo mais completo.

Situações como a viabilidade das turmas fazerem as visitas sugeridas, o acesso dos alunos às ferramentas digitais fora e dentro da escola (computador e smartphone com acesso à internet, por exemplo), são coisas que deverão ser levadas em conta quando houver a pretensão de aplicar o projeto, para que alternativas sejam criadas.

Além disso, os resultados práticos desta sequência carecem de medidas, porque apenas partes pequenas dela foram aplicadas em sala de aula, então teremos a missão de obter dados e estudar o impacto desta proposta no ensino das marés. A resolução dos problemas propostos ao longo da sequência poderá servir como parâmetro do quanto os alunos estão evoluindo ao longo da aplicação, mas a verificação efetiva do aprendizado é algo que também precisa de aperfeiçoamento para que a sequência seja avaliada enquanto proposta pedagógica.

Fato é que um assunto tão interessante quanto a maré tem um poder enorme no encantamento junto aos alunos e no despertar do interesse em desenvolver os estudos sobre o fenômeno. Então, que mais estudos e novas sequências surjam no sentido de explorar o potencial deste assunto e todas as habilidades que ele pode ajudar a desenvolver nos alunos.

Apêndice A – Material Instrucional 1: Marégrafo Ultrassônico baseado na Arduino Uno

O marégrafo que vamos descrever a seguir foi projetado para ser aplicado em atividades educacionais. Procuramos dar ênfase na simplicidade de instalação e manutenção. Um dos problemas principais de sua aplicação em escolas é a dificuldade natural de se conseguir um lugar de observação das marés. Dificilmente uma escola dispõe de um acesso direto ao mar em suas dependências e será necessário, para aplicação do projeto descrito nesta tese, estabelecer uma colaboração com uma outra entidade. Nesse sentido, é importante que o marégrafo seja modular, de fácil instalação e manutenção, seja autossustentável em relação ao fornecimento de energia elétrica e de armazenamento de dados. Consideramos assim que o projeto não deveria depender de uma tomada local de energia elétrica e, tão pouco, de um acesso à rede internet via conexão *wi-fi* para o envio dos dados.

O esquema básico do projeto pode ser resumido na Figura I-1. Um telêmetro mantido numa posição fixa, a uma altura H em relação ao nível médio do mar, emite um trem de pulsos ultrassônicos na direção vertical, de cima para baixo. Os pulsos são refletidos na superfície do mar e são captados pelo telêmetro, que mede assim o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção dos pulsos (Δt). A metade desse tempo multiplicado pela velocidade de propagação do som no ar livre (v_{som}) fornece a distância H (altura) percorrida. Essa distância serve como referência do nível do mar, ou intensidade da maré. Quanto menor essa distância, mais alto é o nível do mar em relação ao piso oceânico, e quanto maior essa distância, mais baixo é o nível do mar.

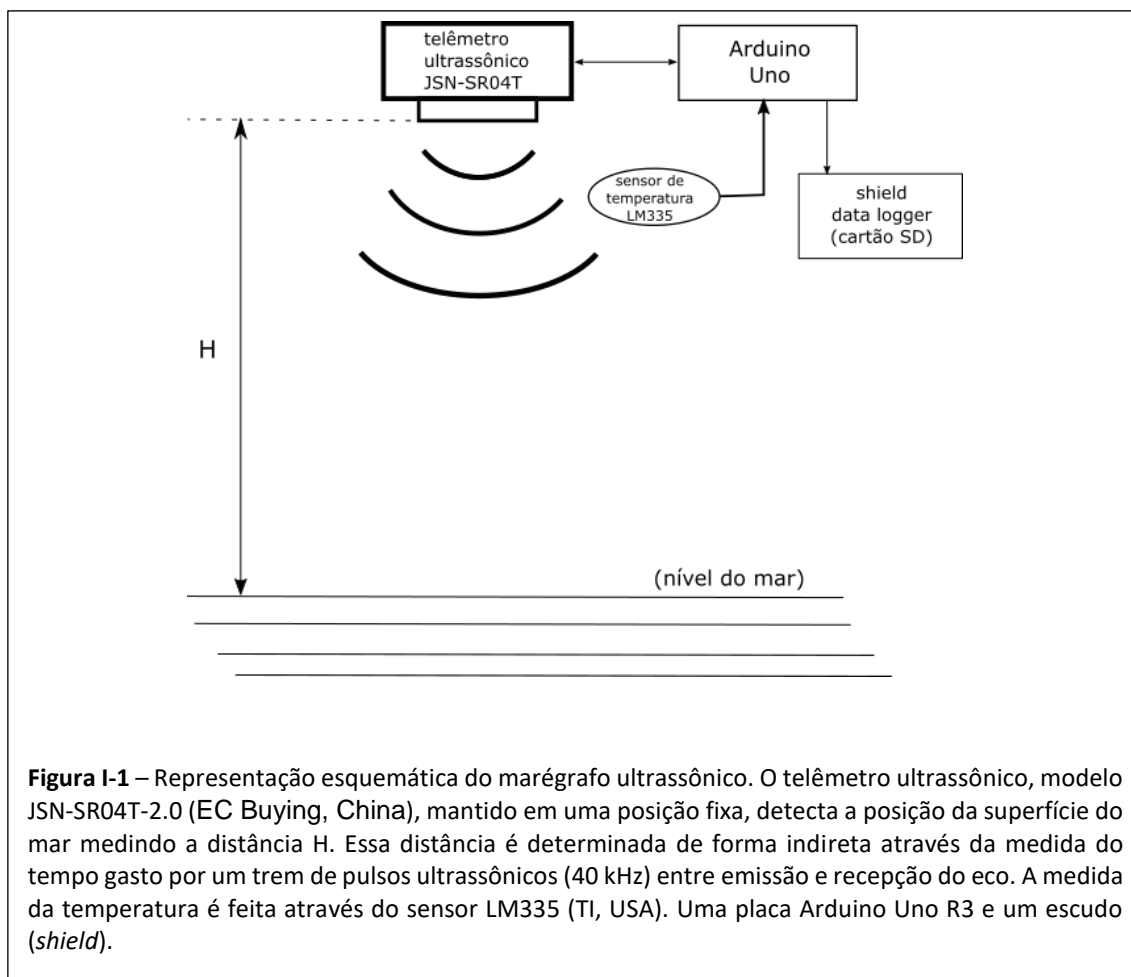
A altura H é dada pela relação, $H = v_{som} \cdot (\Delta t/2)$ [I.1]. A velocidade de propagação do som (v_{som}) depende da temperatura do ar através da relação,

$$v_{som} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad [I.2]$$

onde R é a constante universal dos gases, γ é a razão dos calores específicos molares, M é a massa molecular e T a temperatura absoluta, do ar [I-1]. Tomando

por base a velocidade de propagação do som no ar a 20°C de 343 m/s podemos reescrever a relação [I.2] como,

$$v_{som}(T) = 20,04 \cdot \sqrt{T} \quad (m/s) \quad [I.3]$$



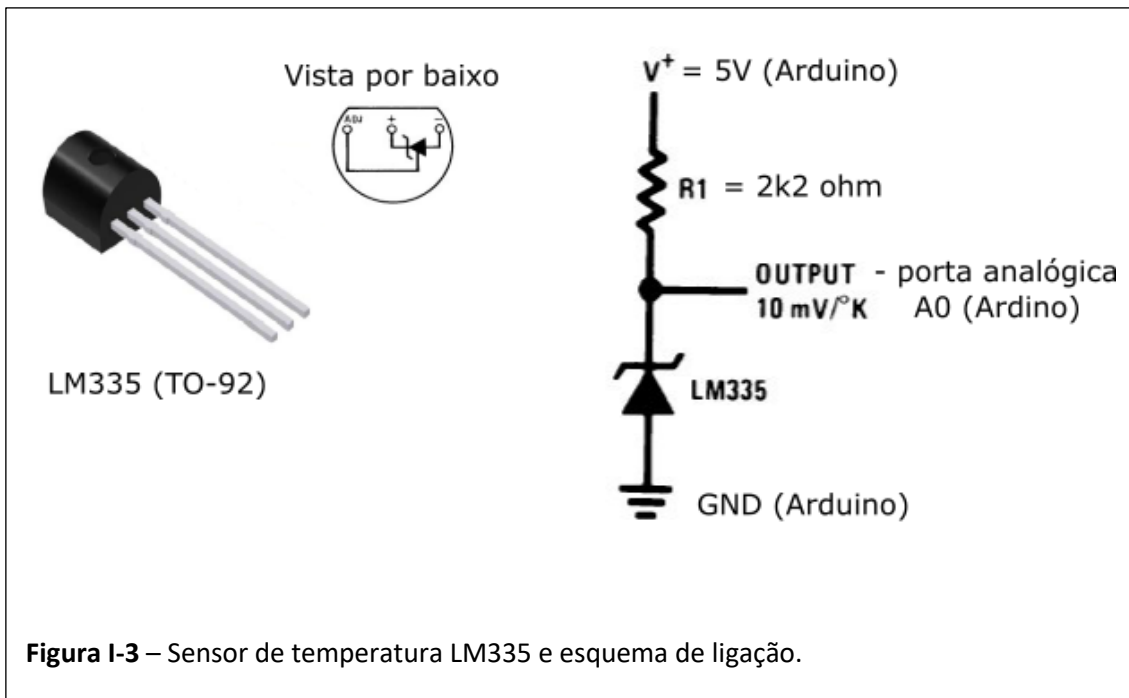
Na Figura I-2 mostramos o telêmetro ultrassônico JSN-SR04T-2.0. Diferente do telêmetro que o antecedeu, o modelo HC-SR04, este bem conhecido e com várias aplicações em atividades de ensino, possui um único sensor que atua como emissor e receptor de pulsos ultrassônicos. O sensor é encapsulado o que permite a sua aplicação em ambientes externos.

A alimentação de 5V é feita através da placa Arduino. Os pinos Trigger e Echo são controlados através das portas digitais D5 e D6 da placa Arduino, respectivamente.



Figura I-2 – Telêmetro JSN-SR04T-2.0, com a emissão e recepção de sinais ultrassônicos em uma única unidade encapsulada o que possibilita a sua utilização em ambientes externos. A pequena foto mostra o modelo antecessor HC-SR04, mais difundido, baseado em dois sensores independente atuando um como emissor e o outro como receptor. Os dois modelos são completamente compatíveis e podem ser facilmente intercambiados. No marégrafo em discussão, a alimentação de 5V e GND (*ground*) é suprida pela própria placa Arduino.

Um sensor de temperatura LM335 ($-40^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$, acurácia $\pm 1^{\circ}\text{C}$) da *Texas Instruments* (USA), com encapsulamento TO-92, é utilizado para monitorar a temperatura do ar. Na Figura I-3 mostramos o sensor e o esquema de ligação. Optamos por não usar o pino ADJ (*adjust*) que permite a calibração local do sensor através de um potenciômetro. Aproveitando a alta linearidade de resposta deste sensor, a temperatura é corrigida via software. Como comentamos acima, a temperatura é usada para corrigir a velocidade de propagação do som. Mais adiante veremos que, no software de controle, um primeiro registro de altura H é feito tomando por base a velocidade do som como fixa e igual a 344 m/s que corresponde a uma temperatura ambiente de aproximadamente 22°C . É somente na etapa posterior de análise dos dados que as alturas são recalculadas para a temperatura do momento. Considerando-se a amplitude térmica alcançada diuturnamente e ao longo de um registro contínuo de vários dias, essa normatização com a temperatura atual é importante. Na Tabela I-1 estão os endereços da web onde podem ser encontrados os *datasheets* de todos os sensores usados.



O escudo (shield) *data logger* para Arduino Uno utilizado neste projeto é um produto genérico que segue o modelo criado originalmente pela empresa Adafruit (USA). Este modelo se caracteriza por conter um relógio próprio que disponibiliza a data (dia-mês-ano) e a hora (hora-minuto segundo) no momento do armazenamento de uma dada grandeza física que esteja sendo monitorada. A unidade que executa esta função de relógio é o RTC DS1307. RTC é o acrônimo de *Real Time Clock* e DS1307 é código do circuito integrado, fabricado pela empresa Maxim Integrate (USA), que executa essa função. O relógio, de muito baixo consumo, é mantido por uma pequena bateria de 3V fixada no próprio shield e que garante funcionamento contínuo por mais de um ano. A unidade de armazenamento é um cartão de memória SD formatado em padrão FAT16 ou FAT32. Na Figura I-4 mostramos este shield data logger.

O circuito básico do marégrafo pode ser visto na Figura I-5. Nesta figura fazemos uma representação do circuito com auxílio do programa *Fritzing* [I-2] onde componentes passam a ser representados com sua forma real. No desenho mostramos a visão de cima para baixo do escudo data logger encaixado sobre a placa Arduino, ou seja, pinos macho do escudo se encaixam exatamente sobre a pinagem fêmea da placa Arduino que está abaixo e, portanto, não visível no desenho.

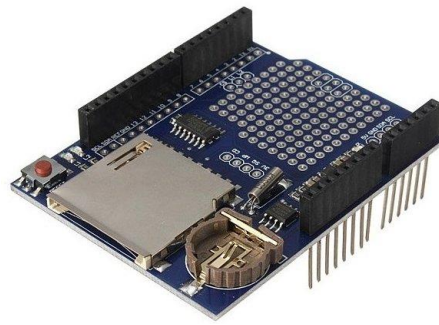


Figura I-4 – Escudo data logger para Arduino Uno. Na figura vemos o *slot* para cartão SD e o suporte para bateria modelo CR1220 de 3V. O escudo possui uma pequena área para prototipagem de grande utilidade.

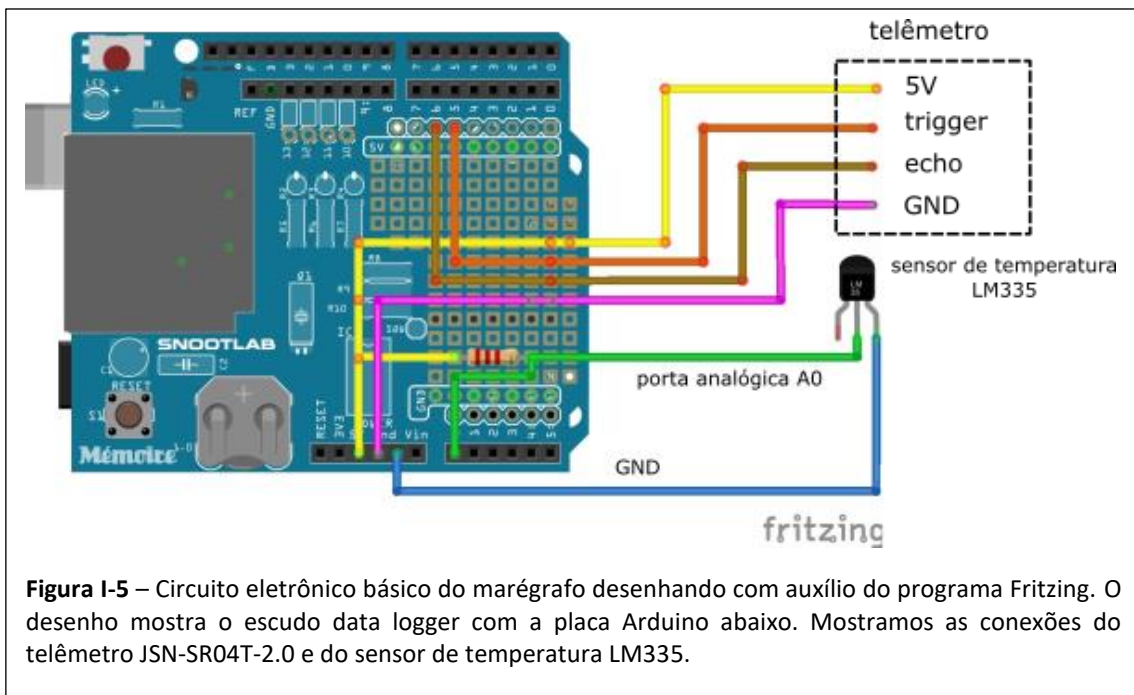


Figura I-5 – Circuito eletrônico básico do marégrafo desenhado com auxílio do programa Fritzing. O desenho mostra o escudo data logger com a placa Arduino abaixo. Mostramos as conexões do telêmetro JSN-SR04T-2.0 e do sensor de temperatura LM335.

AI-1 – O Watchdog

O circuito de controle do marégrafo mostrado na Figura I-5 foi programado para coleta de dados em períodos de 1/2 minuto durante intervalos, tipicamente, de uma ou duas semanas. Os dados são armazenados em cartão de memória SD de 8Gb. Um dos problemas deste método é a questão do travamento do microcontrolador: em períodos longos de coleta sequencial de dados de um

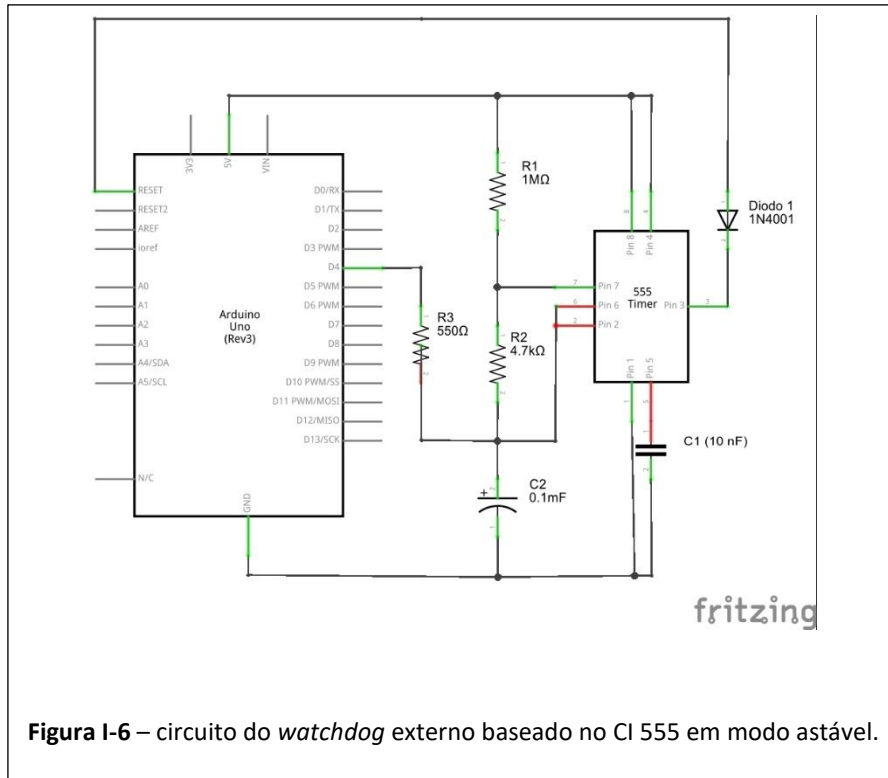
sensor é possível que ocorra travamentos da unidade de processamento, fato bastante conhecido por todos os projetistas de sistema de automação do controle de processos e coleta de dados. É bastante frustrante retornar ao marégrafo, após uma semana de espera, e verificar que está travado com uma coleta de dados que se resumiu as primeiras horas de funcionamento!

Para mitigar os problemas de travamento foram desenvolvidos vários recursos de hardware e software capazes de detectar a interrupção de execução do programa e agir de modo a reiniciá-lo. Um tal recurso é conhecido genericamente como “cão vigia”, ou em sua versão em inglês, *watchdog*. Existem vários tipos, mas nos parece que as soluções mais simples e confiáveis são aquelas constituídas de circuitos eletrônicos externos ao circuito monitorado, ou seja, soluções via hardware autônomo, ou externo, ao circuito principal. Neste projeto fizemos uso de um *watchdog* baseado no circuito integrado 555. Existem várias referências na internet sobre a solução que adotamos aqui [1-3,4,5], sobre o CI555 existem também muitas referências em livros e na internet e, portanto, damos aqui uma descrição simples e focada na aplicação. Na Figura 1-6 mostramos o circuito do *watchdog* baseado no CI 555 em modo astável. O desenho é em formato convencional, feito também com auxílio do programa Fritzing. A forma como pode ser construído e aplicado em cada projeto é bem flexível. Mais adiante vamos mostrar como foi aplicado no projeto atual.

Quando a placa Arduino é ligada, o capacitor C_2 começa a carregar através dos resistores R_1 e R_2 . O tempo efetivo de carga de C_2 neste circuito é dado por,

$$T_{carga} = 0,693(R_1 + R_2)C_2$$

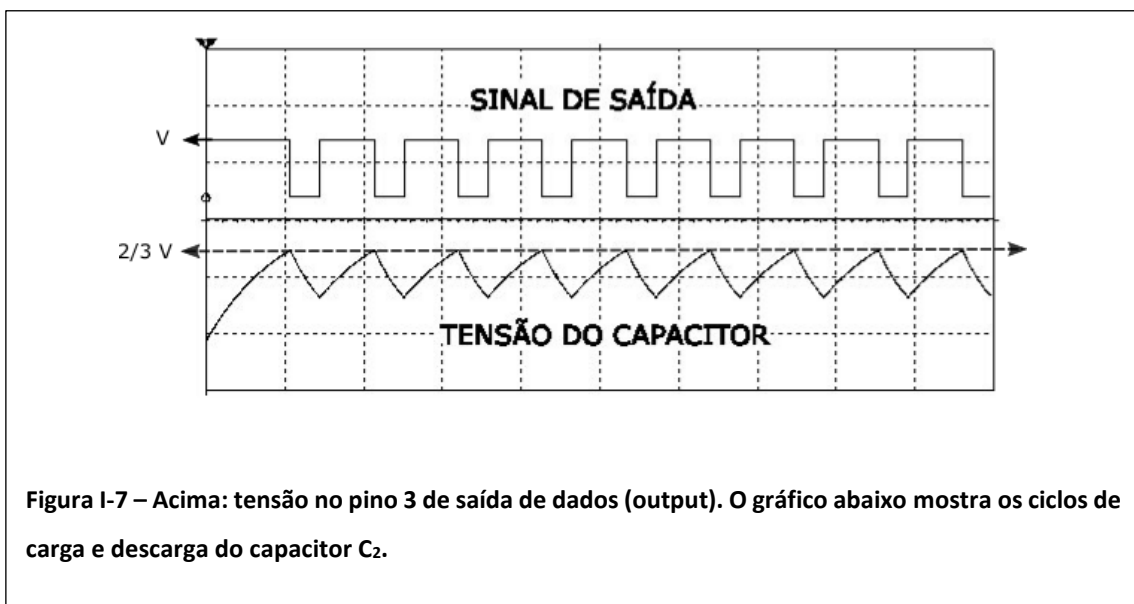
Para os valores indicados na figura $T_{carga} \approx 70$ s ou 1min 10s. Esse tempo, como veremos, marca o intervalo de observação: se o sistema travar, 70s após, o *watchdog* reinicializa a Arduino. Quando a tensão no pino 6 (pino *trigger*) atinge o valor de $2/3$ da tensão de alimentação (5V) o pino 7 (pino *discharge*) é levado ao estado baixo e o capacitor C_2 descarrega através da resistência R_2 .



O tempo de descarga é dado por,

$$T_{descarga} = 0,693 \cdot R_2 \cdot C_2$$

que para os valores indicados na figura é de 0,32 s. Com a descarga de C_2 todo o processo se reinicia. Se observamos a tensão no pino de saída, o pino 3 (pino *output*), veríamos algo como indicado na Figura I-7.



Como vemos na Figura I-6, o pino 3 (output) do 555 está ligado ao pino de RESET da placa Arduino através do Diodo 1. Como sabemos, a placa Arduino pode ser reinicializada apertando o botão de RESET ou através do pino de RESET. O pino de RESET fica normalmente no estado alto (HIGH). Se este pino é levado ao estado baixo (LOW), por uma ação externa, o programa é reinicializado. Assim, na sequência do que discutimos acima, toda vez em que se completar a descarga de C_2 a placa Arduino será reinicializada. Temos agora os elementos para entender como funciona o *watchdog*: para evitar que a placa Arduino seja reinicializada continuamente temos que criar no programa em execução um evento que evite que a tensão de carga de C_2 chegue a $2/3$ V (pino 6)! Esse truque é feito através do pino digital D4 da Arduino. Se colocamos o pino D4 no estado LOW forçamos a descarga do capacitor C_2 através do resistor R_3 . Essa descarga pode ser rápida e periódica de forma a manter a tensão no pino 6 (TRIGGER) do 555 abaixo de $2/3$ V. Se ocorrer um travamento na execução do programa a estância em que D4 é colocado em estado LOW não é executada e, portanto, a tensão de carga segue normalmente até atingir $2/3$ V. Com isso ocorre a reinicialização.

AI-2 – O programa (*sketch*)

Na sequência abaixo transcrevemos a última versão (4.0) do *sketch* de controle e aquisição de dados:

/*

Programa para armazenamento de dados de maré
em cartão de memória tipo SD - Versão 4.0 de 19/12/2018

Nesta versão 4.0 usamos um cartão datalogger que inclui um relógio (RTC- Real Time Clock) e implementamos um *watchdog* externo. Incluímos a medida da

temperatura da estação maregráfica com auxílio de um sensor LM335. Um fator de calibração é incluído para correção das medidas de temperatura via software.

O presente programa faz uso de contribuições de inúmeros autores sendo difícil uma referência de completa de todos. Assim sendo, os autores agradecem a grande comunidade de desenvolvedores de projetos para a plataforma Arduino que se caracteriza de forma notável pelo desprendimento, cooperação e generosidade.

Trabalho de tese do Prof. Rafael Guedes

Composição do circuito:

- * Telêmetro ultrassônico jsn-sr04t
- * Data Logging shield v1.0 - www.deek-robot.com
- * Sensor de temperatura LM335
- * watchdog baseado no CI 555.
- */

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
```

```
#define LOG_INTERVAL 30000 // intervalo entre leituras (30s)
```

```
#define echoPin 6 //Pino 6 recebe o pulso do echo
#define trigPin 5 //Pino 5 envia o sinal para gerar o pulso
```

```
float altura = 0;
long tempo = 0;
int Kelvin = 0; //temperatura ambiente em Kelvin
int dK = 0; // calibração da temperatura em Kelvin
```

```
// pinos usados para conectar os led's do data logger shield
#define redLEDpin 3
#define greenLEDpin 2
```

```
#define pinoDreno 4 // pino de dreno do watchdog
#define pinoKelvin 0 / pino analógico usado para o LM335
```

```
RTC_DS1307 RTC; // define um objeto do Real Time Clock
```

```
// pino 10 é usado pelo escudo data logging para gravação do cartão de memória
const int chipSelect = 10;
```

```
File logfile; // arquivo de armazenamento
```

```
void error(){
  //indicador de erro através do led vermelho do data logger
  for(uint8_t i = 0; i < 10; i++){
    digitalWrite(redLEDpin, HIGH);
    delay (1000);
    digitalWrite(redLEDpin, LOW);
  }
}
```

```
void watchdog(){
  //descarrega capacitor C2
  pinMode(pinoDreno, OUTPUT);
}
```

```

digitalWrite(pinoDreno, LOW);
delay (300);
//retorna o pino para alta impedância
digitalWrite(pinoDreno, HIGH);
}

void setup(){

//Ativa o watchdog
watchdog();

//Led's de controle (debugging)
pinMode(redLEDpin, OUTPUT);
pinMode(greenLEDpin, OUTPUT);

pinMode(chipSelect, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT); // define o pino 6 como entrada (recebe)
pinMode(trigPin, OUTPUT); // define o pino 5 como saída (envia)

// verifica se o cartão de memória pode ser inicializado
if (!SD.begin(chipSelect)) {
    error();
}

// cria arquivo novo
char filename[] = "LOGGER00.dat";
for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) {
    filename[6] = i/10 + '0';
    filename[7] = i%10 + '0';
    if (! SD.exists(filename)) {
        // verifica se o arquivo já existe,
        //o arquivo é aberto somente se não existe no cartão de memória
        logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
        break; // sai do loop.
    }
}

if (! logfile) {
    error();
}

// conecta o RTC.
Wire.begin();
RTC.begin();
logfile.println(" data, hora, Altura (cm), Temperatura(K)");
}

void loop(){
    DateTime now;

```

```

// intervalo entre leituras.
delay(LOG_INTERVAL);

digitalWrite(greenLEDpin, HIGH);

// registra o tempo atual.
now = RTC.now();

logfile.print("");
logfile.print(now.year(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.month(), DEC);
logfile.print("/");
logfile.print(now.day(), DEC);
logfile.print("");
logfile.print("  ");
logfile.print("");
logfile.print(now.hour(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.minute(), DEC);
logfile.print(":");
logfile.print(now.second(), DEC);
logfile.print("");
logfile.print(" ");

    digitalWrite(trigPin, LOW); //seta o pino 5 com um pulso baixo "LOW" ou
    desligado ou ainda
                                //0
    delayMicroseconds(5); // delay de 2 microssegundos
    digitalWrite(trigPin, HIGH); //seta o pino 5 com pulso alto "HIGH" ou ligado ou
    ainda 1
    delayMicroseconds(15); //delay de 12 microssegundos
    digitalWrite(trigPin, LOW); //seta o pino 5 com pulso baixo novamente
    long duration = pulseIn(echoPin,HIGH); //pulseIn lê o tempo entre a chamada
    //e o pino entrar em high

    altura = float(duration*0.0172);

//O cálculo da altura é baseado em  $s = v.t$ , lembrando que o tempo vem dobrado
//pois corresponde ao tempo de ida e volta do pulso. Velocidade do som = 344
//m/s.

    Kelvin = analogRead(pinoKelvin);
    Kelvin = int(Kelvin*5/10.23) - dK;

logfile.print(altura,2);
logfile.print(" ");
logfile.println(Kelvin);

digitalWrite(greenLEDpin, LOW);

```



```

// led pisca indicando a gravação dos dados
digitalWrite(redLEDPin, HIGH);
logfile.flush();
digitalWrite(redLEDPin, LOW);

watchdog();

}

```

A variável dK deve ser determinada, no início dos trabalhos de coleta de dados, por leitura direta da temperatura ambiente com auxílio de um termômetro calibrado. Devemos medir a temperatura registrada no sensor LM335 e determinar a discrepância com o valor obtido com o termômetro calibrado.

A listagem a seguir mostra uma típica saída de dados.

data,	hora,	Altura (cm),	Temperatura(K)
"2019/1/9"	"11:48:4"	213.88	303
"2019/1/9"	"11:48:34"	213.80	303
"2019/1/9"	"11:49:4"	213.25	303
"2019/1/9"	"11:49:35"	212.59	303

●●●

A constante LOG_INTERVAL determina a periodicidade em que as medidas são realizadas. Usamos o valor de 30000 ms, ou 30 s, o que é, de fato, um valor muito baixo para a maioria dos estudos que se deseje fazer sobre o comportamento das marés. Um valor de 5 minutos já seria bastante adequado. Entretanto, como há uma quantidade imprevisível de falhas, ou dados errados, uma frequência maior na coleta dos dados pode compensar essas falhas.

AI-3 – Montagem do marégrafo ultrassônico

O marégrafo pode ser construído de diferentes formas de maneira a atender as especificidades de cada local de observação. A montagem que apresentamos foi concebida para instalação num píer de atracamento, neste caso o píer de atracamento do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA) da Marinha do Brasil, na Avenida Brasil, no. 9020, Olaria. Esse ponto de observação fica bem no interior da Baía de Guanabara tendo em frente o Aeroporto Internacional Tom Jobim, na Ilha do Governador. Na Figura I-8 apresentamos uma foto de satélite com a sua localização.



Figura I-8 – Fotografia com a localização do marégrafo ultrassônico (Google Earth). A seta mostra o píer de atracamento do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha onde se encontra o marégrafo. Na foto, vemos a Av. Brasil na parte de baixo e uma vista parcial de uma das pistas do Aeroporto Tom Jobim na parte de cima.

A estrutura do marégrafo foi concebida tendo por base tubulações de PVC, usadas em instalações hidráulicas, do tipo soldável (PVC marrom), de 32 mm. A montagem pode ser melhor apreciada através das fotografias apresentadas na Figura I-9. Nesta figura vemos a primeira montagem produzida. Na Figura I-9(b) vemos que as hastes de sustentação do painel solar e do sensor ultrassônico são conectadas à base por uniões de PVC para permitir um giro axial. Essa mobilidade é importante para poder orientar o painel solar na direção azimutal

mais favorável (norte) e orientar o eixo do sensor ultrassônico na direção perpendicular à lâmina d'água. O painel solar é preso à haste vertical por abraçadeiras o que permite a orientação zenital mais favorável para o período de trabalho. A caixa-abrigo para os circuitos eletrônicos (Arduino com acessórios e circuito controlador de carga do painel fotovoltaico) é do tipo usado em quadro de disjuntores externo em instalações elétricas. Trata-se de uma caixa de plástico resistente ao sol e à chuva, cuja porta de acesso tem isolamento de água. Existem diferentes modelos que podem ser selecionados para diferentes necessidades, mas deve-se estar atento à eficácia do isolamento de água, por conta das chuvas e da alta insolação. A caixa deve ser adequadamente ventilada e, se necessário, alguns furos podem ser feitos para facilitar a circulação de ar. Vamos ver nas próximas fotos que na segunda versão a caixa foi colocada bem abaixo do painel solar para ficar sob a sombra, protegido da insolação direta e da chuva.

Uma base de madeira é assentada sobre estrutura, e dois parafusos são usados para a fixação do marégrafo, com buchas plásticas, no piso do píer. Sobre a madeira fixamos a bateria com abraçadeiras de nylon. Sobre a bateria instalamos uma caixa plástica para proteção de chuva e insolação. É importante que a base de madeira seja pintada e não fique direto sobre o chão para evitar contato com a água de chuva que possa se acumular ali. Na Figura I-10 apresentamos algumas outras fotos mostrando detalhes suplementares de construção. Na Figura I-10(a) vemos o abrigo do sensor ultrassônico, que consiste de um tampão de tubulação de 100 mm em PVC branco, utilizado em instalações sanitárias. No centro do tampão fixamos uma luva de 32 mm no interior da qual se adapta o sensor ultrassônico. O abrigo é fixado lateralmente a uma forquilha, construída com barra chata de alumínio de 1 polegada / 3mm, através de dois parafusos com porcas borboletas. Essa forma de fixação permite girar o abrigo e completar a orientação do sensor perpendicular à lâmina d'água. A Figura I-10(b) mostra o interior da caixa-abrigo onde vemos o controlador de carga do painel solar Kyocera. Na Figura I-10(c) vemos os detalhes de fixação do painel solar através da abraçadeira de fixação.

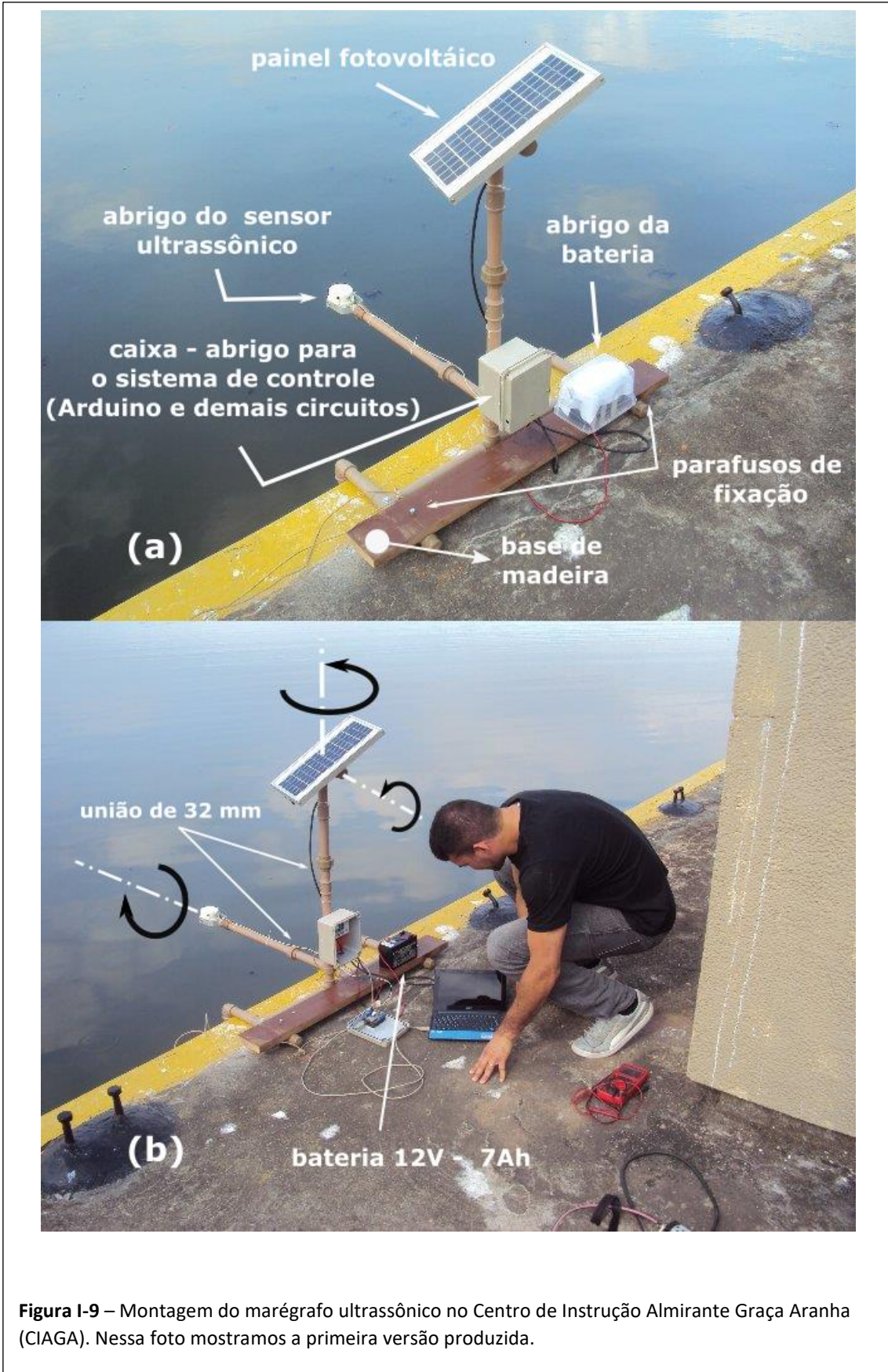
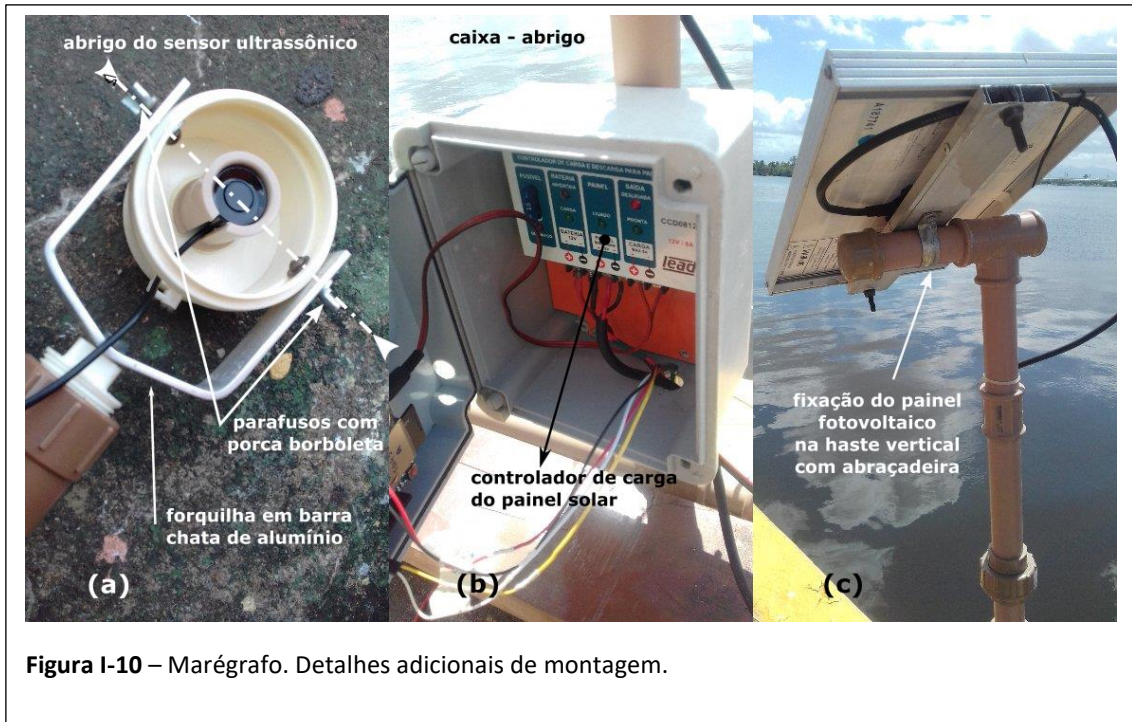


Figura I-9 – Montagem do marégrafo ultrassônico no Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA). Nessa foto mostramos a primeira versão produzida.



Uma segunda montagem foi realizada de forma a introduzir algumas melhorias que se mostraram necessárias já nos primeiros testes com a primeira montagem. Os três itens principais foram, o encurtamento da haste vertical de sustentação do painel solar, a substituição da caixa-abrigo para um modelo com tampa transparente e a fixação de um cone na saída do abrigo do sensor ultrassônico. O encurtamento da haste se fez necessária por questão relacionada ao padrão de ventos no local. Como o painel solar funciona como uma vela, os ventos fortes no local começaram a produzir tensões próximos do limite de resistência do tubo e conexões de PVC. Reduzimos o comprimento da haste para 70 cm resultando em muito mais estabilidade para a montagem. A tampa transparente se tornou uma necessidade prática para facilitar a visualização do circuito de controle e do controlador de carga do painel solar. Antes de se retirar da estação maregráfica é necessário verificar se todo o sistema está funcionando adequadamente. Nos certificamos do bom funcionamento observando se os LED's de aviso estão acendendo corretamente. Por fim, a colocação do cone corresponde a uma tentativa de colimar um pouco mais a saída dos pulsos ultrassônicos. Na captação, o cone atuaria produzindo a convergência do sinal de eco. Esse item está ainda em fase de avaliação. Na Figura I-11 mostramos a montagem atual. Na Figura I-11(c)

podemos ver a instalação do circuito eletrônico do marégrafo: a placa Arduino Uno com o escudo *data logger* é fixada á tampa do abrigo através de parafusos de latão com porca e arruela, e o circuito *watchdog* montado em uma *protoboard* de 160 pinos foi fixado ao lado da Arduino com cola tipo *super-bonder*. As interconexões entre os dois dispositivos foram feitas com fios *jumpers*. O *led* vermelho na *protoboard* pisca toda vez que dados são armazenados no cartão SD.

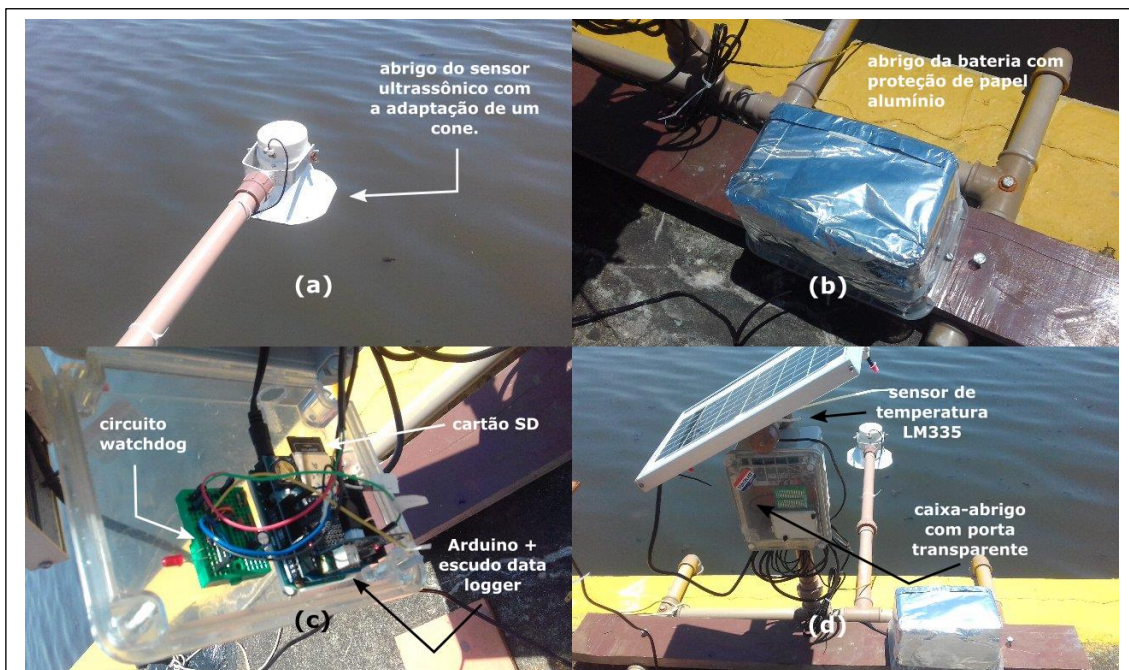


Figura I-11 – Segunda versão de montagem do marégrafo. Nesta versão, a haste vertical de sustentação do painel solar foi encurtada dando maior estabilidade a toda estrutura. A caixa-abrigo foi colocada mais próxima do painel solar dando maior proteção aos circuitos elétricos quanto a sol e chuva (foto (d)). Na foto (c) vemos a instalação da placa Arduino com escudo *data logger* e ao lado o circuito *watchdog* que foi inteiramente montado numa pequena *protoboard* de 160 pinos. Na foto (a) vemos o cone adaptado na saída do abrigo do sensor ultrassônico. As vantagens de utilização de um cone para diminuir o espalhamento do pulso ultrassônico de saída e concentrar o sinal de eco está em fase de avaliação.

AI-4 – Painel solar fotovoltaico e relação de materiais utilizados na montagem do marégrafo ultrassônico.

Como comentamos mais acima, uma das preocupações do projeto do marégrafo ultrassônico foi dotá-lo de uma unidade de alimentação elétrica independente, permitindo que ele possa ser instalado em locais que não tenham rede elétrica. Essa situação nos parece a mais comum de ser encontrada por escolas interessada neste projeto. Por várias razões práticas a opção recaiu sobre um painel solar fotovoltaico com uma bateria de armazenamento para operação no período noturno. Tipicamente a tensão disponível com o painel solar é de 12 VDC.

A questão do dimensionamento do sistema solar envolve respostas a três perguntas: qual o consumo do marégrafo ultrassônico? Quantos painéis solares serão necessários e qual o tamanho da bateria para atender esse consumo?

O consumo é a soma de consumos parciais dados pelas partes do sistema elétrico: a placa Arduino com o circuito watchdog, o shield data logger, o circuito do sensor ultrassônico JS e o sensor de temperatura LM335. Temos também que considerar o consumo do sistema controlador de carga.

A forma mais confiável é determinar o consumo experimentalmente. Aqui, não podemos deixar de comentar, há uma ótima oportunidade para envolver a turma. Poderia ser uma excelente atividade de planejamento totalmente integrada ao projeto de estudo das marés.

Uma vez construído, o marégrafo deve ser colocado em funcionamento. A alimentação deve ser provida por uma fonte estabilizada 12 VDC / 1 A. Essa é a tensão de saída que podemos ter no controlador de carga de um painel solar básico e por sua vez é a tensão máxima de acionamento de uma placa Arduino Uno. Neste teste, temos que colocar um amperímetro em série com o marégrafo e medir a corrente no circuito. O desenho mostra o circuito de teste.

A potência consumida pelo marégrafo é calculada simplesmente pelo produto TENSÃO X CORRENTE. O marégrafo funciona de forma contínua, mas com períodos em que o consumo aumenta ligeiramente. Esses picos ocorrem

nos momentos de gravação de dados no cartão SD, durante a emissão de pulsos ultrassônicos e no piscar de LED's. Temos que avaliar o consumo durante um período de, por exemplo, 10 minutos e tomarmos um valor médio ou adotar o consumo máximo observado como referência. Conhecido este valor podemos escolher a bateria. Por exemplo, uma bateria selada de 12V, 7Ah (nominal) pode sustentar idealmente uma corrente de 1A por 7 horas. O valor efetivo é em geral 70% – 80% desse valor, o que dá aproximadamente 5 horas. Se o consumo médio em corrente for de 100 mA (1,2 watt) essa bateria poderia sustentar o marégrafo durante 50 horas. O período inativo do painel solar pode ser estimado como iniciando 3 horas antes do pôr do sol e terminando 3 horas após o nascer do sol. Se tomamos 15 horas de inatividade como valor representativo vemos que nestas condições a bateria daria conta de suprir as necessidades do marégrafo com sobras. Entretanto esse consumo tem que ser integralmente repostado pelo painel solar durante o período de insolação, para que o marégrafo possa trabalhar continuamente por longos períodos.

O painel solar usado no presente projeto, fabricado pela Kyocera (Japão), modelo Ks5t, de 5W, pode produzir uma corrente média de $5W/12V = 417$ mA. Em tese, essa corrente manteria o marégrafo funcionando durante o período de insolação, e o saldo daria para repor a carga perdida pela bateria durante a noite. Entretanto, esse é um valor ideal que não leva em conta as perdas e os dias com cobertura de nuvens e chuva. Nossa experiência mostrou que em períodos chuvosos ocorridos no Rio de Janeiro, na primavera, o sistema solar não conseguiu manter o marégrafo por uma semana completa. Achamos que será interessante um painel de 10W (ou dois de 5W). Esses painéis vêm caindo de preço ano a ano, e melhorando a eficiência fotovoltaica.

Tabela I-1 – Lista de materiais empregados na construção do marégrafo ultrassônico (versão 2)

	Item	Quant.	Observação
1	Placa Arduino Uno (Ver 3)	1	
2	Telêmetro JSN-SR04T-2.0	1	

3	Escudo (shield) data logger	1	Para Arduino Uno, com RTC e cartão SD.
4	Sensor de temperatura LM335	1	
5	CI555	1	Circuito <i>watchdog</i>
6	Protoboard pequena de 160 pinos	1	
7	Resistor de 2k2 Ω (1/4 W)	1	Circuito do LM335
8	Resistor de 4k7 Ω (1/4 W)	1	Circuito <i>watchdog</i>
9	Resistor de 1 M Ω (1/4 W)	1	Circuito <i>watchdog</i>
10	Resistor de 550 Ω (1/4 W)	1	Circuito <i>watchdog</i>
11	Diodo 1N4001	1	Circuito <i>watchdog</i>
12	Capacitor eletrolítico 100 μ F	1	Circuito <i>watchdog</i>
13	Capacitor cerâmico 10 nF	1	Circuito <i>watchdog</i>
14	Led vermelho	1	
15	Diversos: cabos Jumper, fios		
	Conexões e peças de PVC		
16	União de 32 mm	2	
17	Tampa para tubo de 100 mm	1	
18	Joelho de 32 mm	2	
19	Conexão "T" de 32 mm	5	
20	Tampão de 32 mm	5	
21	Luva de 32 mm	1	Colada no abrigo para fixação do sensor (Figura I-10(a)).
22	Tubo de PVC soldável de 32 mm	-	Quantidade Suficiente (definir para cada caso).
23	Caixa-abrigo de uso externo (dimensionar para cada projeto)	1	Do tipo usado para disjuntores; em plástico reforçado e porta transparente com isolamento para chuva.
24	Abraçadeira de metal para tubo de 32 mm	1	Usada na fixação do painel solar à estrutura do marégrafo.

26	Abraçadeiras de nylon	-	Quantidade Suficiente (usada para a fixação dos fios de ligação dos componentes à estrutura do marégrafo)
Painel solar fotovoltaico			
27	Bateria selada 12V/ 7 Ah	1	Bateria chumbo-ácida regulada por válvula (VRLA)

AI-5 – Referências do Apêndice I

[I-1] RESNICK, R., HALLIDAY, D. and KRANE, K. S., *Física 2*, 5ª Edição, Ed. LTC, 2003.

[I-2] *Fritzing*, <http://fritzing.org/home/> (último acesso em 20/01/2019).

[I-3] <https://chrisramsay.co.uk/posts/2015/04/giving-an-arduino-a-heartbeat/>
(último acesso em 20/01/2019).

[I-4] <http://www.robotiv.re/conteudo/watchdog-sistema-de-reset-automatico>

(último acesso em 20/01/2019).

[I-5] <http://www.switchdoc.com/dual-watchdog-timer/>

(último acesso em 20/01/2019)

Apêndice B – Material Instrucional 2: Guia do professor

BI - A Sequência Didática e Análise de Dados

Este material é destinado a professores do Ensino Médio e propõe uma sequência didática para o ensino das marés.

Vamos dividir a sequência em etapas para uma organização que busque facilitar a compreensão e a aplicabilidade do processo.

BI-1 - Primeira Etapa

O início da aplicação consiste na ideia da familiarização do professor com o conhecimento prévio dos alunos sobre as marés, e no encantamento para que se promova o engajamento por parte da turma. Então, o primeiro passo é introduzir uma conversa para que a turma dê suas impressões e exponha o que conhecem sobre as marés.

Para motivar o encantamento, vamos mostrar imagens de cenários que mudam completamente com a variação das marés, como segue a imagem 1.1.



Figura 1.1 - Maré baixa e maré alta no Monte St. Michael na costa atlântica da França. Imagem disponível em: <https://caianomundo.ci.com.br/lugares-para-visitar-antes-e-depois-de-ficarem-submersos>

Nessa primeira etapa, é bem possível que alguns alunos tenham um conhecimento muito vago sobre o fenômeno das marés, mesmo morando em

regiões costeiras. Essa situação extrema vista na Figura 1.1 pode ser comparada com a situação local solicitando que os alunos observem o mar na sua região e façam registros fotográficos. Uma atividade de observação pode ser recomendada nesta primeira etapa e o professor deve julgar a sua relevância para a sua turma.

BI-2 - Segunda etapa

O próximo passo é dar uma noção inicial de que existe uma relação entre as marés e o desenrolar das horas. A proposta é usar um vídeo acelerado que mostre com clareza a mudança das marés ao longo do dia. No YouTube, no link <https://www.youtube.com/watch?v=TqM697dYaB8>, é possível encontrar um vídeo acelerado de um intervalo de aproximadamente 12 horas das marés que ocorrem na comunidade de Halls Harbour na Baía de Fundy, que fica entre as províncias canadenses de New Brunswick e Nova Escócia.



O local é conhecido por ter as maiores marés do mundo, registrando amplitudes de até 17 metros. O título do vídeo encontrado no link é “Veja em 30 segundos o ciclo da maré a Baía de Fundy”.

Questões sobre o vídeo:

Vocês conseguem estimar quanto tempo se passou no período representado no vídeo?

O que a turma pôde observar sobre a mudança de nível da água durante o vídeo?

Então, até aqui já podemos fazer com que a turma conclua, pelo menos, que há duas marés baixas e uma alta em um intervalo de tempo menor do que um dia, e a partir de agora podemos abrir o espaço para discutir quais são as possíveis causas das marés.

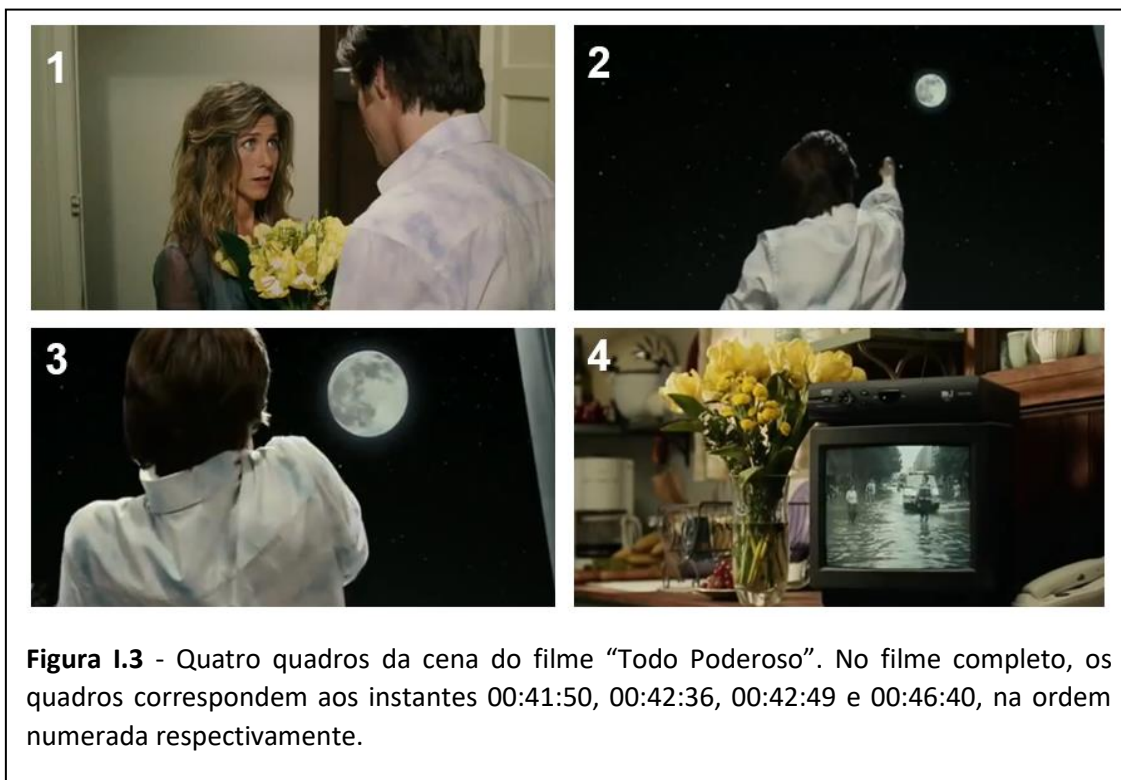
Um ponto a se considerar na programação geral das atividades é o da possibilidade, como sugerimos acima, da inclusão de uma tarefa em que a turma seja instruída a fazer uma sequência de imagens do movimento diurno da maré. Um tal registro fotográfico tem associado os instantes de tempo de cada foto e conseqüentemente todas as informações sobre o movimento de maré ficam bem documentadas. A técnica que poderia ser utilizada é conhecida como *time lapse* onde várias fotografias são tiradas sequencialmente em intervalos fixos de tempo e cobrindo toda a extensão de um fenômeno. Em seguida as fotografias são montadas compondo um vídeo, ou um GIF, com um intervalo de tempo menor. Existem vários aplicativos para smartphone dedicados a essa técnica que podem ser usados. A observação das duas altas e duas baixas no intervalo de um dia fica bem simples de ser concluída. A fase de observação do fenômeno ficaria melhor estabelecida, ou seja, o resultado seria melhor do que assistir o vídeo sugerido acima. Entretanto, bem sabemos das dificuldades logísticas e operacionais de uma tal atividade para uma turma de jovens adolescentes e, portanto, a programação tem que ser bem avaliada.

BI-3 - Terceira etapa

Para iniciar a discussão da relação entre a Lua e o fenômeno das marés, a proposta é a aplicação de parte do filme O Todo Poderoso.

Questão sobre o vídeo:

O que foi destacada na cena como causa do aumento das marés?

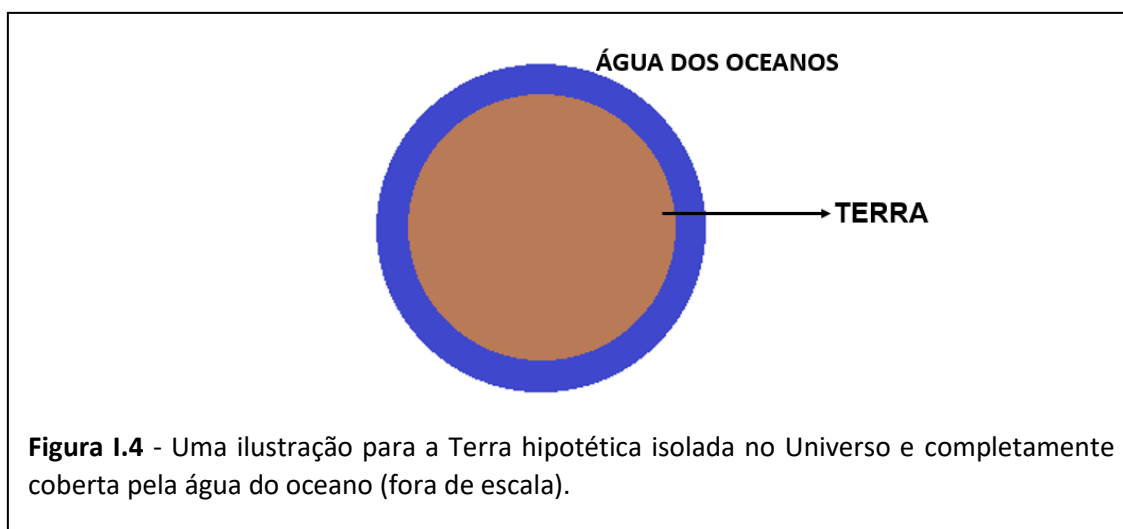


Depois desta discussão, a proposta é fazer um breve histórico sobre o estudo das marés, apresentando algumas ideias ao longo da história sobre a relação entre a Lua e as marés, até chegarmos ao modelo de Newton.

A partir de então, será pedido que a turma reproduza em uma folha este desenho e acrescente um outro astro que será o causador das marés. A Figura 1.4 ilustra o que seria a Terra com uma camada de água. É importante deixar claro que é uma situação hipotética em que a Terra estaria isolada no universo e estamos colocando o outro astro que será responsável pela maré.

A partir de então, será pedido que a turma reproduza em uma folha este desenho e acrescente um outro astro que será o causador das marés. Com isso, pediremos para representarem como ficará a água sob o efeito das marés e que expliquem seu raciocínio na própria folha. Depois desta parte, recolheremos os desenhos e vamos à proposta para a atividade da próxima etapa.

Podemos resumir as principais conclusões obtidas ao fim das três primeiras etapas como,



- um movimento de sobe e desce do nível do mar ocorre todos os dias. Esse movimento periódico de sobe e desce das águas é conhecido como maré e é visível em todas as partes do mundo. No máximo e no mínimo, que se alternam ao longo do dia, vemos uma forte mudança da paisagem costeira;

- há indícios de que o efeito tem origem na interação gravitacional com a Lua e possivelmente com o Sol. Uma reflexão sobre como ocorreria a ação gravitacional da lua sobre o oceano sugere a elevação das águas na região frontal à Lua;

- será muito interessante para entender melhor o que está acontecendo, ter um registro contínuo, ao longo de um dia, de como se dá o movimento de sobe e desce ao longo das horas.

BI-4 - Quarta etapa

Vamos trabalhar com os dados das marés do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), observar valores de um dia e propor a construção de um gráfico, para que a turma possa observar como elas variam nesse intervalo de tempo. A página na web do CHM é

<https://www.marinha.mil.br/chm/>

que fornece uma série de serviços ao público em geral, entre eles a de previsão de marés para orientação geral de navegação em nosso país.

Nesta etapa seria muito interessante uma visita da turma a uma estação maregráfica do CHM. A visita pode ser agendada através do contato

dhn.comunicacaosocial@marinha.mil.br

e pode ser incluído o museu hidrográfico da Diretoria de Hidrografia da Marinha (DHN).

Vamos precisar organizar como a turma vai obter estes dados e uma sugestão é que se organizem de tal forma que tenhamos doze grupos no total. O objetivo desta divisão é sugerir que cada grupo solicite os dados de diferentes meses em sequência, para que tenhamos disponíveis um ano de dados para atividades futuras.

Para tornarmos a manipulação desses valores viável, vamos propor o uso do programa Excel da Microsoft.

Na Figura 1.5 mostramos o arquivo de texto que recebemos do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) com os valores das alturas das marés. Os dados no arquivo do CHM que precisamos para montar a tabela Excel estão logo abaixo do símbolo “jogo da velha” e o primeiro valor vem na linha **01/11/2018 00:00;164**. Aqui vemos que o dado foi registrado no dia primeiro de novembro de 2018, à zero hora, zero minuto, e a altura registrada foi de 164 centímetros. Para exportarmos estes valores para o arquivo de Excel, precisaremos selecionar todos os valores que nos forem de interesse (se vamos montar a tabela somente do dia primeiro, podemos selecionar os dados correspondentes a este dia), copiarmos os dados selecionados e colarmos no Excel. Mas aqui encontramos um problema: ao colarmos estes dados na planilha do Excel, todos os valores juntos ocupam a mesma coluna (ver Figura 1.6), e não conseguimos manipular os valores separadamente, o que impossibilita a criação do gráfico, que é o nosso objetivo final.

Então, precisamos destacar os valores para que fiquem em colunas independentes e, assim, poderemos manipulá-los de forma separada. Para isso, usaremos algumas funções do programa que permitem esta ação, e vamos descrever abaixo o passo a passo.

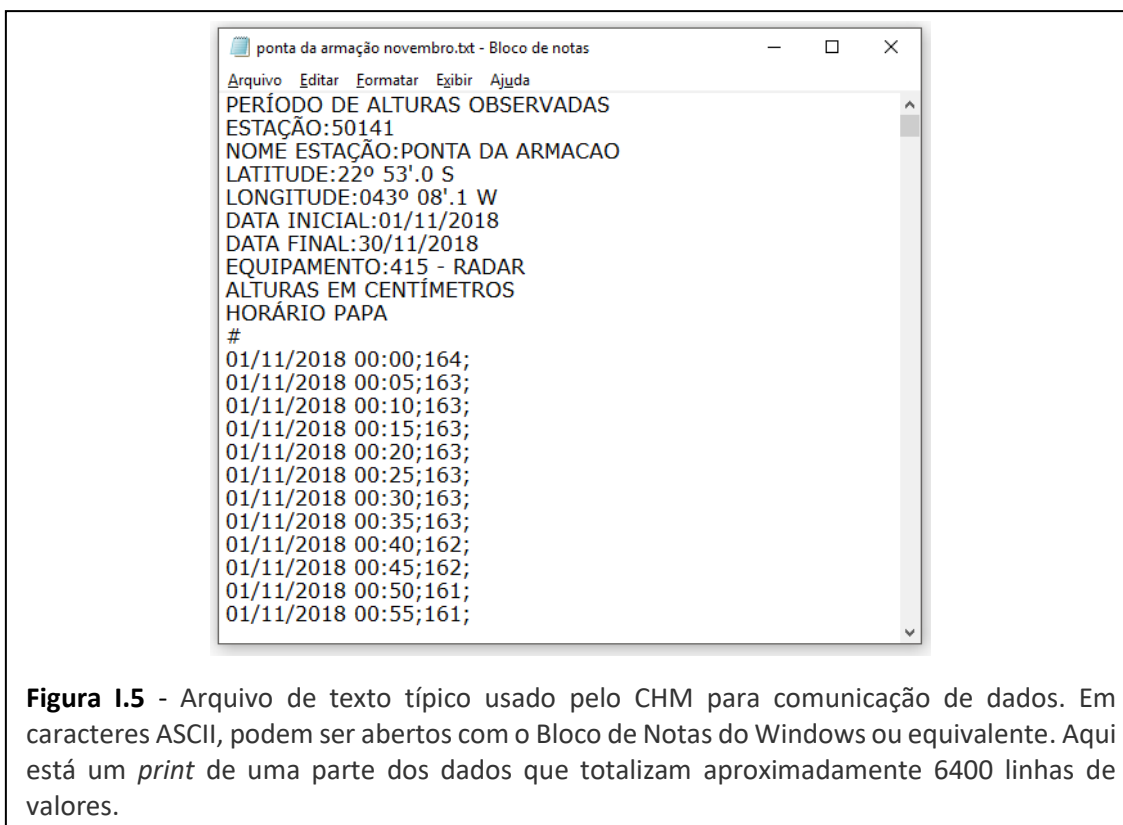


Figura I.5 - Arquivo de texto típico usado pelo CHM para comunicação de dados. Em caracteres ASCII, podem ser abertos com o Bloco de Notas do Windows ou equivalente. Aqui está um *print* de uma parte dos dados que totalizam aproximadamente 6400 linhas de valores.

BI-4.1 – Separando dia, mês e ano dos demais:

- Selecione toda a coluna com os valores e pressione **Ctrl+U**. A janela mostrada na Figura 1.7 será aberta;
- Onde está escrito **Localizar** coloque uma Barra (/) e onde está escrito **Substituir por**, coloque um Espaço. Esta ação vai substituir todas as barras das datas por espaços.
- Selecione toda a coluna
- Vá em **Dados**
- Clique na opção **Texto para Colunas** (ver Figura 1.8);

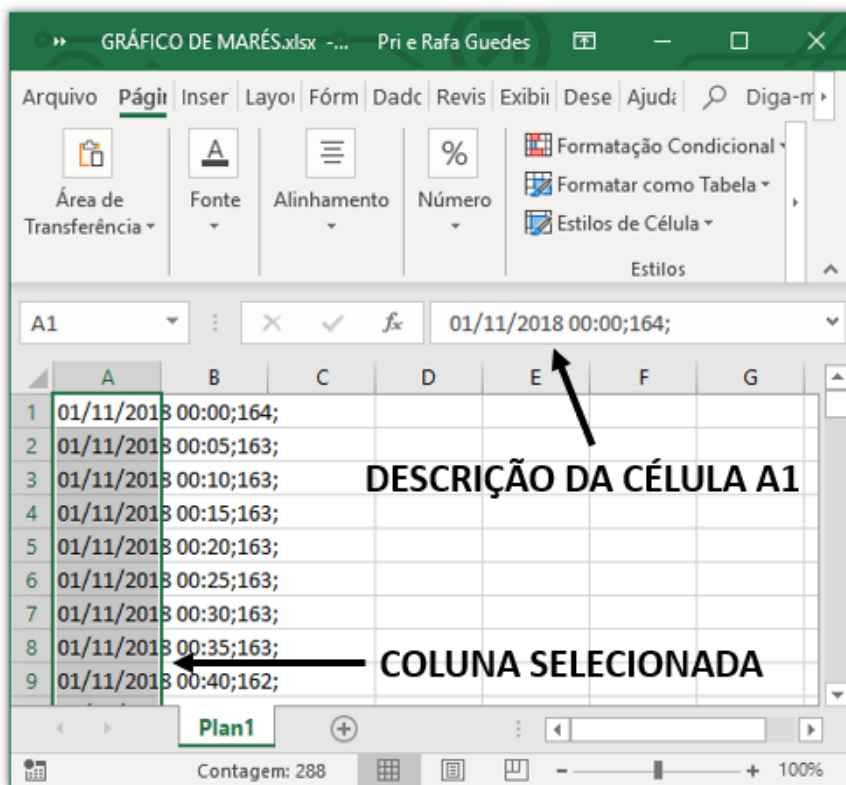


Figura I.6 - Dados copiados para o arquivo de Excel. Observe que somente a coluna A está selecionada, mas no campo que descreve o conteúdo das células (que está mostrando a célula A1) estão todos os valores da primeira linha dos nossos dados.

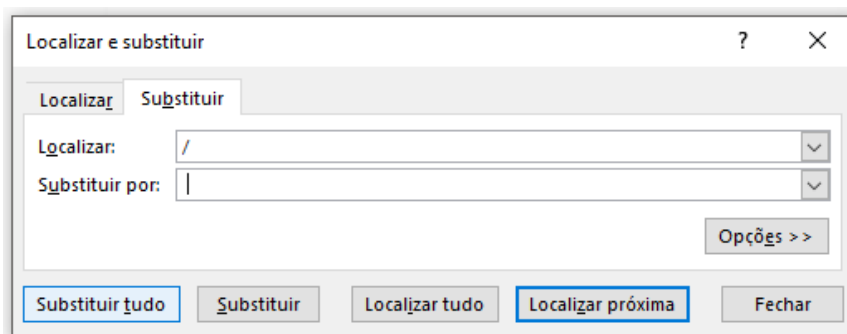


Figura I.7 - Janela de recurso do Excel para substituímos caracteres.

- A seguinte janela (ver Figura 1.8) ficará disponível. Certifique-se de que a opção **Largura Fixa** esteja marcada, clique em **Avançar** duas vezes e, em seguida, clique em **Concluir**.

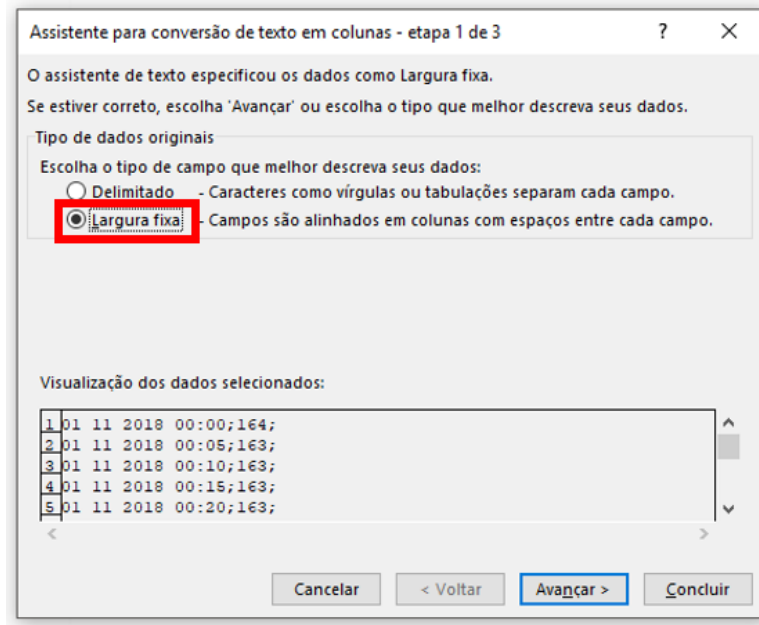


Figura I.8 - janela do Texto para Colunas aberta, com destaque para a opção Largura Fixa.

Após esta ação, os dados ficarão separados como na figura 1.9 a seguir. Observe nas linhas que o número 1 (dia) está separado do número 11 (mês) e do número 2018 (ano), mas hora, minuto e altura estão na mesma coluna D.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	11	2018	00:00;164;						
2	1	11	2018	00:05;163;						
3	1	11	2018	00:10;163;						
4	1	11	2018	00:15;163;						
5	1	11	2018	00:20;163;						
6	1	11	2018	00:25;163;						
7	1	11	2018	00:30;163;						
8	1	11	2018	00:35;163;						
9	1	11	2018	00:40;162;						
10	1	11	2018	00:45;162;						
11	1	11	2018	00:50;161;						

Figura I.9 - Planilha Excel agora com dia, mês e ano separados por colunas.

BI-4.2 – Separando a hora dos minutos:

- Agora selecione a coluna **D**, onde estão s valores de hora, minuto e altura das marés todos na mesma coluna.

Vá novamente em **Dados, Texto para colunas**, mas agora, ao invés da opção **Largura Fixa**, marque a opção **Delimitado**, e clique em avançar uma vez (ver Figura 1.10).

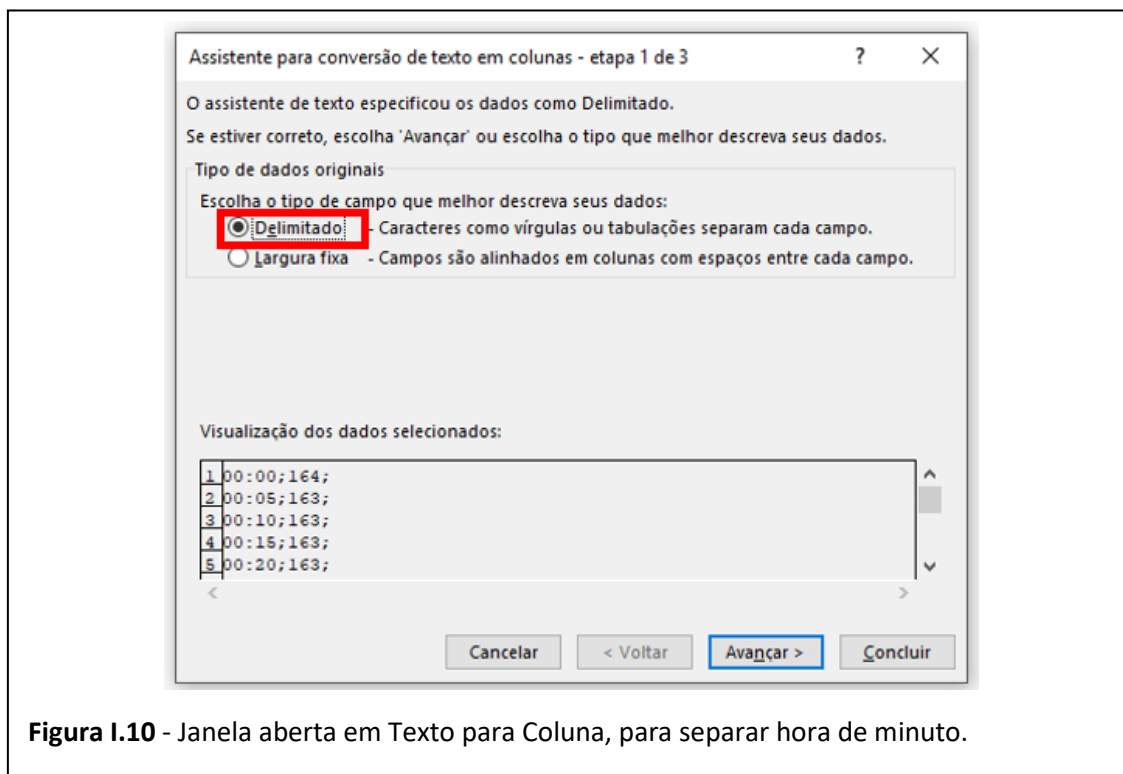


Figura I.10 - Janela aberta em Texto para Coluna, para separar hora de minuto.

- Aparecerá a janela da Figura 1.11. Agora, além de **Tabulação**, marque também a opção **Outros** e no campo ao lado coloque “dois pontos” (:). Em seguida, clique em avançar mais uma vez e clique em **Concluir**.

Agora teremos os valores das horas sozinhos na coluna **D**, como mostra a Figura 1.12, mas ainda teremos os valores dos minutos e os valores das alturas na mesma coluna **E**. O próximo passo é separá-los.

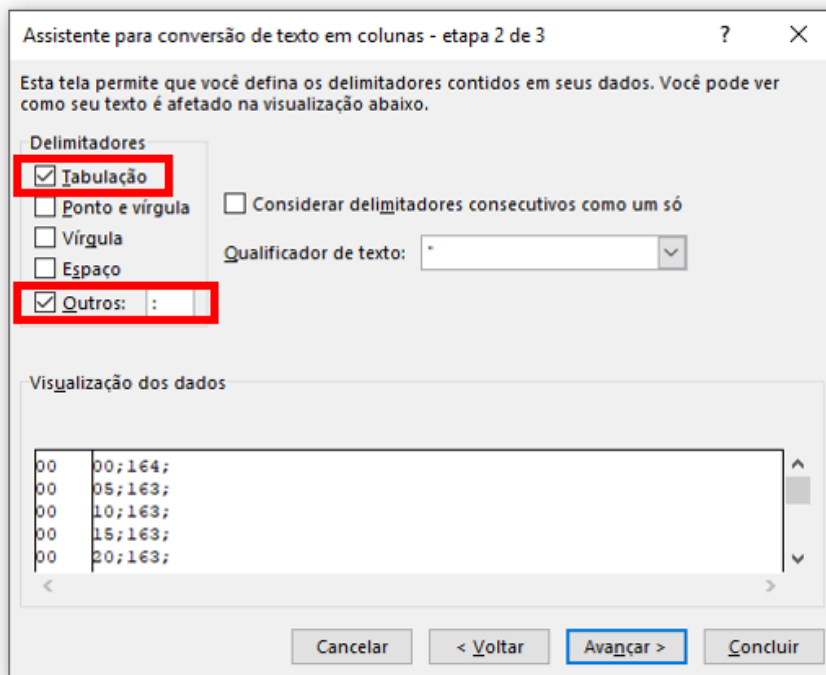


Figura I.11 - Janela para separar hora de minuto com destaque para a função **Tabulação** e a função **Outros**.

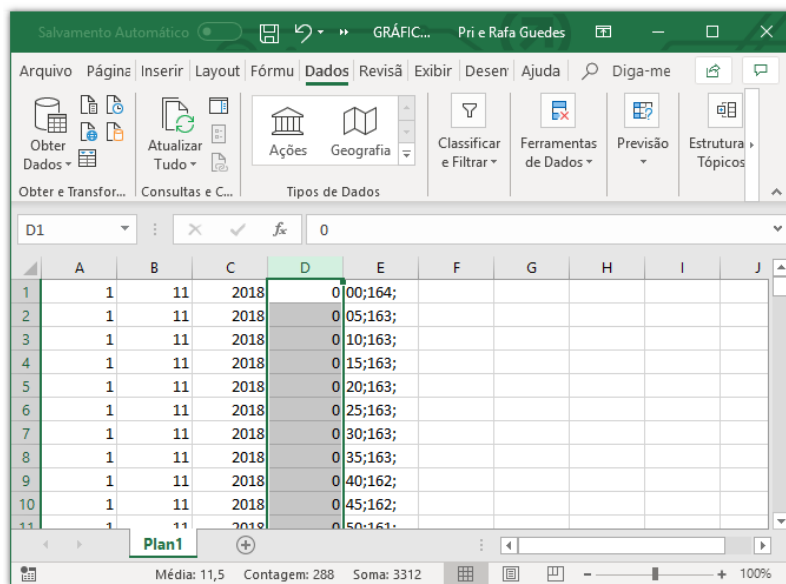


Figura I.12 - Planilha do Excel com os valores de hora em uma coluna independente.

BI-4.3 – Separar os minutos das alturas:

- Selecione a coluna **E**, clique em **Dados** e em **Texto para Colunas**.

- Clique em **Avançar** uma vez, verifique se as opções **Tabulação** e **Outros** estão marcadas e no campo ao lado de **Outros**, coloque Ponto e Vírgula (;). Em seguida clique em **Avançar** mais uma vez e clique em **Concluir**. Depois destes procedimentos, teremos todos os valores independentes em colunas diferentes.

Uma sugestão para tornar a identificação de cada valor mais fácil é inserir uma linha em branco para colocarmos a descrição de cada coluna. Para isso, clique com o botão direito do *Mouse* sobre a linha **1** (exatamente sobre o número 1) e vá em **Inserir**. Ao colocar as descrições, observe que a ordem das colunas é Dia, Mês, Ano, Hora, Minuto, Altura. Veja a Figura 1.13.

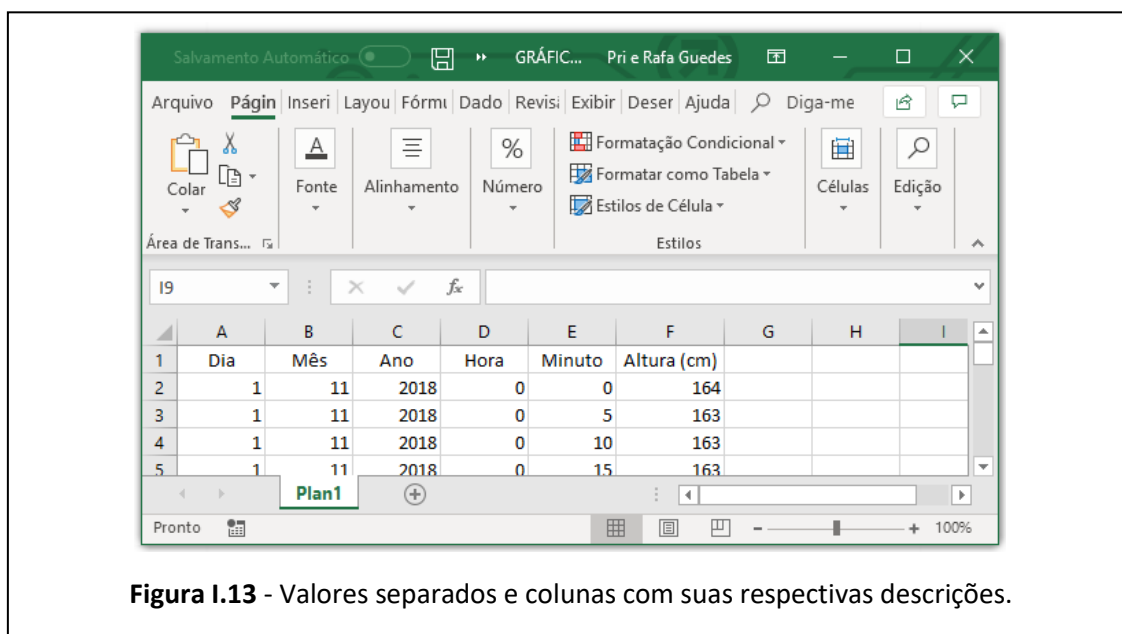


Figura I.13 - Valores separados e colunas com suas respectivas descrições.

Com essas tabelas prontas, podemos partir para o próximo passo que será montar um gráfico para observarmos os dados da maré.

BI-4.4 – Construindo os gráficos para análise

1 – Gráfico Simples

Uma forma de gráfico que pode ser feita é a mais simples possível, em que selecionamos somente a coluna dos valores das alturas e clicamos em **Inserir**. Dentro desta opção, há uma parte de **Gráficos** em que podemos escolher alguns tipos. A figura 1.14 mostra a coluna selecionada, a área de gráficos e o tipo que escolhemos para mostrá-lo pronto, que no caso é o gráfico

em Linha. Abrirá uma janela com subtipos de gráficos e nós escolheremos a primeira opção de gráfico **Linha 2D**.

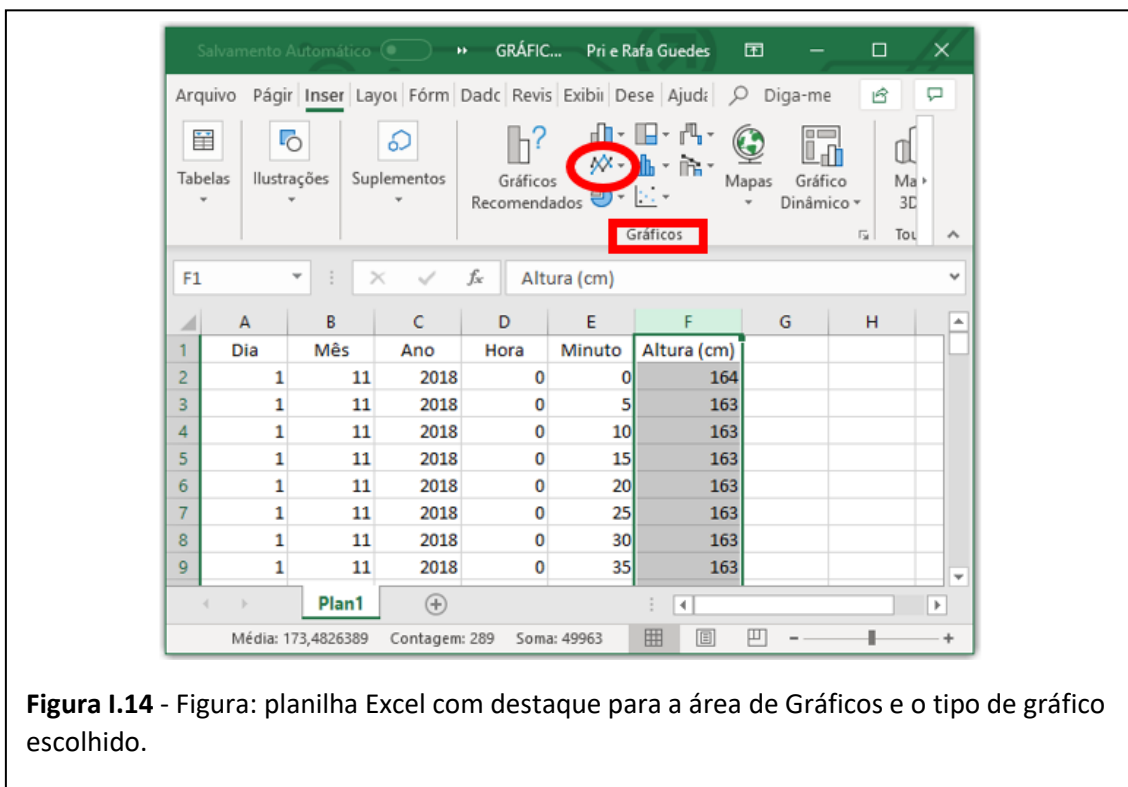


Figura I.14 - Figura: planilha Excel com destaque para a área de Gráficos e o tipo de gráfico escolhido.

Na Figura 1.15 apresentamos o gráfico pronto.

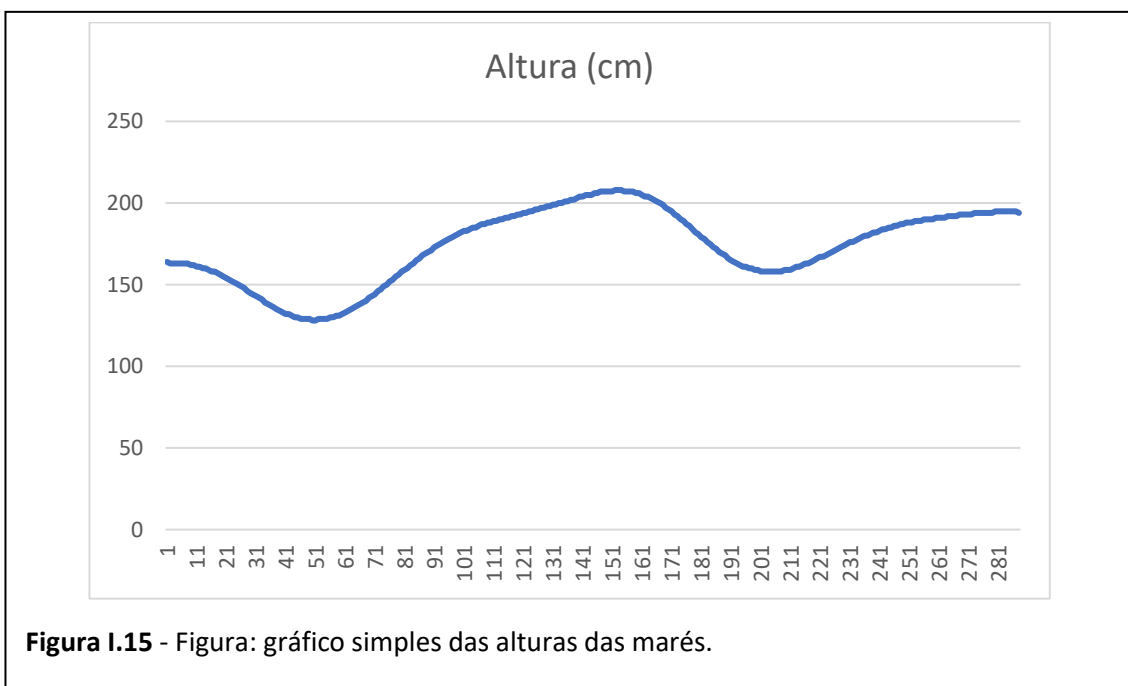


Figura I.15 - Figura: gráfico simples das alturas das marés.

Como só selecionamos uma coluna, o Excel entende automaticamente que os valores escolhidos devem estar no eixo da vertical. No eixo da horizontal, ficam os números das linhas correspondentes a cada valor. Note que o título do gráfico coincide com a descrição que demos para a coluna selecionada, que escrevemos na primeira linha da referida coluna. Isto também é uma ação automática do programa.

Este gráfico nos permite com clareza identificar o comportamento das marés, lembrando que o intervalo é de um dia. Podemos observar a modulação em que o gráfico começa numa descendente, chega ao valor mais baixo (maré baixa), torna a subir atingindo uma maré alta, volta à segunda maré baixa e encerra o dia a caminho da segunda maré alta. No caso, não ficam tão explícitos os pontos de marés altas, embora consigamos perceber as marés baixas com exatidão. Além disso, o gráfico não é tão bem definido quando comparado com o de outros dias, e isso ocorre porque no dia 01/11/2018 estávamos mais próximos da fase Quarto Minguante da Lua, que, como vimos no capítulo 1, ocasiona amplitudes menores das marés.

Encontramos uma limitação neste tipo de gráfico, porque não podemos observar os instantes correspondentes aos picos de maré alta, o que seria uma análise muito importante para o nosso trabalho. Afinal, no eixo da horizontal, não temos os instantes correspondentes às marés e sim a numeração da linha onde se encontra tal valor.

Uma coisa que poderia sanar este problema seria selecionar duas colunas, uma das alturas e outra dos tempos. Porém, cada altura está associada a um minuto, que por sua vez está associado a alguma hora do dia, ou seja, para cada valor de altura precisamos simultaneamente de dois valores de instantes (aqui estamos ignorando os dias e os meses porque não há necessidade nesta análise, porém, em outras ocasiões, precisaremos levar em consideração minutos, horas e dias neste gráfico).

Para resolvermos este problema, existe a opção de criarmos um Gráfico Dinâmico, em que podemos colocar no mesmo eixo, mais de um valor, desde que estejam associados na tabela. Então, poderemos usar o eixo da vertical com

os valores das marés e o eixo da horizontal com os instantes (minutos e horas).
Veamos a construção do gráfico.

2 – Gráfico Dinâmico

Para a construção deste tipo de gráfico, podemos selecionar todos os dados da nossa tabela, clicamos em **Inserir** e vamos na opção **Gráfico Dinâmico** (observe a Figura 1.16).

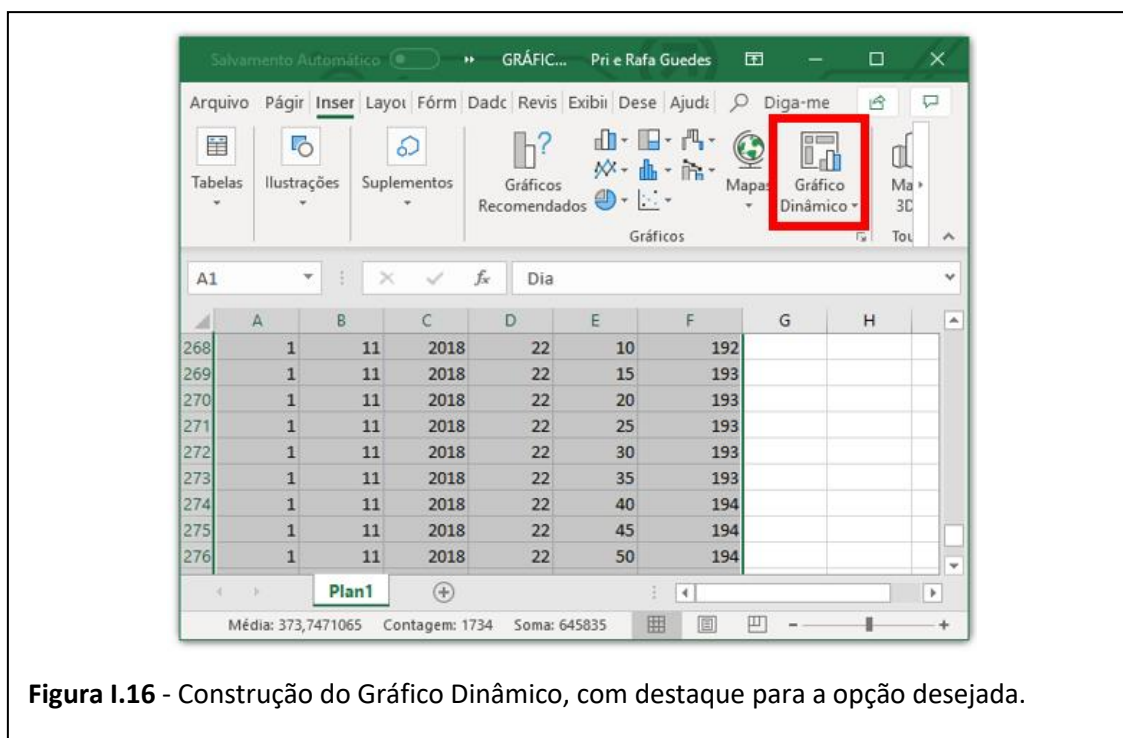
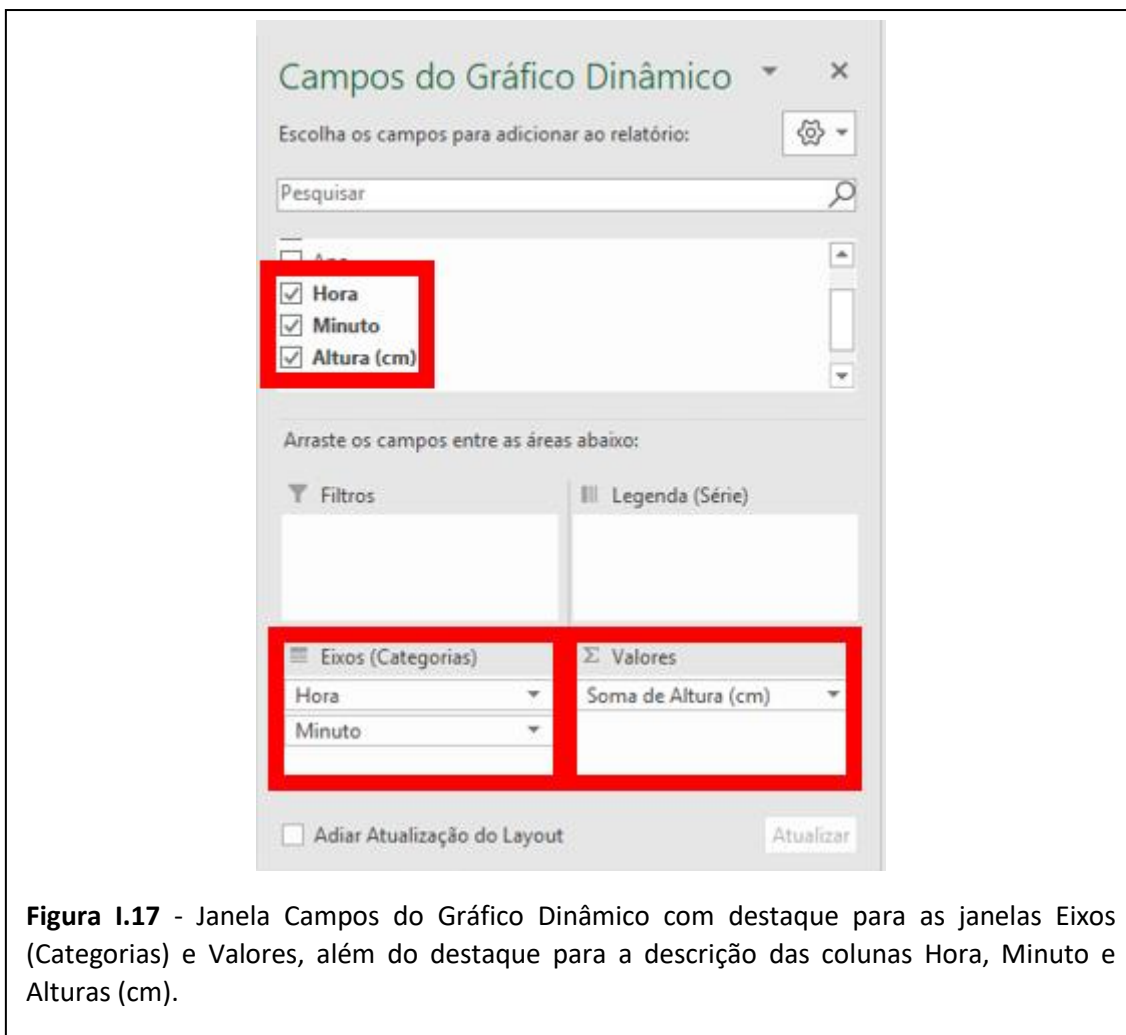


Figura 1.16 - Construção do Gráfico Dinâmico, com destaque para a opção desejada.

Ao clicar em Ok, uma nova planilha dentro do mesmo arquivo será criada, e do lado direito desta planilha aparecerá uma janela com a descrição **Campos do Gráfico Dinâmico**, conforme a Figura 1.17. Neste campo há uma janela com a descrição de cada coluna selecionada, que coincide com o que há na primeira linha de cada coluna. No nosso caso aparecem as descrições Dia, Mês, Ano, Hora, Minuto e Altura (cm). Logo abaixo há quatro janelas das quais usaremos a janela **Eixos (Categorias)**, que corresponde ao eixo horizontal, e a janela **Valores**, que corresponde ao eixo vertical. Então, para construirmos o gráfico basta arrastarmos cada coluna para as respectivas janelas, com um cuidado à parte quando formos arrastar os eixos dos instantes, porque precisamos indicar para o Excel que os minutos estão “dentro” das horas, logo precisamos arrastar

primeiro a coluna Hora e depois a coluna Minuto (lembrando que não vamos precisar colocar a coluna Dia, Mês e Ano, porque analisaremos os valores somente de um dia).



Junto à janela vista na Figura 1.18, aparecerá a planilha com uma tabela onde constam os valores de horas, minutos e alturas. Ao lado, surgirá uma janela com o gráfico do tipo **Colunas**.

Vamos dar um destaque às funções importantes do gráfico que facilitarão nossas análises. Mas antes vamos mudar o tipo de gráfico de **Colunas** para **Linha** apenas por conveniência, porque facilitará em análises futuras. Para isso, basta clicar com o botão direito do *mouse* na área do gráfico (região de fundo branco que delimita os eixos do gráfico) e aparecerá uma janela vertical com diversas opções. Vá em Alterar Tipo de Gráfico, e na janela seguinte clique em **Linhas** e clique em **Ok** (ver Figura 1.19).

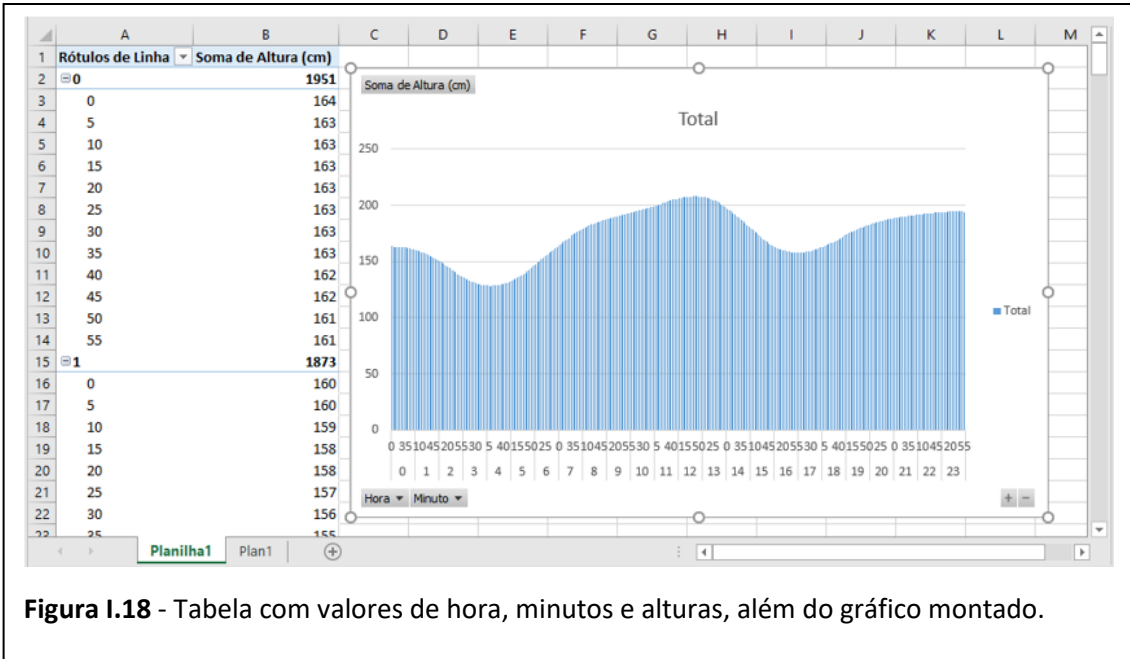


Figura I.18 - Tabela com valores de hora, minutos e alturas, além do gráfico montado.



Figura I.19 - Gráfico alterado para o tipo Linha

Observe na figura 1.19 que na janela do gráfico, no canto inferior esquerdo, há duas barras cinzas, uma com a descrição **Hora** e outra com a descrição **Minuto**, que são os chamados **Filtros**. Ao clicarmos nestas barras, podemos selecionar os instantes que queremos no eixo da horizontal, e o gráfico é reconstruído somente com os valores das alturas correspondentes a estes

instantes. Vamos marcar as primeiras seis horas do dia para vermos um exemplo.

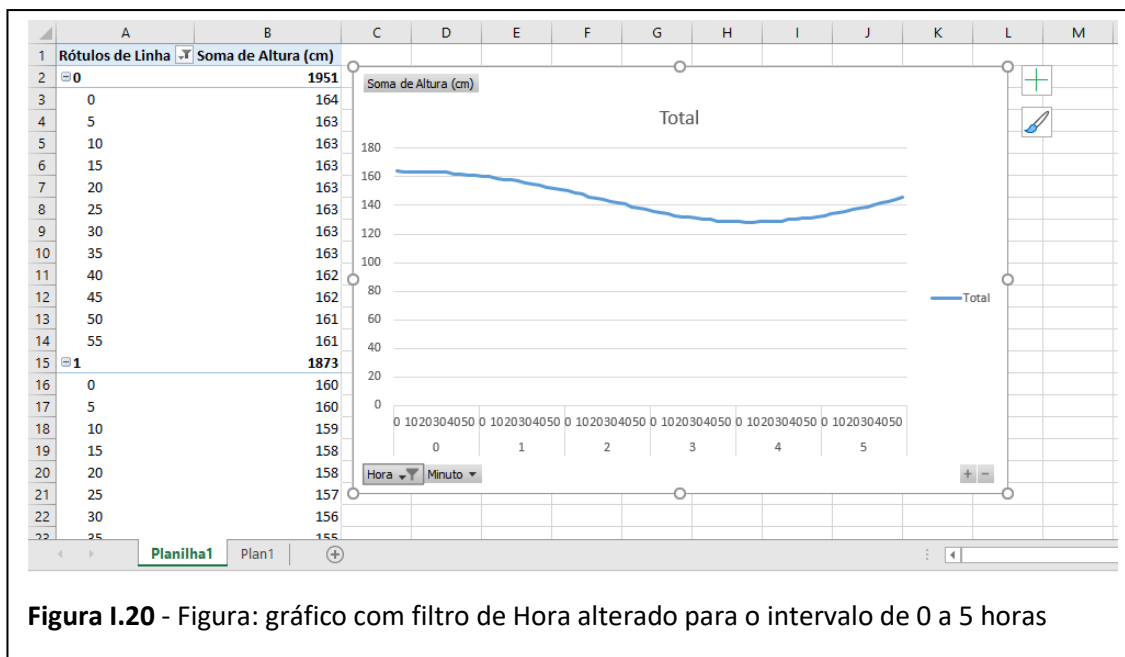


Figura 1.20 - Figura: gráfico com filtro de Hora alterado para o intervalo de 0 a 5 horas

Veja na Figura 1.20 a curva do gráfico redesenhada somente para o intervalo selecionado. Podemos ver que a escala de valores do eixo da vertical mudou automaticamente, porque ela se ajusta de acordo com os limites de valores das alturas naquele intervalo selecionado. Mas a escala pode ser alterada, seguindo os seguintes passos: clique com o botão esquerdo do *mouse* sobre a região onde se encontram os valores do eixo vertical, com isso aparecerá uma moldura retangular envolvendo os valores do eixo; em seguida, coloque o cursor (a setinha do *mouse*) exatamente sobre a moldura, de forma que apareça uma barra horizontal na tela escrita **Eixo Vertical (Valor)**; então, clique com o botão direito do *mouse* e vá em **Formatar Eixo**; uma nova janela à direita da planilha se abrirá e nela estão as opções de **Limites** com o campo para o **Máximo** e o **Mínimo**. Veja a Figura 1.21.

Nosso objetivo é disponibilizar este tutorial de todo o tratamento dos dados no Excel para os alunos e alunas. Isso pode ser feito através de um grupo de E-mail, uma pasta em programas de nuvem como o DropBox, ou podemos disponibilizar para que copiem em algum drive pessoal. Assim, eles terão condições de construir seus próprios gráficos e levarão para a sala na próxima aula.

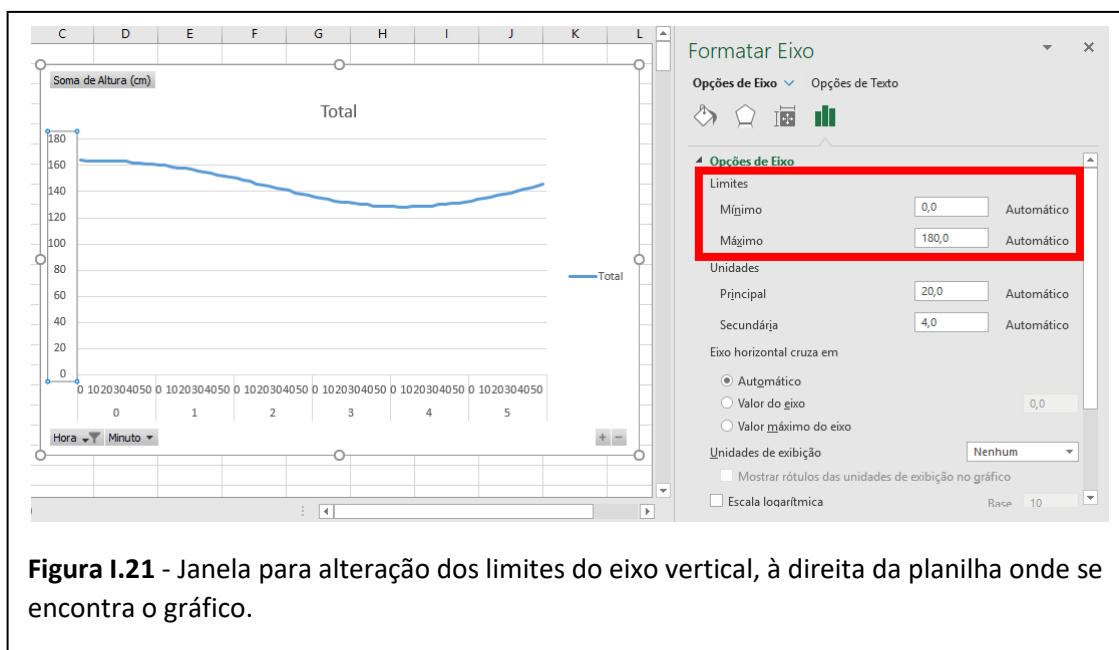


Figura I.21 - Janela para alteração dos limites do eixo vertical, à direita da planilha onde se encontra o gráfico.

BI-5 - Quinta etapa

Nesta etapa, vamos propor a comparação entre o comportamento das marés observado a partir do gráfico e o comportamento proposto nos desenhos feitos pela turma na aula anterior.

BI-6 – Sexta etapa

Criado este conflito, precisaremos justificar fisicamente o porquê de duas marés altas e duas marés baixas por dia, já que ter como causa as atrações gravitacionais da Lua e do Sol não explica este fenômeno. Antes de realizar esse estudo podemos ainda realizar esta sexta etapa que procura estabelecer que a diferença das amplitudes máxima e mínima não é constante e varia dia após dia.

Nesta etapa, vamos distribuir um conjunto de dados relativos a diferentes dias sequencialmente selecionados, e pedir para que a turma realize as seguintes atividades:

- **Em todas as atividades a seguir, compare seus resultados com o dos colegas de grupo.**
- **Calcule a amplitude das marés de seus respectivos gráficos. Neste caso podemos orientar a pegarem a média das marés altas, a média das marés baixas e fazerem a diferença.**

- **Indique os instantes de cada maré alta e de cada maré baixa.**
- **Diga qual é o intervalo de tempo entre as duas marés altas consecutivas.**
- **Diga qual é o intervalo de tempo entre as duas marés baixas consecutivas.**

Após esta atividade, podemos questionar se os resultados encontrados eram iguais ou diferentes dos resultados de cada colega.

A partir desta comparação, esperamos que os grupos concluam que os horários e as amplitudes mudam para dias diferentes. Com isso já temos uma motivação para propor a construção do gráfico de um mês. Então, para a aula seguinte, a turma deve construir individualmente o gráfico de um mês completo, o que pode ser feito com os mesmos procedimentos em que foram orientados nas etapas anteriores.

Aqui, uma intervenção nossa será importante: quando formos criar o Gráfico Dinâmico, abrirá o Campos do Gráfico Dinâmico (que já foi mencionado acima) e neste campo teremos uma janela para arrastarmos os valores das Alturas, e outra janela para arrastarmos os valores de instantes. É necessário ressaltar que no campo dos instantes, os valores precisam ser arrastados na ordem Dia, Hora e Minutos, respectivamente. Vamos pedir que tragam para a próxima aula o gráfico impresso e verifiquem, em pesquisa na web, qual as datas relativas às fases lunares do mês analisado.

BI-7 - Sétima etapa

Novamente, destinaremos o início da aula para tirarmos possíveis dúvidas sobre a construção do gráfico, e esperamos que a turma consiga obter um gráfico similar ao da figura 1.22 abaixo.

Como já foi esclarecido, os valores das horas e dos minutos no eixo da horizontal ficam indistinguíveis por conta da alta quantidade de dados. Mas quando houver necessidade de analisar instantes mais específicos, será possível usar os filtros que já foram explicados nas etapas anteriores.

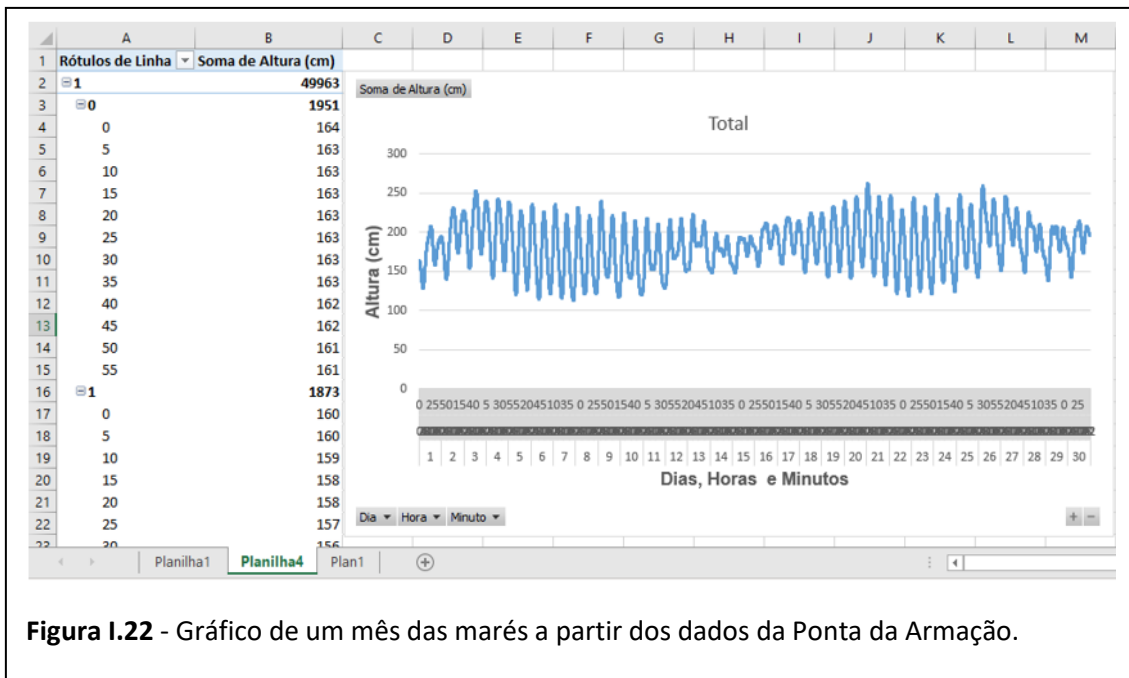


Figura 1.22 - Gráfico de um mês das marés a partir dos dados da Ponta da Armação.

De posse dos gráficos vamos orientar a análise partindo de algumas perguntas, que apresentamos abaixo:

- **O que acontece com a amplitude das marés ao longo do mês?**
- **Em que dias e horas as marés apresentam as maiores amplitudes?**
- **Em que dias e horas as marés apresentam as menores amplitudes?**

Agora precisamos conduzir uma discussão que leve a turma a refletir sobre a possibilidade das posições da Lua e do Sol resultarem nesta mudança de amplitude. Vamos pedir que os alunos marquem em seus gráficos os períodos relativos as fases lunares. A título de ilustração, mostramos esse gráfico preparado com auxílio do programa Origin (Figura 1.22).

Então, podemos mostrar uma imagem da Terra, da Lua e do Sol quando estamos em cada uma das fases da Lua e com a imagem posta para a turma (projetada ou desenhada no quadro), faríamos a seguinte pergunta:

- **Em qual das situações desta figura, teríamos as preamares de maiores amplitudes e as de menores amplitudes?**

Também daríamos a oportunidade de a turma refletir sozinha sobre esta pergunta, dando alguns minutos para isso. Em seguida, podemos levantar a

discussão sobre as posições relativas da Terra, Lua e Sol resultarem nas fases da Lua e seria a oportunidade de falarmos das marés de Sizígia e marés de Quadratura. Aqui será também um bom momento para mencionarmos a supremacia da ação lunar em relação à solar no efeito de maré. Ao tratarmos da relação entre as marés solar e lunar, podemos sugerir que os alunos calculem o valor da força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol, separadamente, sobre uma massa qualquer na superfície da Terra. Isso mostraria que a força do Sol é bem maior do que a força da Lua, então estaríamos induzindo a mais um impasse para avançarmos à etapa da dedução da expressão da **Força de Maré**.

BI-8 – Oitava Etapa: elaboração do modelo de equilíbrio

Etapa de elaboração do *modelo de equilíbrio* e dedução da força que impele o movimento de maré, a força de maré. Não fazemos nenhuma sugestão em especial sobre essa etapa uma vez que seu planejamento é muito dependente do público alvo. Acreditamos que é possível também se limitar a uma discussão mais qualitativa mostrando a importância da força centrífuga e a não uniformidade na distribuição da força de atração gravitacional, tanto da Lua quanto do Sol, ao longo da superfície do planeta.

BI-9 – Nona Etapa: uma proposta simples de simulação do modelo astronômico

Logo do primeiro contato com um gráfico das marés, é possível perceber que estamos lidando com um fenômeno periódico e com períodos bem definidos. Então, uma atividade interessante seria simular matematicamente o movimento de maré em função das conclusões obtidas com o modelo.

Uma função periódica $y = f(x)$ é a função cujo comportamento se repete para determinados valores de x , isto é, existe um valor mínimo T para o qual $f(x) = f(x+T)$ para todo x . T é denominado o período de $f(x)$. As funções trigonométricas Seno e Cosseno têm esta propriedade e podem modelar um fenômeno periódico, como é o caso das marés.

A função,

$$y = \sin\left(\frac{2\pi}{T}x\right)$$

é uma função periódica de período T . Para relacionarmos esta função com as marés, precisamos definir quem é o período deste fenômeno observado por nós, e quais são os valores de x que faremos variar para montarmos uma tabela no Excel. A partir desta tabela, vamos construir um gráfico para compararmos com os gráficos das marés que observamos ao longo da sequência.

Como sabemos, o comportamento das marés se repete a cada 12 horas aproximadamente e sua causa depende de dois agentes basicamente: a Lua e o Sol. Como cada astro é responsável por uma parcela das marés, na verdade temos dois fenômenos periódicos independentes que se somam resultando as marés observadas. Então, podemos modelar uma função periódica que seja a soma das funções que representem as ações lunar e solar.

De acordo com a teoria sobre as marés descrita neste trabalho, a formação do bojo de maré será motivada pela passagem do astro causador (lua ou Sol) pelo meridiano daquela região, e pelo meridiano da localidade diametralmente oposta. Ou seja, quando a Terra dá meia volta em relação ao Sol ou à Lua, o comportamento da maré volta a se repetir. Então, já temos o período das marés: meio dia.

Porém, meio dia solar e meio dia lunar correspondem a intervalos de tempo diferentes, porque a Lua se desloca consideravelmente em relação à Terra (esta explicação foi feita com detalhes no capítulo 1). Então, o meio dia solar é de 12 horas e o meio dia lunar é de, aproximadamente 12,5 horas.

Aplicando estes valores na equação acima, e supondo $\pi \approx 3,14$, teremos que

$$y_{\text{sol}} = \sin(0,5233 \cdot x)$$

$$y_{\text{lua}} = \sin(0,5024 \cdot x)$$

$$y_{\text{total}} = y_{\text{sol}} + y_{\text{lua}}$$

Então, podemos fazer um gráfico para y_{total} e analisar seu comportamento. No entanto, precisamos estabelecer quais valores de x vamos usar, para

montarmos uma tabela e daí selecionarmos os valores para a construção gráfica. No caso, o valor de x corresponde às horas que se passam ao longo do tempo que vamos querer analisar no gráfico. Se vamos montar a tabela para analisar um dia, podemos colocar valores de 1 a 24. Se quisermos analisar uma semana, deveremos criar uma tabela com valores de 1 a 168 (quantidade de horas em uma semana), e se quisermos analisar os valores em um mês, deveremos usar x variando de 0 a 719 (considerando o mês padrão de 30 dias), sempre colocando em horas, porque estamos usando o período em horas.

Para criar este gráfico com o Excel, basta seguir os seguintes passos:

- Colocar na primeira coluna os valores de 0 a 23. Para tornar mais prático, coloque 0, 1, e 2 nas três primeiras linhas, selecione os três valores, coloque o cursor do *mouse* no canto inferior direito da célula que contém o número 3 e pressione o botão esquerdo. Com o botão pressionado, arraste para baixo até a linha 24.
- Na primeira célula da coluna B siga o seguinte comando: = $\text{sen}(0,5233*A_1)+\text{sen}(0,5024*A_1)$.
- Depois de ter colocado a função nesta primeira célula da coluna B, coloque o cursor no seu canto inferior direito até que apareça a cruz preta, e clique duas vezes com o botão esquerdo.

Depois de criada a tabela, vamos inserir uma linha acima dos valores para colocar as denominações x e y.

A seguir, vamos selecionar as duas colunas e clicar em **Inserir, Gráficos recomendados**. Esta opção já coloca a primeira coluna no eixo horizontal e a segunda coluna no eixo vertical. Vamos escolher o gráfico do tipo **Linha**, que é a quarta opção.

Comparando o gráfico da Figura 1.23 com o gráfico da Figura 1.15, podemos observar que o comportamento é similar.

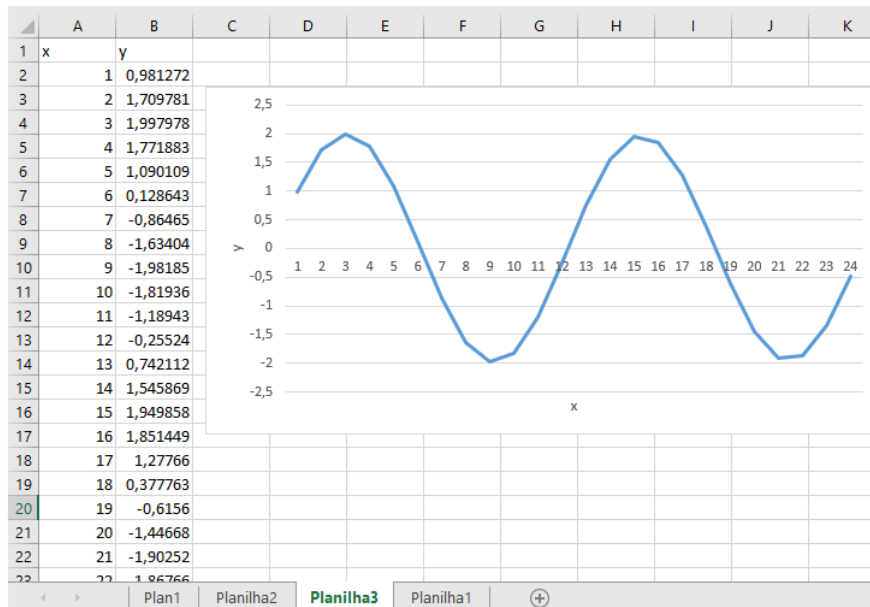


Figura 1.23 - Gráfico da função $y = \text{sen}(0,5233*x) + \text{sen}(0,5024*x)$, para x variando de 0 a 23, por valores inteiros. O resultado simula o que vemos no período de 1 dia ou 24h.

Para fazermos esta análise em um mês, basta acrescentarmos valores à coluna de x até completar 719, e colocarmos os valores de y correspondentes. Para isso, siga os seguintes passos:

- Vamos selecionar todos os valores da coluna x , em seguida vamos colocar o cursor no canto inferior direito da última célula desta coluna e pressionar o botão esquerdo do mouse. Enquanto pressionamos, vamos arrastar até a linha A720.
- Agora, na célula da linha 24 da coluna y , vamos colocar o cursor no canto inferior direito para que apareça a cruz preta, e vamos dar dois cliques com o botão esquerdo.

Feitos estes procedimentos, a tabela será criada com valores correspondentes a um mês. Agora faremos o mesmo procedimento para a criação do gráfico recomendado.

A o gráfico simulado na Figura 1.24 é parecido com o gráfico observado na Figura 1.22 das marés em um mês obtidos com o marógrafo da Ponta da Armação.

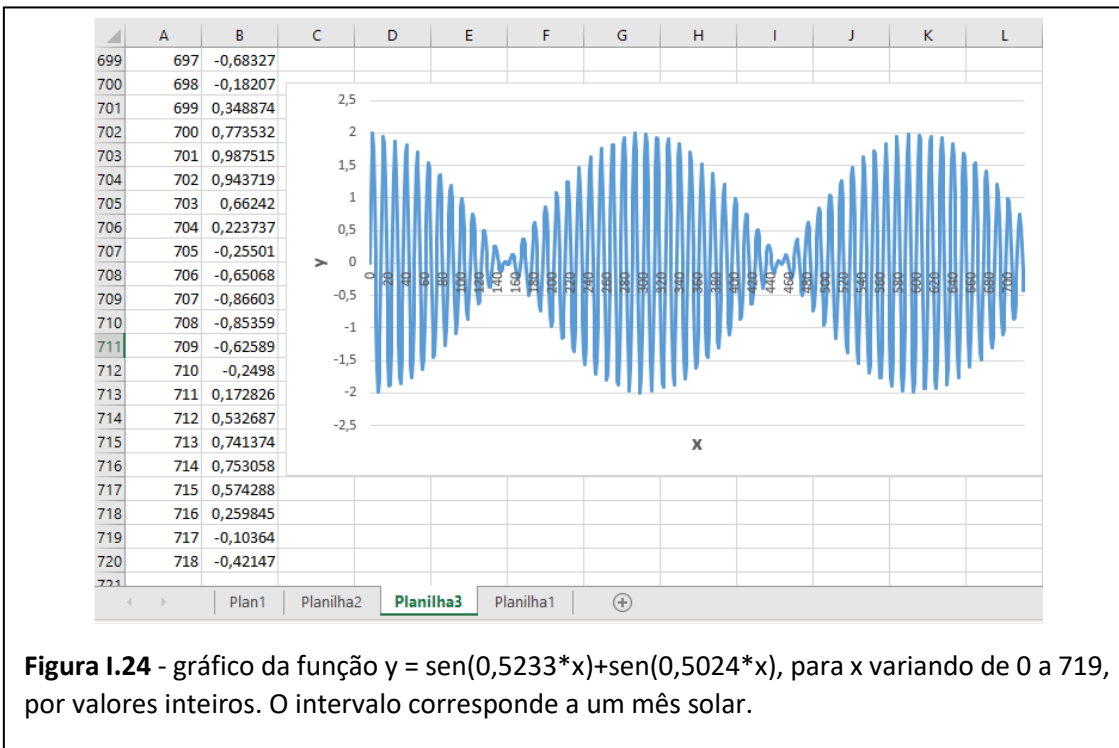


Figura I.24 - gráfico da função $y = \text{sen}(0,5233*x) + \text{sen}(0,5024*x)$, para x variando de 0 a 719, por valores inteiros. O intervalo corresponde a um mês solar.

BI-10 – Décima Etapa: investigando o comportamento da maré em dois pontos diferente da Baía da Guanabara.

Nesta etapa vamos usar os dados do marégrafo sônico construído para este trabalho e instalado no CIAGA e comparar com os dados do CHM, cujo marégrafo usado está instalado na Ponta da Armação, em Niterói. Então, a proposta é começar a aula com o seguinte problema: **descubra se há alguma defasagem entre as marés na Ponta da Armação e as marés no CIAGA.**

Tarefa básica desta etapa é pedir que a turma construa o gráfico com os dados de marés do nosso marégrafo. O procedimento é idêntico ao empregado com os dados fornecidos pelo CHM.

Para ilustrar o tipo de resultado que podemos encontrar selecionamos uma coleta de dados realizadas no marégrafo sônico do CIAGA no período de **14/11/2018 à 27/11/2018**. O gráfico de maré encontrado é mostrado na Figura 1.25. A diferença que temos nos dados coletados no CIAGA é que o intervalo dos registros era de 30 s.

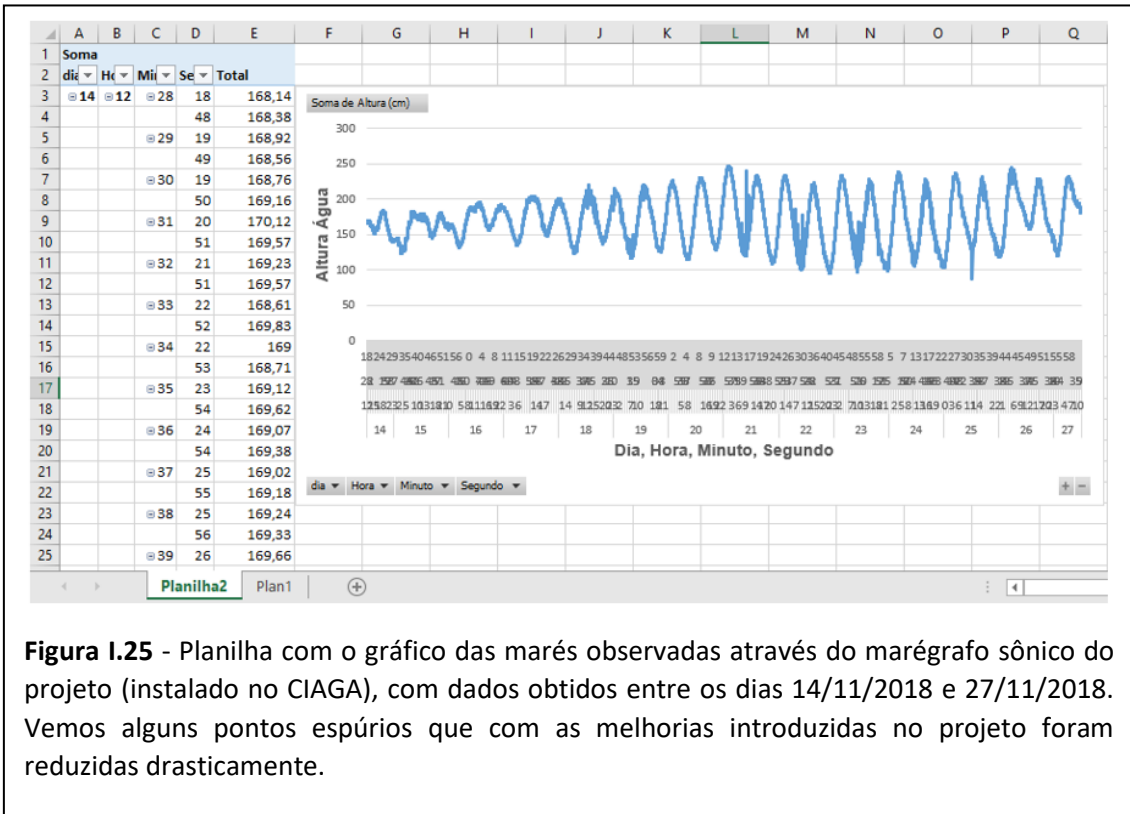


Figura I.25 - Planilha com o gráfico das marés observadas através do marégrafo sônico do projeto (instalado no CIAGA), com dados obtidos entre os dias 14/11/2018 e 27/11/2018. Vemos alguns pontos espúrios que com as melhorias introduzidas no projeto foram reduzidas drasticamente.

Vamos proceder a comparação dos gráficos obtidos a partir dos marégrafos da Ponta da Armação e do CIAGA para verificarmos se há ou não defasagem entre estes dois pontos da Baía de Guanabara.

Posto o problema, é possível que uma mediação seja necessária para orientar a turma na escolha dos métodos usados na busca pela resposta. E a primeira coisa é eles perceberem que precisam comparar os dados do mesmo período dos dois marégrafos. Chegando a esta conclusão, eles podem optar por analisar os instantes de cada baixa mar e de cada preamar nas tabelas dos dois marégrafos para observarem se há alguma defasagem perceptível, ou usarem os gráficos sobrepostos para analisarem se os picos se encontram defasados.

Para comparar os dois gráficos, uma forma muito interessante seria plotar os dois juntos na mesma planilha do Excel e isto é possível, desde que estejamos lidando com valores de abcissas iguais. Porém, os dados da Marinha são registrados de cinco em cinco minutos, e os dados do marégrafo sônico, a

cada trinta segundos. Logo, não teremos como comparar diretamente na mesma planilha do Excel. Então precisaremos olhar os gráficos separadamente, comparando os instantes em que acontecem os picos nos dois e observar se há ou não defasagem. Vamos propor que os alunos analisem dia a dia, observando os instantes das baixas e das altas das marés.

Para facilitar nossa análise dos picos no gráfico, podemos usar uma linha pontilhada descendo do gráfico até o eixo horizontal para servir de orientação. Estas formas podem ser inseridas no Excel indo em **Inserir, Ilustrações, Formas, Linhas**. Vamos pegar o dia 20/11/2018 como exemplo, porque temos o gráfico bem definido devido à maior amplitude das marés neste período. Os dados fornecidos pelos marégrafos oficiais da Marinha não levam em conta o horário de verão, então “para obter o horário correto das alturas da maré (...) os usuários devem somar 1 (uma) hora às fornecidas” (BRASIL, 2014). O marégrafo usado pelo projeto tem a hora ajustada levando em consideração a mudança de horário prevista para o período, então precisaremos fazer o ajuste em um dos conjuntos de dados. Vamos optar por ajustar os dados da Ponta da Armação. Abaixo vamos mostrar o passo a passo para isso.

1 – Criar uma coluna **Correção**

- Na primeira coluna vazia da planilha já criada com os dados do marégrafo da Ponta da Armação vamos criar uma coluna com o nome de **Correção**.
- Vamos colocar na primeira célula o valor 1.
- Colocar o cursor do *mouse* no canto inferior direito da célula e dar dois cliques com o botão esquerdo para que este valor seja replicado para todas as células da coluna.

2 – Criar uma coluna **Hora Corrigida**

- Na coluna à direita vamos colocar o nome de **Hora Corrigida**.
- Na primeira célula vamos colocar a função **=D2+G2**. Isso pode ser feito colocando o sinal de igual, clicando na célula **D2** (primeiro valor de **Hora**) e, em seguida, clicar na célula **G2** (primeiro valor de **Correção**)
- Colocar o cursor do *mouse* no canto inferior direito da célula e clicar duas vezes com o botão esquerdo.

A figura 1.26 representa como ficaria a tabela com as devidas correções.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dia	Mês	Ano	Hora	Minuto	Altura (cm)	Correção	Hora corrigida
2	1	11	2018	0	0	164	1	1
3	1	11	2018	0	5	163	1	1
4	1	11	2018	0	10	163	1	1
5	1	11	2018	0	15	163	1	1
6	1	11	2018	0	20	163	1	1
7	1	11	2018	0	25	163	1	1
8	1	11	2018	0	30	163	1	1
9	1	11	2018	0	35	163	1	1
10	1	11	2018	0	40	162	1	1
11	1	11	2018	0	45	162	1	1
12	1	11	2018	0	50	161	1	1
13	1	11	2018	0	55	161	1	1
14	1	11	2018	1	0	160	1	2
15	1	11	2018	1	5	160	1	2
16	1	11	2018	1	10	159	1	2
17	1	11	2018	1	15	158	1	2
18	1	11	2018	1	20	158	1	2
19	1	11	2018	1	25	157	1	2
20	1	11	2018	1	30	156	1	2
21	1	11	2018	1	35	155	1	2

Figura I.26 - Figura: planilha de Excel com os dados da Ponta da Armação devidamente corrigidos em relação ao Horário de Verão.

Mas aqui surgirá a necessidade de outro ajuste, porque ao adiantar em uma hora o relógio, a hora 23:00 de um dia passa a ser a hora 00:00 do dia seguinte, mas diante da nossa correção, teremos a hora 24:00 ao invés da 00:00. Então precisaremos substituir todos os valores 24 pelos valores 0 na coluna **Hora Corrigida** e mudar o dia correspondente a estas horas para o dia seguinte.

Na figura 1.27 estão marcadas as linhas correspondentes ao dia 29 no intervalo de horas 24. Vamos precisar modificar estes dias para 30 e as horas para 0. Observe a figura 1.28.

Feito todo este processo, vamos construir o gráfico com as horas devidamente corrigidas no intervalo que nos interessa. O resultado para as duas estações é mostrado nas figuras 1.29 e 1.30.

Em uma primeira análise dos instantes em que ocorrem as marés altas e as baixas para os dois marégrafos, podemos observar que, ao menos as horas coincidem para os dois gráficos, então precisaremos olhar as horas 1, 8, 14 e 20 nos dois gráficos para ver se há diferença de minutos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8336	29	11	2018	22	30	184	1	23	
8337	29	11	2018	22	35	184	1	23	
8338	29	11	2018	22	40	184	1	23	
8339	29	11	2018	22	45	184	1	23	
8340	29	11	2018	22	50	184	1	23	
8341	29	11	2018	22	55	184	1	23	
8342	29	11	2018	23	0	183	1	24	
8343	29	11	2018	23	5	183	1	24	
8344	29	11	2018	23	10	183	1	24	
8345	29	11	2018	23	15	183	1	24	
8346	29	11	2018	23	20	183	1	24	
8347	29	11	2018	23	25	183	1	24	
8348	29	11	2018	23	30	182	1	24	
8349	29	11	2018	23	35	182	1	24	
8350	29	11	2018	23	40	182	1	24	
8351	29	11	2018	23	45	182	1	24	
8352	29	11	2018	23	50	181	1	24	
8353	29	11	2018	23	55	181	1	24	
8354	30	11	2018	0	0	180	1	1	
8355	30	11	2018	0	5	180	1	1	
8356	30	11	2018	0	10	179	1	1	
8357	30	11	2018	0	15	179	1	1	
8358	30	11	2018	0	20	178	1	1	

Figura I.27 - Dados com as horas 24 que deverão ser transformadas em hora 0.

	A	B	C	D	E	F	G	H
8336	29	11	2018	22	30	184	1	23
8337	29	11	2018	22	35	184	1	23
8338	29	11	2018	22	40	184	1	23
8339	29	11	2018	22	45	184	1	23
8340	29	11	2018	22	50	184	1	23
8341	29	11	2018	22	55	184	1	23
8342	30	11	2018	23	0	183	1	0
8343	30	11	2018	23	5	183	1	0
8344	30	11	2018	23	10	183	1	0
8345	30	11	2018	23	15	183	1	0
8346	30	11	2018	23	20	183	1	0
8347	30	11	2018	23	25	183	1	0
8348	30	11	2018	23	30	182	1	0
8349	30	11	2018	23	35	182	1	0
8350	30	11	2018	23	40	182	1	0
8351	30	11	2018	23	45	182	1	0
8352	30	11	2018	23	50	181	1	0
8353	30	11	2018	23	55	181	1	0
8354	30	11	2018	0	0	180	1	1
8355	30	11	2018	0	5	180	1	1
8356	30	11	2018	0	10	179	1	1
8357	30	11	2018	0	15	179	1	1
8358	30	11	2018	0	20	178	1	1

Figura I.28 – A hora 24 corrigida para 0 e dia 29 corrigido para 30.

altura (o maior neste intervalo, logo, a primeira maré alta do dia). Podemos tomar como uma primeira medida a posição do pico no meio do intervalo: 1h 37 min. Podemos pensar numa forma mais elaborada para essa medida que leve em consideração um número maior de dados, mas por hora achamos mais

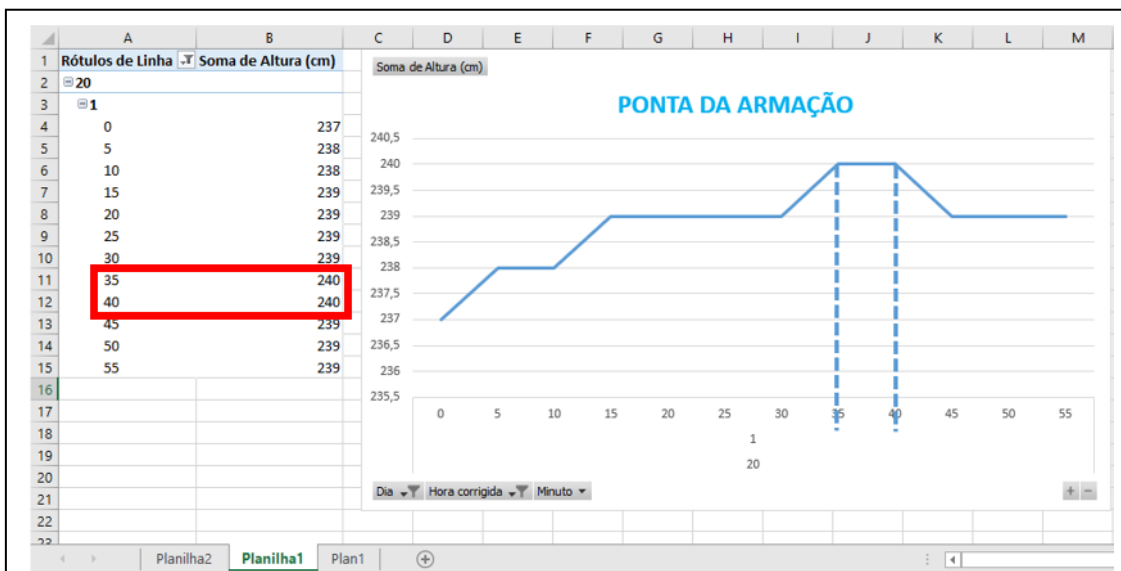


Figura I.31 - Gráfico das marés da Ponta da Armação do dia 20/11/2018, somente para a hora 1.

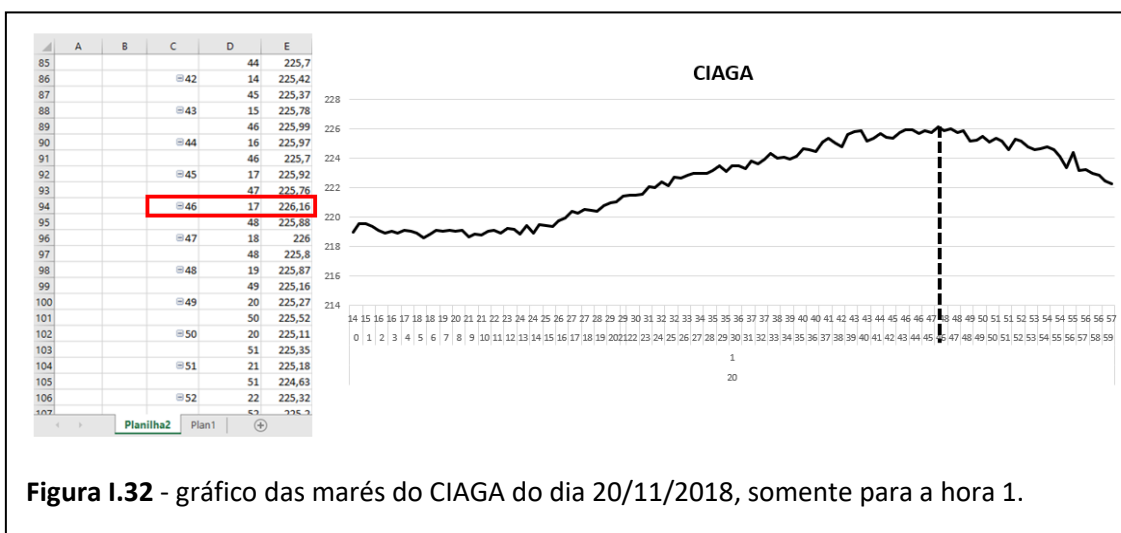


Figura I.32 - gráfico das marés do CIAGA do dia 20/11/2018, somente para a hora 1.

conveniente um critério mais simples baseado na observação do gráfico

Com o marégrafo do CIAGA (figura 1.32), temos duas medidas para cada minuto, e uma dispersão de dados um pouco maior. Vale observar que a ordem

para os valores do eixo horizontal é, de baixo para cima, dia (20), hora (1), minutos (0 a 59) e segundos.

O maior valor neste intervalo é de 226,16 cm, que acontece no minuto 46, aos 17 segundos. Entretanto, temos que considerar o registro da altura como sendo confiável até a casa do centímetro e não do décimo ou centésimo. Isso é uma consideração feita sobre as características do sensor ultrassônico descrito no Apêndice 1 e nas características da grandeza medida. Nas próximas versões os dados serão gravados sem as casas decimais. Podemos estimar o horário da maré alta como 1h 46 min.

Observando estes gráficos, vemos que há uma diferença entre as altas que pode ser estimada em 10 minutos e que esta alta é observada primeiro na Ponta da Armação.

Então vamos analisar a hora 8 e fazer a medida.

BI-10.2 – Análise da hora 8

Vemos na figura 1.33 que o baixamar ocorre após as 8h. Neste caso, entre o minuto 0 e o minuto 25 onde temos o registro do valor 141 cm, que é a primeira maré baixa do dia. Podemos tomar o centro do intervalo e registrar o valor: 8h 12 min.

A primeira baixa mar do dia 20 registrada no marégrafo do CIAGA (figura 1.34) foi no minuto 29 da oitava hora. O valor foi de 115,37 cm. Observe, porém, que não há uma descida de valores consistente antes desta baixa, porque podemos observar muita oscilação (embora pequena) entorno do valor, o mesmo acontecendo depois desta baixa, quando a maré volta a subir. Podemos tomar como estimativa o horário da baixa como 8h 29 min.

Analisando, há uma diferença na baixa estimada em 17 minutos com a baixa observada na Ponta da Armação sendo anterior à observada no CIAGA.

O mesmo procedimento pode ser observado para os picos seguintes. Podemos reunir esses resultados na tabela seguinte:

Data: 20 de novembro de 2018			
	Ponta da Armação	CIAGA	Diferença
Preamar I	1h 37min	1h 46 min	+ 11 min
Baixamar I	8h 12min	8h 29min	+ 17 min
Preamar II	14h 5min	13h 47min	- 18 min
Baixamar II	20h 23min	20h 29min	+ 6 min

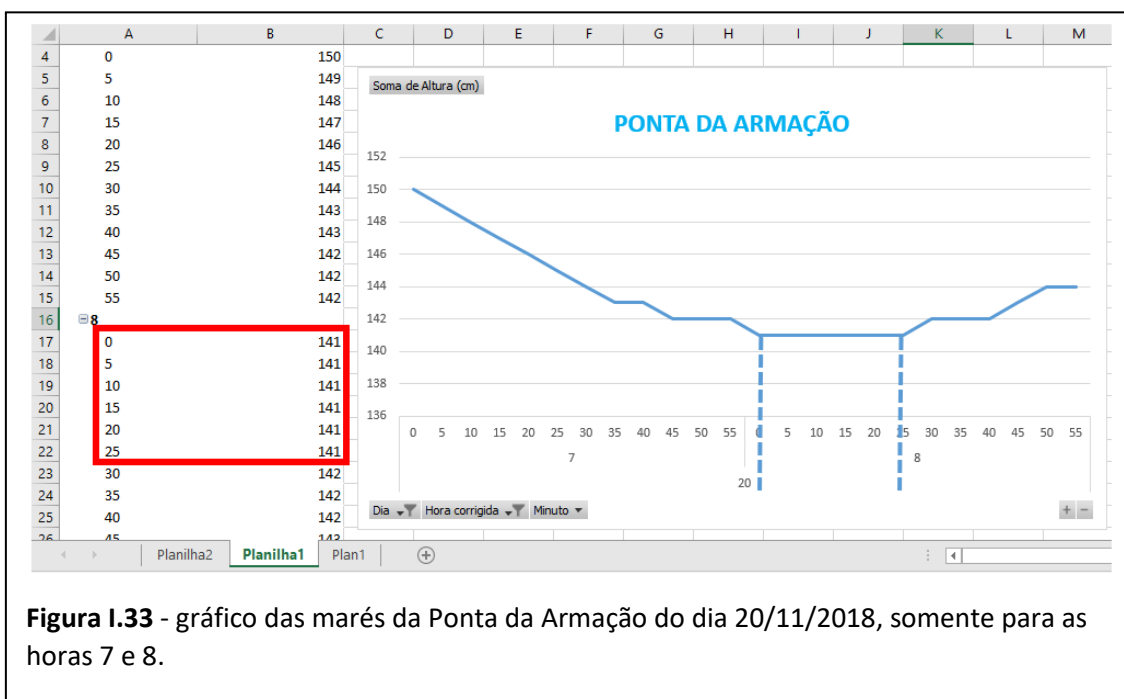


Figura I.33 - gráfico das marés da Ponta da Armação do dia 20/11/2018, somente para as horas 7 e 8.

Esses resultados preliminares mostram o que os alunos poderiam encontrar nesta investigação. Eles servem para concluir algumas coisas interessantes:

- Os resultados sugerem que existe uma diferença entre os horários da preamar e baixamar observados entre a Ponta da Armação e o CIAGA. Essa diferença não é constante e parece ter um caráter complexo que precisa ser estudado para um número maior de dias.

- Se faz necessário melhorar o método para medir os pontos de preamar e baixamar. Esse método deve ser menos visual e levar em conta um número maior de dados. As medidas devem ser aferidas no marégrafo ultrassônico e a precisão final deve ser levada em conta.
- A diferença entre os horários deve estar ligada à formação de *correntes de maré* que se formam na Baía de Guanabara. Se for assim abre-se espaço para aprofundar a investigação sobre essas correntes tanto no fluxo (entrada das águas) quanto no refluxo (saída das águas).

Com relação a esses dados é importante um esclarecimento complementar. Devido a limitações técnicas os dados do marégrafo sônico não foram corrigidos pela variação da temperatura do ar. Essa correção só foi implementada posteriormente, mas acreditamos que, mesmo com essas correções, teríamos observado essa defasagem.

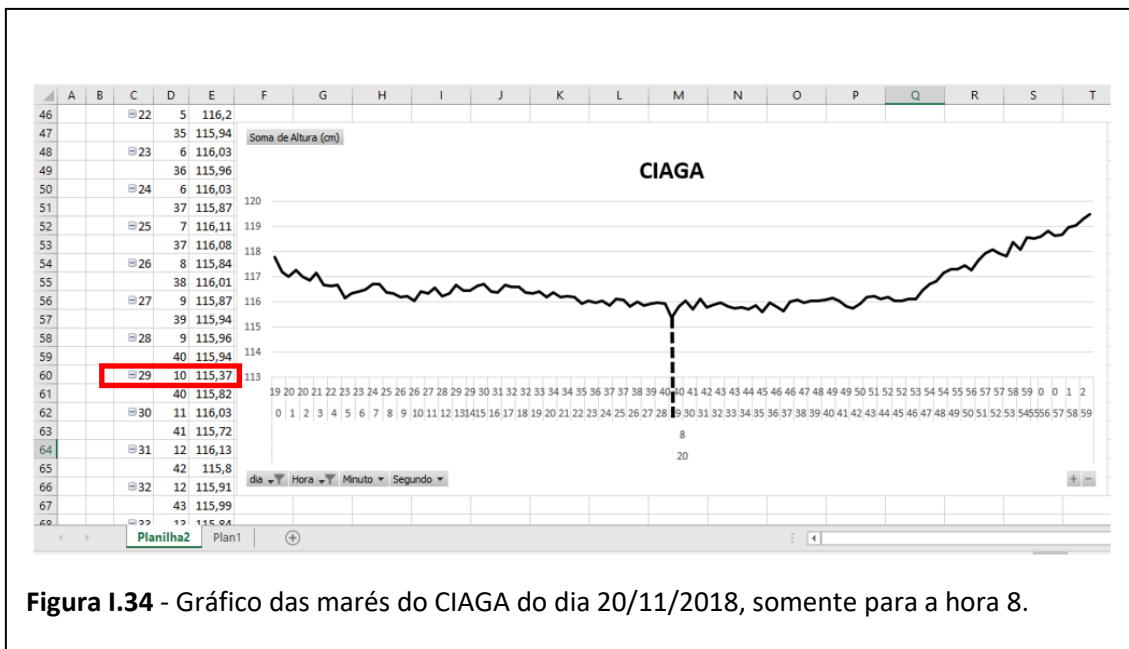


Figura I.34 - Gráfico das marés do CIAGA do dia 20/11/2018, somente para a hora 8.

BI-11 - Considerações Finais

O desenvolvimento deste material buscou organizar uma sequência didática que oriente a aplicação de atividades à base de investigações sobre as marés. No entanto, devemos ter em mente que adaptações e modificações sempre serão bem-vindas para que o trabalho possa ser adequado à realidade de cada professor e cada escola. É perfeitamente plausível que usemos apenas partes da sequência, que encurtemos alguma etapa, ou que acrescentemos outras para um estudo mais completo.

Situações como a viabilidade das turmas fazerem as visitas sugeridas, o acesso dos alunos às ferramentas digitais fora e dentro da escola (computador e smartphone com acesso à internet, por exemplo), são coisas que deverão ser levadas em conta quando houver a pretensão de aplicar o projeto, para que alternativas sejam criadas.

Além disso, os resultados práticos desta sequência carecem de medidas, porque apenas partes pequenas dela foram aplicadas em sala de aula, então teremos a missão de obter dados e estudar o impacto desta proposta no ensino das marés. A resolução dos problemas propostos ao longo da sequência poderá servir como parâmetro do quanto os alunos estão evoluindo ao longo da aplicação, mas a verificação efetiva do aprendizado é algo que também precisa de aperfeiçoamento para que a sequência seja avaliada enquanto proposta pedagógica.

Fato é que um assunto tão interessante quanto a maré tem um poder enorme no encantamento junto aos alunos e no despertar do interesse em desenvolver os estudos sobre o fenômeno. Então, que mais estudos e novas sequências surjam no sentido de explorar o potencial deste assunto e todas as habilidades que ele pode ajudar a desenvolver nos alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU L. C. A., et. al. *A Epistemologia Genética De Piaget E O Construtivismo*, Revista Brasileira de Crescimento e Desenvolvimento Humano, n. 20, vol. 2, p. 361-366, 2010.

AFONSO, G. B., *F Galileu E A Natureza Dos Tupinambá*, Scientific American Brasil, p. 60-65, Maio, 2009.

ALONSO, M., FINN, E. J., *Física, Um Curso Universitário, Vol. 2*, Ed. Edgard Blücher Ltda., 1972.

BACON, F., *Scientiae Studia*, N. 4, V. 5, 520-548, 2007.

BACON, F., *Novum Organum*, Tradução de José Aluysio Reis de Andrade, Digitalizado pelo grupo de discussão Acrópolis. São Paulo. 2002. Disponível em: < <http://br.egroups.com/group/acropolis/> >. Último acesso em: 11/02/2019.

BRASIL. MARINHA. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. *Tábuas das marés Almirante Franco para 2015*. Niterói: DHN, 2014.

CARVALHO, L. R. M. de, AMORIM, H. S. de, *Observando as Marés Atmosféricas: Uma Aplicação Da Placa Arduino Com Sensores De Pressão Barométrica E Temperatura*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 3, 2014.

CARVALHO, L. R. M. de, *Variações Diurnas Na Pressão Atmosférica: Um Estudo Investigativo Baseado Na Utilização Da Placa Arduino*, Dissertação de Mestrado, Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

CHAIB, J. P. M. de C., AGUIAR, M. da C., *Força De Inércia: Aprofundando O Debate*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 1, p. 142-161, abr. 2016.

COLLING, A., BROWN, E., WRIGHT, J. B., PARK, D. *Waves, Tides and Shallow Water Processes*, ed. Butterworth – Heinemann. Oxford, 1999.

CURCIO, Q. *De La Vida Y Acciones De Alexandro El Grande*. Tradução para o Espanhol de Mateo Ibañez de Segovia. Madrid, 1794.

DARWIN, G. H., *The Tides And Kindred Phenomena In The Solar system*, Boston, 1899.

DESCARTES, R., *Princípios da Filosofia*, Tradução de João Gama, ed. Edições 70, Lisboa, Portugal, 1997.

ESPINDOLA, R. L., *Desenvolvimento E Testes De Uma Ferramenta Computacional Para A Previsão Da Maré Astronômica*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade federal de Pernambuco. Recife, 2012.

FERREIRA, H. C., *A Teoria Piagetiana Da Equilibração E As Suas Consequências Educacionais*, Série Estudos, ed. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, Portugal, 2003.

FERREIRA, J. C., *Discutindo A Física Das Marés Como Proposta Para A Crise De Energia Elétrica*, Dissertação (Mestrado em Ensino de Biociências) – Instituto Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2016.

FERRACIOLLI, LAÉRCIO, *Aspectos Da Construção Do Conhecimento e da Aprendizagem Na Obra De Piaget*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 2: p. 180-194, ago. 1999.

FREZZA, J. S., MARQUES, T. B. I., *Schème*, *Revista Eletronica de Psicologia e Epistemologia Genéticas*, N. 3, V. 2, p. 278-294, 2009.

GALILEI, G. *Diálogo Sobre Os Dois Máximos Sistemas Do Mundo Ptolomaico e Copernicano*. Tradução de Pablo Ruben Mariconda. 3ª. ed. Editora 34, 2011.

GROSS, M. G., *Oceanografia*, Nueva Colección Labor, 1971.

KULESZA, W., *Previsão Astronômica Através Da Observação Das Marés*, Revista de Ensino de Física, vol. 10, dez. 1998.

JUNIOR. O. F., FILHO, M. M., VALLE, A. L. do, Uma Exposição Didática De Como Newton Apresentou A Força Gravitacional, Física na Escola, v. 5, n.1, 2004.

LOPES, W., *cEfeitos Das Marés Sobre O Sistema Terra-Lua*, Revista Brasileira do Ensino de Física, vol. 18, n. 4, dez. 1996.

REZENDE, P. L., A Lua E O Comportamento Das Marés, Dissertação de Mestrado, Ensino de Física, Universidade Estadual de Santa Cruz. Bahia, 2017.

LAPLACE, P. S., *Oeuvres completes de Laplace*, Paris, 1843.

LOURENÇO, R. S., PALMA, A. P. T. V, *O conflito cognitivo como princípio pedagógico no processo ensino-aprendizagem nas aulas de educação física*, Anais do "II CONPEF –Congresso Norte Paranaense de Educação Física Escolar" P. 157, julho/2005 (ISBN 85-7216-433-2).

MACHADO, C. A., PINHEIRO, M. R., *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Campinas, Série 4, N. 2, V. 1, 301-332, 2015.

MARION, J. B., THORNTON, S. T., *Classical Dynamics of Particles And systems*, Ed. CENGAGE Learning. 2005.

NEWTON, I., *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Tradução de Fábio Duarte Joly, 1ª ed., São Paulo, Editora USP, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M., Curso De Física Básica, vol. 1, ed. Edgard Blucher Ltda, 2002.

PINHEIRO, M. R., MACHADO, C. de A., *Tradução Comentada Dos Três Primeiros Capítulos Do Tetrabiblos De Ptolomeu*, Caderno de História e Filosofia da Ciência., Campinas, Série 4, v. 1, n. 2, p. 301-332, jul.-dez. 2015.

PLINIO, *A História Natural*, In: Perseus Digital Library. Disponível em: <<http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.02.0137>>

PREUSSLER, R., *Análise Dos Processos De Assimilação, Acomodação E Equilibração Na Aprendizagem Da Matemática: Uma Experiência Envolvendo Geometria*, IV Jornada Nacional de Educação Matemática. Passo Fundo, 2012.

SASSERON, L. H., *Revista Ensaio*, v.17 (número especial), p. 49-67, 2015.

SCHUREMAN, P., *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides*, U.S. Department of Commerce, Government Printing Office, Washington, USA, 1941.

SILVEIRA, F. L. da, *Marés, Fases Principais Da Lua e Bebês*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, V.20, N. 1: P.10-29, ABR. 2003.

SOUSA, R. R. de, *Modelagem Numérica Da Circulação De Correntes De Maré Na Baía De Marajó E Rio Pará (PA)*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

TEIXEIRA, E. S., PEDUZZI, L. O. Q., JR., O. L., *Os Caminhos De Newton Para A Gravitação Universal: Uma Revisão Do Debate Histórico Entre Cohen E Westfall*, Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. 2: p. 215-254, ago. 2010.

TARSIA, R. D., *O Problema De Dois Corpos - Aplicações Pouco Discutidas nos Cursos De Mecânica*, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 20, n. 2, junho, 1998.

