



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA:
UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO
NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO**

ANEXO II – Orientações para o professor

Luiz Raimundo Moreira de Carvalho

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Luiz Raimundo Moreira de Carvalho, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2014

C331v Carvalho, Luiz Raimundo Moreira de

Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino / Luiz Raimundo Moreira de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2014.

xxiii, 234 f. : il. ; 30cm

Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Dr. Helio Salim de Amorim

Referências Bibliográficas: f. 133-143.

1. Física - ensino e aprendizagem. 2. Pressão atmosférica. 3. Atividade experimental investigativa. I. Amorim, Helio Salim de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino.

CDD 530.07

A dissertação de mestrado *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* e seus materiais instrucionais, assim como os *sketches* para Arduino, podem ser obtidos em:

http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes.html

VARIAÇÕES DIURNAS NA PRESSÃO ATMOSFÉRICA: UM ESTUDO INVESTIGATIVO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO

Luiz Raimundo M. de Carvalho – PEF-IF / UFRJ ; ETEHL / FAETEC [luiz.fisica.prof@gmail.com]

Helio Salim de Amorim – IF / UFRJ [hsalim@if.ufrj.br]

Orientações para o professor

Prezado colega professor de Física,

o roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* constitui-se como produto educacional da dissertação de mestrado que leva o mesmo título, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro em fevereiro de 2014.

Este trabalho foi elaborado segundo uma perspectiva investigativa para o ensino de Física, buscando trazer para suas aulas uma oportunidade de desenvolver com seus alunos a aprendizagem de conceitos físicos a partir do estudo comparativo entre as marés oceânicas (um fenômeno relativamente conhecido, porém pouco aprofundado nos livros didáticos) e as marés atmosféricas (um fenômeno que, apesar de ser muito interessante, é praticamente desconhecido por estudantes e professores do Ensino Médio).

Esperamos que uma atividade experimental investigativa como esta possa proporcionar a você um ensino de Física mais prazeroso e aos seus estudantes uma aprendizagem mais interessada, efetiva e aprofundada desta ciência.

Considerações iniciais

O roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*, destina-se a estudantes do Ensino Médio e professores de Física. A atividade experimental investigativa poderá ser executada com alunos de qualquer série, mas recomendamos que você avalie a adequação entre os conceitos/conteúdos propostos na atividade e a organização da disciplina Física nas séries de sua escola. Assim, você poderá decidir se é mais conveniente aplicar a atividade com alunos da 1ª, da 2ª ou da 3ª série do Ensino Médio. Se você desejar, também poderá desenvolver um trabalho simultâneo com turmas de diferentes séries ou um trabalho que se estenda com uma turma de uma série para outra.

Antes de iniciar o trabalho experimental-investigativo com seus alunos, consideramos que seria oportuno você proceder da seguinte maneira:

1º) Faça uma leitura do roteiro didático (Anexo I da dissertação). Este é o texto que deverá ser distribuído aos alunos, e portanto você deve se familiarizar com ele. Você irá perceber que o roteiro didático lança muitos questionamentos, pois é a partir dele que os estudantes irão desenvolver o projeto investigativo.

2º) Para que a aplicação da atividade experimental investigativa seja feita de forma adequada, procure fazer uma leitura da dissertação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*. Você poderá fazer uma leitura seletiva da dissertação, aproveitando os capítulos ou seções que sejam, no seu entendimento, mais essenciais para o seu trabalho. Na tentativa de auxiliá-lo na sua leitura da dissertação, nestas **Orientações para o professor** trazemos algumas informações complementares e fazemos algumas considerações a respeito de aspectos técnicos e pedagógicos do projeto.

1 – Tempo de aplicação e planejamento prévio

Acreditamos que a atividade poderá ser desenvolvida com a utilização de 6 a 8 tempos de aula. Entretanto, recomendamos que você faça um planejamento prévio que inclua três aspectos que consideramos importantes: **A)** um estudo sobre as características básicas de uma atividade experimental investigativa; **B)** um reconhecimento acerca das marés oceânicas e das marés atmosféricas; **C)** a execução do projeto de instrumentação que permitirá a realização de medidas da pressão atmosférica. A seguir, você encontra um breve comentário sobre cada um desses três aspectos.

A) Fundamentação pedagógica

As considerações pedagógicas que fundamentam a implantação de uma atividade experimental investigativa podem ser encontradas no Capítulo 1 da dissertação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino*. O Capítulo 1 também traz as características de uma atividade desta natureza, bem como justifica a aplicação da História da Ciência e a análise das concepções alternativas dos estudantes.

B) As marés atmosféricas e as marés oceânicas

O Capítulo 2 apresenta um estudo sobre as marés oceânicas, podendo servir de base para que você se familiarize com este fenômeno e compreenda um pouco da sua relação com a Teoria da Gravitação newtoniana. Com seus alunos, acreditamos que você não precisará tratar das marés oceânicas seguindo um modelo matemático complexo de interações gravitacionais. Basta que sejam destacados aspectos qualitativos, como o caráter atrativo da força gravitacional e o fato de que o sistema Terra-Lua é um referencial não-inercial (pois a Terra e a Lua giram em torno do centro de massa do sistema). A propósito, é a caracterização do sistema Terra-Lua como um sistema de

referência não-inercial que explica a formação da maré alta antipodal, uma vez que nos referenciais girantes ocorre o “surgimento de forças centrífugas”.

No caso das marés atmosféricas, também temos a ocorrência de uma maré alta antipodal. Entretanto, por tratar-se de uma maré barométrica, sua manifestação decorre da migração e da redistribuição da energia radiante pela atmosfera terrestre. Estas, por sua vez, constituem um mecanismo extremamente complexo, sendo objeto de análises e estudos até hoje e que, portanto, não se resolvem no âmbito da pesquisa escolar. Na tentativa de se compreender tais particularidades relacionadas às marés atmosféricas, começamos a conhecer melhor algumas das características da própria atmosfera, em especial no que diz respeito aos seus estratos superiores. Se você desejar saber mais detalhes técnicos sobre as marés atmosféricas, recomendamos a leitura do livro *Atmospheric Tides*, de Richard Lindzen e Sydney Chapman [Lindzen 1969]. (Versões em PDF podem ser obtidas na internet.)

Algumas comparações entre características das marés atmosféricas e das marés oceânicas são encontradas principalmente no Capítulo 5 da dissertação. Queremos destacar que, com os estudantes do Ensino Médio, você deve usar uma análise dos períodos das oscilações para diferenciar efeitos gravitacionais (marés oceânicas) de efeitos não gravitacionais (marés atmosféricas), evitando assim modelos matemáticos que são demasiadamente complexos para serem tratados com os alunos. Portanto, sua preocupação deve ser no sentido de fazer com que os estudantes percebam que as marés oceânicas e as marés atmosféricas são fenômenos que têm origens distintas.

C) Montagem de um barômetro automatizado

Para a montagem do barômetro automatizado, você deverá consultar o Capítulo 4 e o Apêndice E da dissertação. Recomendamos que seja dada uma atenção especial ao tempo de preparação do aparato experimental. Convém lembrar que todo o conjunto experimental, depois de montado, poderá ser utilizado inúmeras vezes, compensando assim o tempo gasto em sua preparação.

Para a montagem completa do experimento, o professor (ou a escola) precisará comprar os itens descritos no Capítulo 4. Você pode tentar adquirir alguns dos materiais em lojas físicas, mas na internet existem diversos fornecedores que enviam os produtos (Arduino, acessórios, sensores etc.) pelos Correios ou por transportadoras. Recomendamos a você uma visita aos seguintes sites:

Laboratório de Garagem: <http://www.labdegaragem.org/loja/>

Farnell: <http://www.farnell.com.br>

Multilógica: <http://multilogica-shop.com>

Robocore: <http://www.robocore.net>

Adafruit: <http://www.adafruit.com>

SparkFun: <https://www.sparkfun.com>

Para proceder com as montagens apresentadas no Capítulo 4, você também vai precisar de um pouco de solda, de um ferro de soldar, de um alicate, de um estilete etc. Se você não tiver prática de soldagem, peça auxílio para um profissional em eletrônica ou para alguém que tenha maior familiaridade com o uso de um ferro de soldar. Não custa lembrar que componentes eletrônicos costumam ser relativamente sensíveis, devendo ser manipulados com cuidado e atenção para evitar danos.

2 – Conteúdos de Física para os alunos

É muito importante que você não encare o estudo investigativo sobre as marés atmosféricas e oceânicas como “mais um conteúdo para sobrecarregar as aulas de Física”. Ao contrário, queremos que a atividade sirva de base para a aprendizagem de diversos conceitos, fenômenos e conteúdos de Física, que podem ser explorados tanto de forma qualitativa quanto de forma quantitativa a partir da atividade experimental investigativa proposta. Algumas possibilidades de aprendizagem são apresentadas no Capítulo 6 (Seção 6.3) da dissertação.

3 – A História da Ciência

Acreditamos que a História da Ciência não só torna o aprendizado mais interessante e completo como também possibilita um trabalho do professor sobre as concepções alternativas. É muito importante que o professor de Física utilize estratégias específicas voltadas para os alunos que se mostram mais resistentes às ideias científicas em virtude de um maior apreço por suas concepções alternativas. Esse embate deve ser levado à sério tanto pelo professor quanto pelos estudantes, e as polêmicas resultantes do conflito de ideias não podem ser suprimidas das aulas de Física. Sendo assim, o roteiro didático *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* destaca uma abordagem histórica sobre a pressão atmosférica.

Você encontrará um pouco da origem histórica do conceito de pressão atmosférica no Capítulo 3 da dissertação. Neste capítulo, abordamos a história do barômetro de Torricelli, destacando a importância que este instrumento tem para a Física. Comentamos também sobre o termoscópio de Galileo (que é, mais precisamente, um termobaroscópio), um instrumento relativamente fácil de construir e comumente encontrado nas escolas de nível médio. Se você ainda não teve a oportunidade de trabalhar com um termoscópio de Galileo, que tal construir um com seus alunos? Na internet você encontrará uma grande variedade de modelos e sugestões para a construção de um termoscópio.

No Capítulo 3 da dissertação, comentamos que a história do termômetro é paralela à do barômetro. A importância histórica dos primeiros termoscópios é retratada em *Una riunione dell'Accademia del Cimento*, afresco de autoria de Gaspero Martellini (1785 – 1857), localizado na *Tribuna di Galileo* e inaugurado em 1841 no *Museo della Specola*, uma das seções do *Museo di Storia Naturale*, em Florença, Itália. A Figura 101 apresenta uma fotografia de 2009 mostrando uma visão panorâmica do afresco [Sailko 2009], enquanto que a Tabela 22 a seguir apresenta alguns detalhes do afresco.



**FIGURA 101 – Visão panorâmica do afresco
*Una riunione dell'Accademia del Cimento***

**TABELA 22 – Alguns detalhes do afresco
*Una riunione dell'Accademia del Cimento***

1	Busto de Galileo Galilei (1564 – 1642).
2	Ferdinando II de Médici (1610 – 1670), Grão-Duque da Toscana.
3	Giovanni Alfonso Borelli (1608 – 1679), discípulo de Benedetto Castelli.
4	Vincenzo Viviani (1622 – 1703), discípulo de Galileo e de Torricelli.
5	Francesco Redi (1626 – 1697).
6	Príncipe Leopoldo de Médici (1617 – 1675), discípulo de Galileo e irmão de Ferdinando II.
7	Lorenzo Magalotti (1637 – 1712), secretário da <i>Accademia del Cimento</i> .



(Adaptado de *Istituto Centrale per il Catalogo Unico* [ICCU 2005].)

4 – Informações complementares para o professor de Física

A seguir, apresentamos algumas informações que complementam o texto da dissertação *Variações diurnas na pressão atmosférica: um estudo investigativo baseado na utilização da placa Arduino* e que podem ser de seu interesse. Para facilitar, distribuímos os assuntos em alguns itens, fazendo referência às respectivas seções dos capítulos.

A) Pressão atmosférica em função da altitude (Capítulo 5, Seção 5.5)

Na Seção 5.5 do Capítulo 5 da dissertação apresentamos uma expressão matemática (Equação 15, reproduzida abaixo) que fornece a pressão atmosférica p em função da altitude z para um modelo simplificado de uma atmosfera isotérmica.

$$p = p_0 \cdot \exp \left[- \frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right] \quad (\text{Equação 15})$$

Uma explicação para que a pressão local varie com a altitude deve levar em conta o caráter fluido da atmosfera, que, apesar de apresentar uma composição e uma estrutura extremamente complexas, pode ser tratada de forma idealizada em uma primeira aproximação para um modelo matemático. (O foco da atividade experimental investigativa é o fenômeno das variações diurnas na pressão atmosférica, em especial na camada da atmosfera conhecida como troposfera, situada entre zero e cerca de 10 a 18 km de altitude [Britannica 2013]. Entretanto, você também poderá propor aos estudantes um aprofundamento no estudo da estrutura e composição dos estratos da atmosfera terrestre, uma vez que este assunto é pouco explorado nos livros didáticos de Física do Ensino Médio.)

Para um líquido incompressível em equilíbrio em um campo gravitacional uniforme, temos uma pressão hidrostática dada por:

$$p = \rho \cdot h \cdot g \quad (\text{Equação 16})$$

Segundo a expressão da Equação 16, a pressão hidrostática p aumenta linearmente com a profundidade h , medida a partir da superfície do líquido, como mostra o gráfico da Figura 102-A. Adotando um sistema de coordenadas cuja origem coincida com a profundidade máxima, observe que a pressão p diminui linearmente com a altitude z , como mostra o gráfico da Figura 102-B.

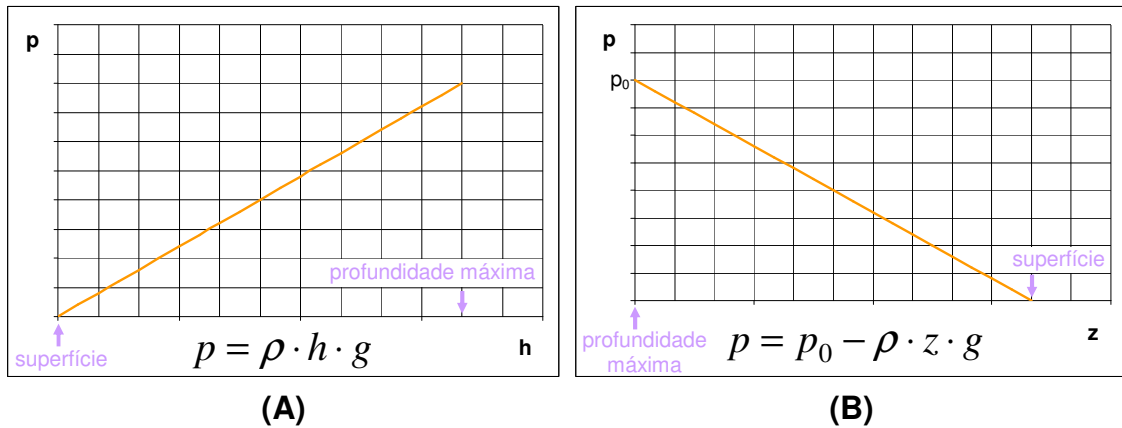


FIGURA 102 – Modelo que descreve a pressão em um líquido ideal

Assim, com a mudança no sistema de coordenadas, a pressão hidrostática p passa a ser descrita por:

$$p = p_0 - \rho \cdot z \cdot g \quad (\text{Equação 17})$$

(onde p_0 é a pressão na profundidade máxima)

Diferenciando a expressão acima, obtemos:

$$p = p_0 - \rho \cdot z \cdot g \Rightarrow dp = -\rho \cdot g \cdot dz \quad (\text{Equação 18})$$

A integração da diferencial obtida para a pressão p (Equação 18) retorna à equação $p = p_0 - \rho \cdot z \cdot g$, pois consideramos constantes a densidade ρ e a aceleração da gravidade g . Entretanto, o modelo aplicado para descrever a pressão de um líquido ideal em um campo gravitacional uniforme não é válido

para um gás ou para uma mistura de gases, uma vez que nesses casos não é possível desprezar a compressibilidade de um fluido no estado gasoso. Portanto, para a atmosfera, é preciso levar em conta que a densidade ρ varia com a pressão.

Tratando o ar atmosférico seco como um gás ideal, a equação de estado fornece:

$$\begin{aligned}
 p \cdot V &= n \cdot R \cdot T \\
 \Rightarrow p \cdot V &= \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \\
 \Rightarrow p &= \frac{m}{V} \cdot \frac{R}{M} \cdot T \\
 \Rightarrow p &= \rho \cdot \frac{R}{M} \cdot T \\
 \Rightarrow \frac{p}{\rho} &= \frac{R}{M} \cdot T
 \end{aligned}$$

Supondo a atmosfera uma mistura homogênea (M constante) e isotérmica (T constante), obtemos a seguinte lei de transformação:

$$\begin{aligned}
 \frac{p}{\rho} &= \frac{R}{M} \cdot T = CTE \\
 \Rightarrow \frac{p}{\rho} &= \frac{p_0}{\rho_0} \quad (\text{Equação 19})
 \end{aligned}$$

A lei de transformação acima pode ser reescrita como:

$$\rho = \frac{\rho_0}{p_0} \cdot p \quad (\text{Equação 20})$$

Substituindo esse último resultado (Equação 20) na expressão da diferencial dp (Equação 18), obtemos:

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dz$$

$$\Rightarrow dp = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot p \cdot g \cdot dz$$

$$\Rightarrow \frac{dp}{p} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot dz$$

Integrando a equação acima:

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \int_0^z \left(-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) dz$$

$$\Rightarrow \int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \left(-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) \int_0^z dz$$

$$\Rightarrow \ln p \Big|_{p_0}^p = \left(-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) \cdot z \Big|_0^z$$

$$\Rightarrow \ln p - \ln p_0 = \left(-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \right) \cdot (z - 0)$$

$$\Rightarrow \ln \frac{p}{p_0} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z$$

$$\Rightarrow \frac{p}{p_0} = \exp \left[-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right]$$

$$\Rightarrow p = p_0 \cdot \exp \left[-\frac{\rho_0}{p_0} \cdot g \cdot z \right] \quad (\text{Equação 21})$$

Portanto, em contraste com o decrescimento linear anteriormente observado no gráfico da Figura 102-B, concluímos que para uma atmosfera isotérmica a pressão p decresce exponencialmente com a altitude z , como mostra o gráfico da Figura 103 a seguir.

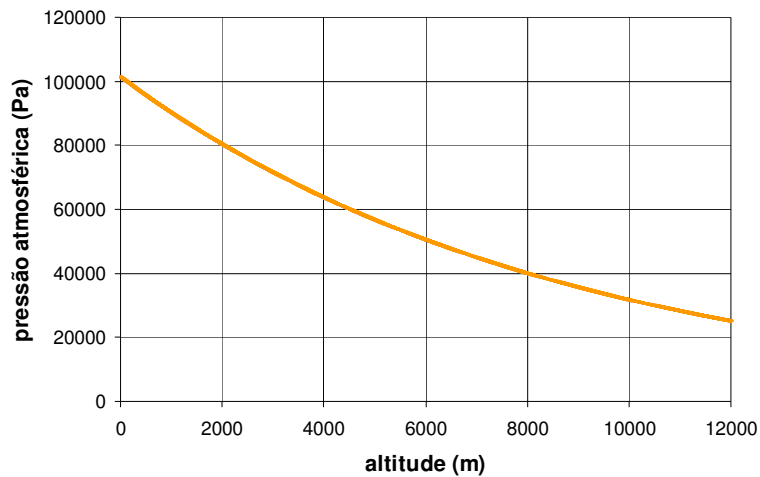


FIGURA 103 – Modelo que descreve a pressão em função da altitude em uma atmosfera isotérmica

Agora, se adotarmos a pressão atmosférica ao nível do mar $p_0 = 1 \text{ atm}$ (101.325 Pa), a densidade do ar seco a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ (veja uma estimativa apresentada no Capítulo 2, Seção 2.4) e a aceleração da gravidade local $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, obtemos:

$$p = p_0 \cdot \exp\left[-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot z}{p_0}\right]$$

$$\Rightarrow p = 101325 \cdot \exp\left[-\frac{1,2}{101325} \cdot 9,8 \cdot z\right]$$

$$\Rightarrow p = 101325 \cdot \exp\left[-\frac{11,76}{101325} \cdot z\right]$$

(em unidades do SI)

Esta é a equação da curva apresentada no gráfico da Figura 103 acima. Sobre essa expressão, devem ser destacadas algumas considerações importantes. Em primeiro lugar, o campo gravitacional g também varia com a altitude z , mas nesse caso sua variação na região da troposfera pode ser considerada praticamente desprezível, como mostra o gráfico da Figura 104.

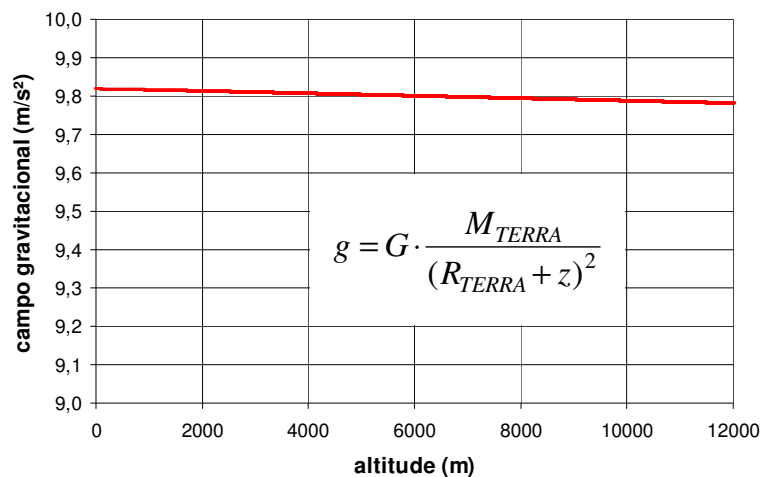


FIGURA 104 – Campo gravitacional terrestre na região da troposfera

Em segundo lugar, a atmosfera terrestre não é isotérmica, e portanto um modelo mais elaborado deve levar em consideração variações na temperatura local tanto em função do instante considerado quanto em função da altitude. Caso venha a se interessar por um estudo mais aprofundado acerca da atmosfera, você deverá estar atento ao comportamento da temperatura em diferentes estratos, em especial para a relação entre o comportamento térmico de uma determinada camada e sua composição química.

B) Notícias sobre o tempo meteorológico (Capítulo 5, Seção 5.6)

Discussões de notícias sobre o tempo meteorológico são muito interessantes, pois mostram aos alunos que os dados obtidos a partir do projeto de instrumentação aplicado nas aulas de Física podem ser relacionados às informações meteorológicas, tão comuns em nosso cotidiano e veiculadas pela mídia. Seus alunos certamente ficarão muito satisfeitos, e alguns até se surpreenderão, quando perceberem que as investigações feitas nas aulas de Física podem ser relacionadas com as informações meteorológicas. Um exemplo: Na Figura 105 a seguir destacamos dois trechos de uma notícia que podem ser relacionados aos dados observados no gráfico da Figura 106.

Frente fria provoca ventania e frio no RJ

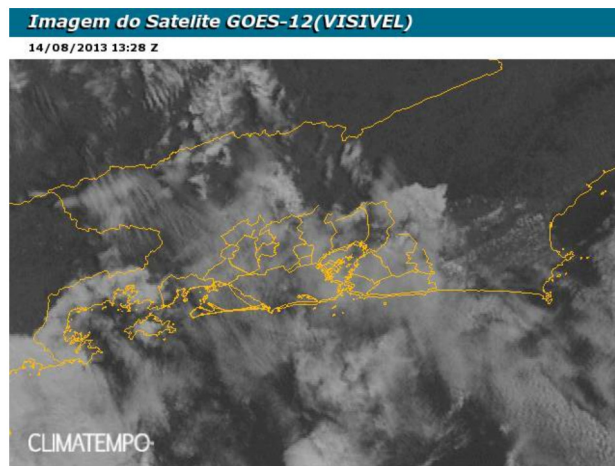
14 de agosto de 2013 às 11:18 por Josélia Pegorim

Frente fria vira o tempo no Rio de Janeiro

Uma frente fria avança sobre o Estado do **Rio de Janeiro** e já causa mudanças no tempo na cidade do Rio. Muitas nuvens da frente fria deixavam o céu nublado por volta das 10 horas da manhã. Há condições para chuva principalmente à tarde e à noite, mas com fraca a moderada intensidade.

Ventania e frio

Os principais efeitos desta nova frente fria serão a **acentuada queda da temperatura** e os ventos fortes. A chegada da frente fria trouxe nebulosidade e ventos fortes. O Instituto Nacional de Meteorologia registrou uma rajada de 68 km/h, às 9 horas, no forte Copacabana. As rajadas de vento foram sentidas também em outros pontos do estado. Às 10h, o aeroporto de **Cabo Frio** registrou 55 km/h e o de São Pedro d'Aldeia teve rajada de 57 km/h.



Temperatura em declínio

(14/ago)

Uma forte massa de ar polar está entrando no **Rio de Janeiro** e a temperatura já está em declínio. A sensação de frio será maior na noite de hoje e a previsão é de muito frio em todo o Estado até a **madrugada do domingo**. Na capital fluminense, a temperatura máxima nos próximos dias não deve passar dos 23°C e os termômetros podem ficar próximos dos 10°C na madrugada, nas áreas mais elevadas da cidade.

FIGURA 105 – Notícia sobre a chegada de uma frente fria: 14/ago/2013

(Fonte: Adaptado de www.climatempo.com.br [Pegorim 2013b].)

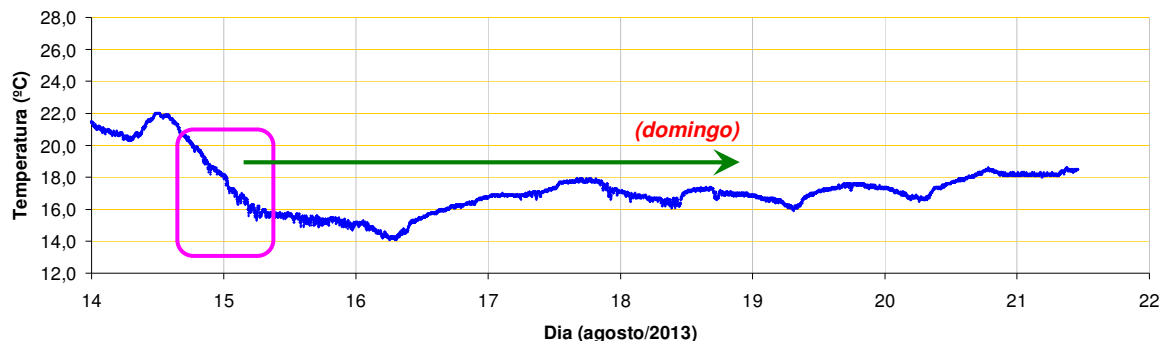


FIGURA 106 – Temperatura ambiente: 14 a 21/ago/2013 - Teresópolis / RJ

C) Fusos horários e as investigações geográficas (Capítulo 5, Seção 5.7)

Sobre a comparação de dados provenientes de fontes geograficamente distintas, é fundamental destacar que deve ser dada especial atenção para a escala de tempo sobre a qual as medições da pressão barométrica foram tomadas. Assim, é essencial que, em uma comparação de dados, as escalas de tempo sejam convenientemente ajustadas com o intuito de se obter uma referência temporal comum para as medidas da pressão atmosférica.

Convém lembrar, por exemplo, que o fuso horário de Brasília corresponde a UTC – 3 (*Universal Time Coordinated* menos três horas). A Tabela 23 apresenta os fusos horários para algumas das localidades citadas no Capítulo 5 da dissertação. (No Apêndice B.4 você encontrará uma apresentação dos fusos horários baseados no UTC.)

TABELA 23 – Fuso horário de algumas localidades

<i>LOCAL</i>	<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	<i>FUSO HORÁRIO</i>
Teresópolis / RJ Niterói / RJ Goiânia / GO	Lat. 22° 26' 09" S ; Long. 42° 58' 37" O Lat. 22° 56' 11" S ; Long. 43° 04' 42" O Lat. 16° 40' 32" S ; Long. 49° 15' 24" O	UTC – 3
Cidade do México / México	Lat. 19° 20' N ; Long. 99° 11' O	UTC – 6
Newark / EUA	Lat. 39° 40' N ; Long. 75° 40' O	UTC – 5

As medições que fizemos em Teresópolis, Niterói e Goiânia foram registradas no fuso horário UTC – 3 (horário de Brasília). Já as medidas fornecidas pelo *Observatório de Raios Cósmicos da Universidade Nacional Autônoma do México* encontram-se padronizadas para o fuso horário UTC 0. Da mesma maneira, os dados fornecidos pelo *Bartol Research Institute*, apesar

de oriundos de estações de raios cósmicos geograficamente distintas, também são disponibilizados no horário UTC 0.

Para que você perceba a importância do fuso horário no tratamento dos dados, verifique o gráfico da Figura 58 (Capítulo 5, Seção 5.7). Na parte superior do gráfico está registrada a curva de pressão para a Cidade do México e na parte inferior a curva de pressão para Niterói. As medidas da pressão atmosférica em Niterói, originalmente registradas segundo o fuso horário UTC – 3, foram ajustadas para UTC 0, seguindo a escala temporal adotada pelo *Observatório de Raios Cósmicos da Universidade Nacional Autônoma do México*. Após o ajuste, verifica-se que, diferentemente do que foi observado de forma aproximada para Niterói e Teresópolis (Figura 50) ou para Niterói e Goiânia (Figura 57), as marés barométricas para Niterói e Cidade do México evidentemente não coincidem.

D) Piezoresistividade (Capítulo 4, Seção 4.3 / Capítulo 6, Seção 6.1)

Na seção introdutória do Capítulo 6 e na Seção 4.3 do Capítulo 4 da dissertação nós informamos que o sensor BMP085 funciona a partir de um componente piezoresistivo. A piezoresistividade consiste na variação da resistividade de um material em razão de uma pressão aplicada sobre ele. O sensor BMP085 faz uso desta propriedade. Para utilizar o sensor no projeto investigativo, não existe a necessidade de apresentar esta propriedade para seus alunos, mas sugerimos que você busque algumas informações sobre a piezoresistividade, pois, existindo uma oportunidade, você poderá tratar desse interessante assunto com seus alunos nas aulas de Física. Uma primeira fonte de estudo que sugerimos para você consultar é o artigo *Piezoresistive effect*, na *Wikipedia*: http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive_effect

E) Modelo de batimentos para as marés oceânicas (Capítulo 5, Seção 5.2)

Você certamente sabe que a superposição de dois efeitos oscilantes de mesma natureza e com frequências muito próximas produz um fenômeno denominado batimento. Mas você sabia que existem batimentos nas marés?

Na ocasião em que seus alunos estiverem analisando os dados de maré de uma estação maregráfica, você deverá pedir a eles que construam gráficos das marés. Caso os gráficos apresentem um intervalo de tempo da ordem de um mês, você observará os batimentos. Para explicar este efeito para os alunos, sugerimos que você apresente uma análise qualitativa sobre as marés de sizígia e de quadratura, que têm relação com as fases da Lua (veja a Figura 45 e a Figura 46 no Capítulo 5). Mas para que você compreenda melhor o fenômeno de batimento produzido nas marés oceânicas em virtude da ação combinada da gravidade da Lua e do Sol, vamos tecer aqui algumas considerações matemáticas.

Em um modelo de batimentos para as marés oceânicas, temos:

$$y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[\frac{2\pi}{T_{LUNAR}} \cdot t \right] + \cos \left[\frac{2\pi}{T_{SOLAR}} \cdot t \right] \right\}$$

Definindo a frequência média \bar{f} como:

$$\bar{f} = \frac{f_{LUNAR} + f_{SOLAR}}{2} \quad (\text{Equação 22})$$

$$\text{onde } f_{LUNAR} = \frac{1}{T_{LUNAR}} \quad \text{e} \quad f_{SOLAR} = \frac{1}{T_{SOLAR}}$$

$$\Rightarrow 2 \cdot \bar{f} = f_{LUNAR} + f_{SOLAR}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{SOLAR} \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{LUNAR} \end{cases}$$

Por outro lado, a diferença Δf entre as frequências (convenientemente definida para que tenhamos $\Delta f > 0$) é dada por:

$$\Delta f = f_{SOLAR} - f_{LUNAR} \quad (\text{Equação 23})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} f_{SOLAR} = f_{LUNAR} + \Delta f \\ f_{LUNAR} = f_{SOLAR} - \Delta f \end{cases}$$

Sendo assim, combinando os resultados extraídos da Equação 22 com os resultados extraídos da Equação 23, temos:

$$\begin{aligned}
 \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{SOLAR} \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{LUNAR} \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - (f_{LUNAR} + \Delta f) \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - (f_{SOLAR} - \Delta f) \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{LUNAR} - \Delta f \\ f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} - f_{SOLAR} + \Delta f \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} 2 \cdot f_{LUNAR} = 2 \cdot \bar{f} - \Delta f \\ 2 \cdot f_{SOLAR} = 2 \cdot \bar{f} + \Delta f \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = \frac{2 \cdot \bar{f} - \Delta f}{2} \\ f_{SOLAR} = \frac{2 \cdot \bar{f} + \Delta f}{2} \end{cases} \\
 &\Rightarrow \begin{cases} f_{LUNAR} = \bar{f} - \frac{\Delta f}{2} \\ f_{SOLAR} = \bar{f} + \frac{\Delta f}{2} \end{cases} \quad \text{(Equação 24)}
 \end{aligned}$$

Substituindo os resultados da Equação 24 no modelo de batimentos para as marés oceânicas, obtemos:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= A \cdot \left\{ \cos \left[\frac{2\pi}{T_{LUNAR}} \cdot t \right] + \cos \left[\frac{2\pi}{T_{SOLAR}} \cdot t \right] \right\} \\
 &\Rightarrow y(t) = A \cdot \left\{ \cos [2\pi \cdot f_{LUNAR} \cdot t] + \cos [2\pi \cdot f_{SOLAR} \cdot t] \right\} \\
 &\Rightarrow y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[2\pi \cdot \left(\bar{f} - \frac{\Delta f}{2} \right) \cdot t \right] + \cos \left[2\pi \cdot \left(\bar{f} + \frac{\Delta f}{2} \right) \cdot t \right] \right\} \\
 &\Rightarrow y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t - 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] + \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t + 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \right\}
 \end{aligned}$$

Mas:

$$\begin{cases} \cos(a-b) = \cos a \cdot \cos b + \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b \\ \cos(a+b) = \cos a \cdot \cos b - \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow \cos(a-b) + \cos(a+b) = \\ &= \cos a \cdot \cos b + \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b + \cos a \cdot \cos b - \operatorname{sen} a \cdot \operatorname{sen} b \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \cos(a-b) + \cos(a+b) = 2 \cdot \cos a \cdot \cos b$$

Portanto:

$$y(t) = A \cdot \left\{ \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t - 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] + \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t + 2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \right\}$$

$$\Rightarrow y(t) = 2A \cdot \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right] \cdot \cos \left[2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \quad (\text{Seja } 2A = B)$$

$$\Rightarrow y(t) = \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right] \cdot \left\{ B \cdot \cos \left[2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \right\} \quad (\text{Equação 25})$$

$$\text{ou } y(t) = \cos \left[2\pi \cdot \bar{f} \cdot t \right] \cdot Y(t) \quad (\text{Equação 26})$$

$$\text{onde } Y(t) = B \cdot \cos \left[2\pi \cdot \frac{\Delta f}{2} \cdot t \right] \quad (\text{Equação 27})$$

Nesse modelo, as oscilações de curta duração estão sendo descritas por $\cos [2\pi \cdot \bar{f} \cdot t]$, enquanto que a *envoltória* das oscilações rápidas corresponde a $\pm |Y(t)|$. O gráfico da Figura 107 destaca o período das oscilações de curta duração e o semi-período da envoltória.

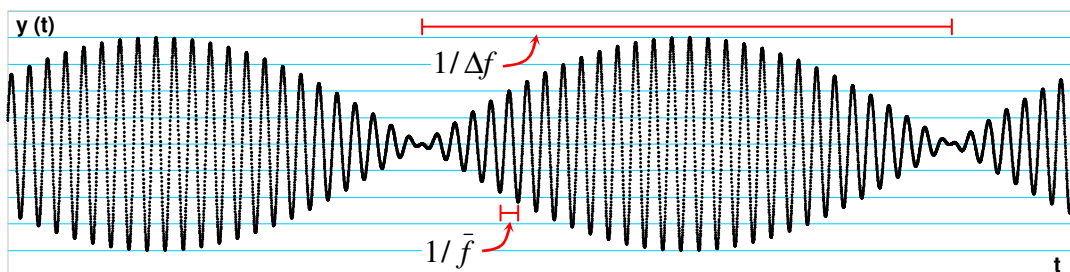


FIGURA 107 – Período das oscilações rápidas e semi-período da envoltória

A respeito do período τ da envoltória, é interessante destacar que, segundo o modelo dos batimentos para as marés oceânicas, temos:

$$\tau = 2 \cdot \frac{1}{\Delta f} \quad (\text{Equação 28})$$

Substituindo a Equação 23 na Equação 28, obtemos:

$$\begin{aligned} \tau = 2 \cdot \frac{1}{\Delta f} &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{f_{SOLAR} - f_{LUNAR}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_{SOLAR}} - \frac{1}{T_{LUNAR}}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{\frac{T_{LUNAR}}{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}} - \frac{T_{SOLAR}}{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{1}{\frac{T_{LUNAR} - T_{SOLAR}}{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}}} \\ &\Rightarrow \tau = 2 \cdot \frac{T_{LUNAR} \cdot T_{SOLAR}}{T_{LUNAR} - T_{SOLAR}} \quad (\text{Equação 29}) \end{aligned}$$

Sendo assim, obtemos:

$$\begin{aligned} \tau &= 2 \cdot \frac{12 \text{ h } 25,5 \text{ min} \cdot 12 \text{ h}}{12 \text{ h } 25,5 \text{ min} - 12 \text{ h}} \\ &\Rightarrow \tau = 701,6 \text{ h} \\ &\Rightarrow \tau = 29,2 \text{ dias} \end{aligned}$$

Essa estimativa corresponde ao período sinódico lunar, que vale, em média, 29,53 dias (Fonte: *National Space Science Data Center* [NASA 2013]). Também conhecido como “mês lunar”, o período sinódico da Lua é o período orbital aparente medido em relação a um meridiano terrestre e serve como referência para a marcação das fases da Lua.

Considerações finais

Esperamos que a proposta deste trabalho não só contribua para uma melhor aprendizagem em Física como também torne mais prazeroso o ensino desta ciência. Acreditamos que uma atividade experimental investigativa desenvolvida de forma adequada proporciona ganhos efetivos para os alunos, para o professor e para a escola.