

PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **UFST** Sorocaba



PEÇA TEATRAL PARA INTRODUÇÃO DE CONCEITOS DE ASTRONOMIA NO ENSINO MÉDIO



Figura disponível em: <https://outschool.com/classes/draw-and-understand-the-solar-systems-UHPwCU35>

E. B. Macedo Junior, E. Benedetti Filho e J. A. Souza

Sorocaba – SP
Agosto de 2021

PREFÁCIO

A peça teatral descrita neste produto educacional foi elaborada para que professores(as) do ensino médio que lecionam a disciplina de Física, possam de uma maneira lúdica e divertida introduzir o estudo da Astronomia utilizando o teatro como metodologia de ensino. A Física é uma ciência natural baseada em experimentos, medidas e análises matemáticas, cujo propósito é encontrar leis físicas quantitativas capazes de descrever fenômenos e o comportamento de sistemas pertencentes aos microcosmos e aos macrocosmos. Muitos estudantes questionam o porquê de se aprender Física, tentando entender como irão usar a mesma em suas vidas ou cotidianos. O Ensino de Física na maioria das escolas, devido aos vestibulares e ao exame nacional do ensino médio, muitas vezes reduz a Física à resolução de exercícios, aplicação de fórmulas e pouco se aprende a pensar sobre os fenômenos da natureza, que nos cercam e nos acompanham todos os dias por toda a nossa vida.

Os movimentos do Sol, da Terra e da Lua são apresentados neste material de uma forma que o professor e os estudantes possam, através do diálogo, da discussão e da encenação, internalizá-los. Os fenômenos naturais, tão comuns a todos nós e que muitas vezes são tidos como misteriosos por não conhecermos o seu funcionamento, podem ser estudados e aprendidos usando o teatro como metodologia de ensino-aprendizagem. Os sistemas geocêntrico e heliocêntrico são abordados logo no início da peça teatral. Os três astros, os quais nos referimos neste trabalho, são apresentados com todas as especificidades que precisamos para entendermos os fenômenos como estações do ano e suas causas, os eclipses, as marés, entre outros. Descrevemos também as leis de Kepler e a lei universal da gravitação de Newton. Além da peça teatral, sugerimos um questionário para o(a) professor(a) trabalhar em sala de aula com toda a turma, considerando os alunos que participaram diretamente da peça como estudantes-atores e também aqueles que apenas assistiram a peça. Todos os tópicos e sugestões foram desenvolvidos de uma maneira simples e em uma linguagem acessível para o(a) professor(a) do ensino médio.

Para dúvidas ou informações adicionais, envie um e-mail para
bueno.ederaldo@gmail.com

Os autores.

Este material foi produzido no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da
Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba (PROFIS-So)
Sorocaba, agosto de 2021.

SUMÁRIO

1 O TEATRO COMO METODOLOGIA DE ENSINO	4
2 CONTEÚDOS DE FÍSICA	5
2.1 Introduzindo a Astronomia	5
2.2 Sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico	5
2.3 Sol, Terra e Lua	8
2.4 Dias, Noites e Estações do Ano	16
2.5 Eclipses Lunares e Solares	18
2.6 Leis de Kepler	22
2.7 Lei da Gravitação Universal de Newton.....	27
2.8 Marés	31
3 A PEÇA DE TEATRO: “SISTEMA MALUCO”	35
3.1 Sobre os Ensaios da Peça e a Escolha do Figurino	36
3.2 Luz, Física, Ação: Esquetes da Peça Tetral.....	38
4 QUESTIONÁRIO SUGESTIVO	46
REFERÊNCIAS	49

1 O TEATRO COMO METODOLOGIA DE ENSINO

Neste produto educacional utilizamos o teatro como metodologia de ensino para introduzir conceitos de astronomia nas aulas de Física do ensino médio. A peça teatral elaborada é intitulada “Sistema Maluco” e foi inspirada no Teatrinho do Sistema Sol-Terra-Lua do Professor Roberto Boczko do Departamento de Astronomia da Universidade de São Paulo (IAG-USP).

A escolha de usar o teatro como metodologia foi devido à possibilidade dos estudantes poderem interagir entre si, além de poderem adquirir uma apropriação cognitiva do conteúdo da peça teatral. O teatro pode ser explorado na escola para vincular a arte de tornar uma história visualmente verdadeira com as aulas de Física. Neste caso o enredo é descrito pelos conteúdos de Física e a história da ciência e os atores, que falam e atuam no palco, são os alunos e o professor. Este método também pode estimular o desenvolvimento de habilidades e competências dos alunos, como a comunicação através da oratória, a expressão e consciência corporais, a organização do pensamento e a empatia, as quais muitas vezes, são desconhecidas por eles. Quando o estudante reflete, expressa e comunica o que está fazendo, fica evidente que ele está envolvido e construindo seu conhecimento de uma maneira lúdica, prazerosa e divertida (OLIVEIRA, 2004).

O uso do teatro para introdução da Astronomia no Ensino Médio pode ser explorado diretamente com o conteúdo apresentado no caderno de Física do estado de São Paulo, no tema Astronomia, com o título “*Universo, Terra e Vida*” (BRASIL, 2002). Nossa proposta também está de acordo com o que é estabelecido pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC):

No Ensino Médio, o fazer teatral se constitui pela intensa troca de experiências entre os educandos, aprimorando a percepção estética, a imaginação, a consciência corporal, a intuição, a memória, a reflexão e a emoção. Possibilita o desenvolvimento integral dos estudantes, tanto do ponto de vista cognitivo quanto estético, afetivo, político, cultural e social, propiciando um espaço singular para a interdisciplinaridade com outros componentes e áreas do currículo. Este componente articula manifestações culturais em tempos e espaços diversos, incluindo o entorno artístico do educando e as produções artísticas e culturais que lhe são contemporâneas. (BRASIL, 2016, p. 522).

Além dos aspectos históricos sobre a astronomia é possível trabalhar inúmeros conteúdos de Física com a nossa peça teatral “Sistema Maluco”, como sistema geocêntrico e heliocêntrico, características do Sol, da Terra e da Lua, como são estabelecidos os dias e as noites, estações do ano, eclipses lunares e solares, leis de Kepler e a lei da gravitação universal

de Newton, a formação das marés, entre outros. Na próxima seção exploramos de maneira sugestiva tais tópicos em uma linguagem acessível para o(a) professor(a) do ensino médio.

2 CONTEÚDOS DE FÍSICA

O tema central da peça “Sistema Maluco” aborda os três astros, Sol, Terra e Lua, suas características, movimentos, interações e a influência destes no nosso cotidiano. Estes astros são os principais personagens da peça, sendo representados pelos estudantes-atores. Nas encenações os conceitos físicos são apresentados através de narração, diálogos entre as personagens e movimentos.

2.1 Introduzindo a Astronomia

A Astronomia é uma das ciências mais antigas da humanidade. A observação do firmamento teve sua origem na pré-história há cerca de 100 mil anos atrás, quando o ser humano vivia em pequenos grupos nômades. Durante o dia o Sol era contemplado e a noite milhares de outras estrelas eram observadas no firmamento. A Lua, principalmente na fase cheia, clareava as noites escuras. Por eles não compreenderem direito os astros, animais, montanhas, florestas, desertos e a água, esses eram tidos como divindades. Por volta de 3500 a.C. começou-se a desenvolver a escrita e posteriormente a matemática. Isso foi essencial para o desenvolvimento da cultura e da ciência (MILONE, 2010).

A Astronomia, por ser uma das ciências mais antigas da humanidade vem sendo utilizada por milhares de anos em todas as culturas, seja para entender os fenômenos que ocorrem na natureza, como forma de medir o tempo, determinar as estações do ano, os dias, as horas, as marés, como meio de se localizar geograficamente, utilizada como instrumento de navegação, entre outras tantas formas de utilização (OLIVEIRA e ALBRECHT, 2017, p. 2).

2.2 Sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico

A intuição básica do ser humano é que o Sol, a Lua e os planetas giram ao redor da Terra (de leste para oeste) em períodos distintos, pois é o que vemos, com a Terra localizada fixa no centro do Universo. Daí a origem do modelo geocêntrico (Terra no centro). O modelo

que colocava a Terra imóvel no centro foi superado por outro que explicava melhor o movimento dos planetas. Neste outro modelo o Sol era considerado imóvel e posicionado no centro do sistema, com a Terra, a Lua e os planetas girando ao seu redor, sendo por isso chamado de modelo heliocêntrico (MILONE, 2010).

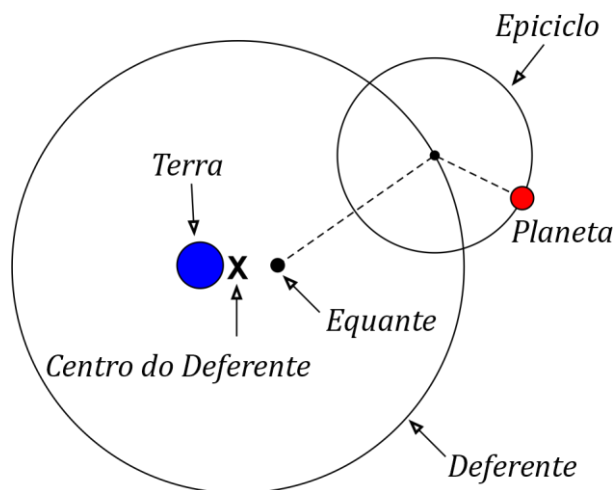
Platão (século IV a.C.) acreditava que os movimentos dos astros ao redor da Terra eram circulares e com velocidades constantes. Ele havia adotado as ideias da perfeição e regularidade de Pitágoras de Samos (século V a.C.). Aristóteles (século IV a.C.), que era discípulo de Platão, transformou essas ideias em dogmas astronômicos que perduraram por mais de 2000 anos. Claudio Ptolomeu (90-168 d.C.) escreveu *Almagest* (O majestoso) que veio para explicar os movimentos errantes dos planetas no modelo geocêntrico. Para isso os astrônomos gregos usaram artifícios como o excêntrico, os epiciclos e o equante, este último introduzido por Ptolomeu (DAMASIO, 2011). Na figura 1 apresentamos o excêntrico, o epiciclo e o equante.

É importante ressaltar que não podemos chamar esse modelo de geocêntrico, visto que a Terra não está mais no centro do sistema. Esse modelo é chamado de geostático e perdurou do século II até o século XVI, quando foi contestado por Nicolau Copérnico (1473-1543). O que o incomodava era a afirmação de que os movimentos não eram mais uniformes em torno do centro, ou seja, a ideia de equante violava os ensinamentos gregos. O modelo de Copérnico já havia sido sugerido antes por Aristarco de Samos (c. 310 – c. 250 a.C.) que era a hipótese do modelo heliocêntrico para o Universo, conforme ilustrado na figura 2. Naquela época as pessoas acreditavam que a Terra ocupava a posição central do Universo, porém os movimentos progressivos e retrógrados dos planetas eram explicados de uma maneira muito confusa por este modelo. Foi tentando equacionar esse problema que Copérnico sugere que o Sol deveria estar no centro em vez da Terra. Apesar de criticar o modelo de Aristóteles, Copérnico não dispensava muitas de suas concepções (DAMASIO, 2011).

Por volta de 1519 Copérnico escreveu um ensaio denominado *Commentariolus*, no qual revela que apesar dos dados numéricos de Ptolomeu serem consistentes, os movimentos dos planetas não poderiam ser não uniformes. Os movimentos retrógrados deveriam ser reduzidos a outros movimentos que fossem círculos centrados com velocidade angular constante em torno do centro, e o equante de Ptolomeu violava essa condição. A solução dada para o movimento errante dos planetas foi considerar o Sol fixo e imóvel e, em relação a um ponto central distante de três diâmetros solares dele, os planetas Mercúrio, Vênus, Terra (esta gira em torno de seu próprio eixo e a Lua gira ao seu redor), Marte, Jupiter e Saturno girando em trajetórias circulares. Quanto mais afastado o planeta estiver do Sol maior será seu período de translação.

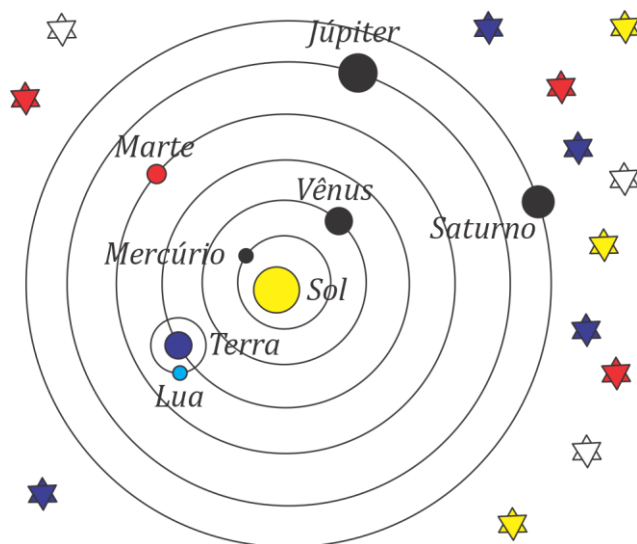
Esse modelo é chamado de heliostático, pois o Sol não é o centro das circunferências descritas pelos planetas (DAMASIO, 2011).

Figura 1 – Excêntrico é o ponto central do Deferente; Epiciclo é a trajetória do planeta e Equante é o centro do movimento de translação do Epiciclo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – Modelo Cosmológico de Copérnico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

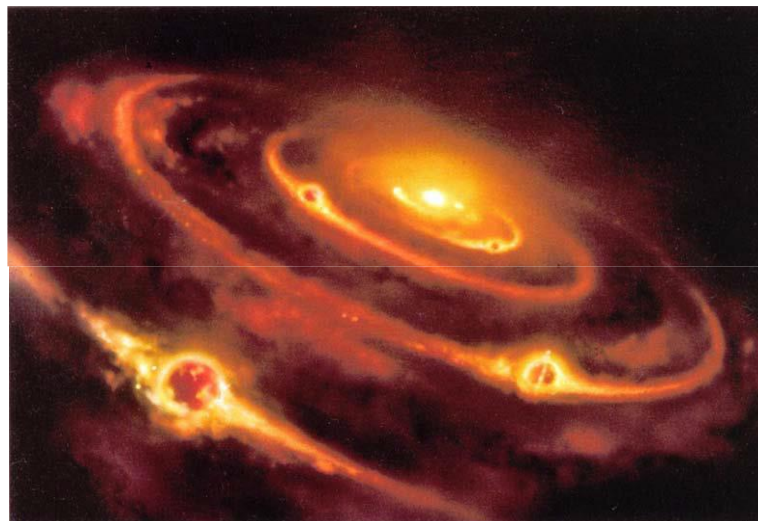
2.3 Sol, Terra e Lua

O Sol, a Terra e a Lua são os astros mais importantes para nós no sistema solar. A Terra é nosso planeta (nossa casa), a Lua nosso satélite e o Sol nossa estrela. O Sol e a Lua são essenciais para a existência de vida na Terra. O Sol nos fornece energia e junto com a Lua, regulariza diversos fenômenos que ocorrem no planeta, como as marés. O Sol era adorado por culturas antigas como sendo um deus. Os gregos o chamavam de Helios, os persas de Mitras e os egípcios de Rá. Anaxágoras (século V a.C.) acreditava que o Sol era uma bola de fogo, o que intuitivamente faz bastante sentido. Nós aprendemos a admirar sua imponência no céu diurno, igual fazemos com a Lua no céu noturno. O Sol é a estrela mais próxima da Terra, sua luz demora aproximadamente 8 minutos para chegar até nós. A outra estrela mais próxima de nós é alfa do Centauro e sua luz demora 4 anos e 4 meses para chegar até nós, lembrando que a velocidade da luz no vácuo é a maior possível no nosso Universo. O centro geométrico e gravitacional do sistema solar é ocupado pelo Sol, que translada em torno do centro da galáxia e possui uma rotação diferencial, ou seja, nas regiões polares o período de rotação é maior do que nas regiões equatoriais. Em outras palavras, o período de rotação depende da latitude. O período médio de rotação é de 27 dias, possui rotação diferencial de aproximadamente 25 dias no Equador e cerca de 30 dias nas proximidades dos polos (CECATTO, 2010).

O nascimento de estrelas, como Sol, e de sistemas maiores, como o sistema solar, se dá através de nuvens de gás densas e gigantesas, compostas de Hidrogênio e Hélio. No caso de formação de uma estrela, por exemplo, nas regiões de maior concentração dos gases a força gravitacional é maior. Isso faz com que esta massa gasosa se contraia, aumentando consideravelmente a pressão na mesma e conseqüentemente sua temperatura, podendo acarretar na queima do hidrogênio, fusão nuclear, formando a estrela. Se não houver massa suficiente neste processo, o objeto irá se resfriar e planetas poderão ser formados. O Sol e os objetos celestes que compõem o sistema solar se formaram há aproximadamente 4,5 bilhões de anos (CECATTO, 2010). A figura 3 apresenta uma ilustração da formação do Sol e do sistema solar.

De toda energia utilizada aqui na Terra, 99,98% é proveniente do Sol. A massa solar é muito grande e devido à força gravitacional ela se contrai. A densidade, a pressão e a temperatura são muito altas no centro do Sol (o gás se encontra no estado ionizado – plasma), possibilitando reações de fusão nuclear onde hidrogênios se fundem formando hélio e liberando muita energia. O hidrogênio é o elemento químico mais abundante do Universo e está presente em 73% da massa solar. A temperatura no núcleo solar atinge 15 milhões de graus centígrados e na superfície a temperatura é de cerca de 5.500 graus centígrados (RODRIGUES, 2010).

Figura 3 – Concepção artística mostrando a formação do Sol e do sistema solar. A região mais clara corresponde à estrela em torno da qual estão orbitando alguns planetas do sistema solar em formação.



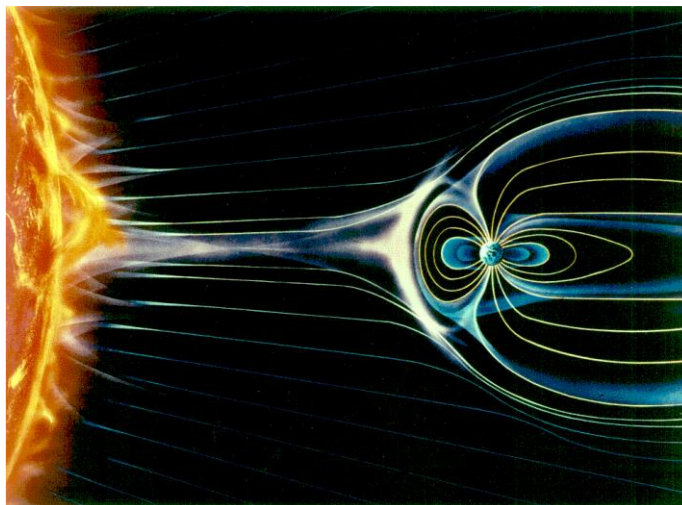
Fonte: (LANG, 2001 *apud* CECATTO, 2010, p. 4-11).

Outro fenômeno interessante são os ventos solares, um fluxo de elétrons e íons positivos que escapam do Sol para o espaço através de linhas “abertas” de seu campo magnético e eventualmente viajam até a Terra. Estas partículas interagem com os gases da alta atmosfera e o campo magnético terrestre as desvia para os polos formando as auroras (CECATTO, 2010). O vento solar causa uma deformação na direção da linha Sol-Terra quando interage com o campo magnético terrestre. Veja ilustração na figura 4.

Na figura 5 (a) e (b) estão representadas as auroras que ocorrem do encontro do vento solar com os gases da atmosfera da Terra. As moléculas da atmosfera ficam excitadas após a colisão com as partículas carregadas do vento solar e emitem luz ao voltarem para os seus estados fundamentais. As cores que vemos nas auroras dependem dos níveis de energia que cada tipo de átomo ou molécula atinge ao ser excitado, fazendo com que fótons de diferentes energias sejam emitidos ao voltar para os seus respectivos estados fundamentais (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

A Terra na mitologia grega é conhecida como a deusa Gaia e na mitologia romana a deusa Terra, esposa do Céu (RODRIGUES, 2010).

Figura 4 – Vento solar e sua interação com o campo magnético terrestre. A ação do vento solar pressiona o campo magnético terrestre em direção ao espaço exterior.



Fonte: (CECATTO, 2010, p. 4-35).

Figura 5 – (a) Aurora colorida formada no céu, parecendo enormes cortinas sopradas pelo vento brilhando no escuro. (b) Aurora bem acima da Terra, fotografada de um ônibus espacial (visível à esquerda).



Fonte: (CHAISSON e MCMILLAN, 2013, p. 182).

Esta imagem remete a um sistema dinâmico em constante mudança, em que os elementos envolvidos são o ar, a água, a terra e a própria vida em nosso planeta. Muitos livros de Astronomia apresentam o estudo da Terra através da geologia.

Da mesma maneira que as rochas, árvores e o ar, nós somos “materiais da terra”. Na figura 6 apresentamos uma foto da Terra construída a partir de várias imagens coletadas pela sonda Clementine.

Figura 6 – Mosaico de imagens do planeta Terra obtidas com a sonda Clementine (NSSDC).



Fonte: (RODRIGUES, 2010, p. 3-25).

O conhecimento sobre o nosso planeta pode facilitar o entendimento de outros planetas e da Lua. A Terra possui um formato quase esférico. Sua massa e o seu raio são iguais a aproximadamente 6×10^{24} kg e 6.400 km, respectivamente. Grande parte da superfície da Terra é formada por água, que possui densidade de 1.000 kg/m^3 , e a parte da superfície que é formada por rocha tem densidade que varia de 2.000 kg/m^3 a 4.000 kg/m^3 . Abaixo da superfície o material é ainda mais denso (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

A vida na Terra só é possível devido à sua temperatura que permite termos água no estado líquido. Três quartos da superfície terrestre é coberta por água e sua atmosfera é composta por 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases como dióxido de carbono, argônio, vapor de água, etc. O efeito estufa é muito importante para a existência de vida na Terra. Ao penetrar na atmosfera terrestre a radiação infravermelha do espectro da luz solar é absorvida principalmente por vapor de água e dióxido de carbono, de maneira que esta energia fica retida entre a atmosfera e a superfície. Com isso, a atmosfera próxima da superfície terrestre fica aquecida viabilizando a existência de inúmeras formas de vida, como a nossa (RODRIGUES, 2010).

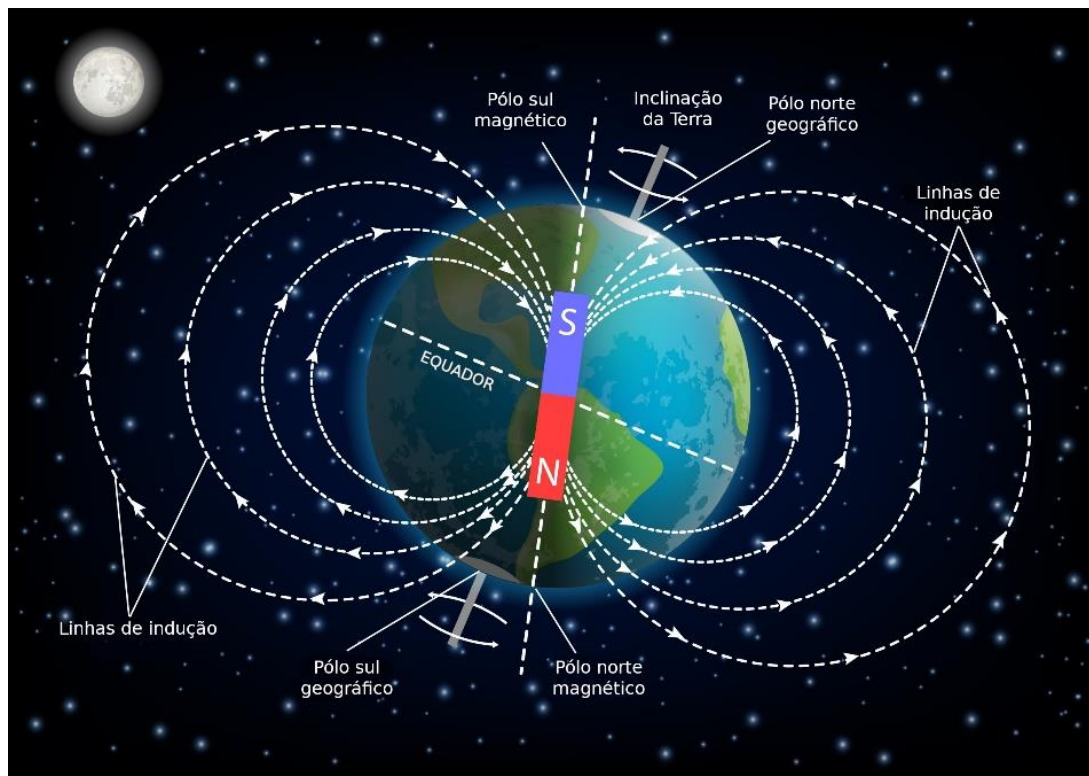
Na atmosfera, a cerca de 25 km de altitude, está a camada de ozônio (O_3). A radiação solar ultravioleta é absorvida pelo ozônio e nitrogênio atmosféricos, esta quebra o O_3 , formando a molécula de oxigênio (O_2). A camada de O_3 protege a vida na Terra da maioria da radiação ultravioleta proveniente do Sol. Alguns gases originados de atividades humanas, como o grupo dos clorofluorcarbonos (CFC), foram por muito tempo utilizados como propelentes em latas de

aerossol, solventes na lavagem a seco, produtos de refrigerantes, condicionadores de ar e refrigeradores, causando danos à camada de ozônio. O CFC, quando na estratosfera, é quebrado pela absorção de energia solar liberando cloro (Cl). Este reage com o ozônio, transformando-o em O₂. Este fenômeno foi descoberto na década de 1970. Até então achava-se que os CFCs eram rapidamente quebrados após o uso. O cloro funciona como se fosse um catalizador, não é consumido na reação, fazendo com que uma única molécula de CFC destrua até 100.000 moléculas de O₃. Portanto, uma pequena quantidade de CFC é capaz de fazer estragos significativos na camada de ozônio, aumentando substancialmente a quantidade de radiação ultravioleta que atinge a superfície da Terra. A principal causa dos buracos na camada de ozônio é associada aos produtos químicos produzidos pelo homem (CHAISSON e MCMILLAN, 2013). Em 1987, através do Protocolo de Montreal, decidiu-se que o uso de substâncias que destroem a camada de ozônio, como os CFCs, deveriam ser diminuídos significativamente até o final do século XX.

O campo magnético da Terra gera ao seu redor uma região de influência chamada de magnetosfera. Próximo da Terra o campo magnético é semelhante ao campo de uma barra magnética gigante, veja ilustração na figura 7. As linhas de indução magnética “saem” do norte magnético e “entram” no sul magnético. Estes polos magnéticos não são fixos em relação ao nosso planeta, eles variam de posição em uma taxa de 10 km por ano. O polo norte magnético da Terra fica próximo do polo sul geográfico e o polo sul magnético fica próximo do polo norte geográfico (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

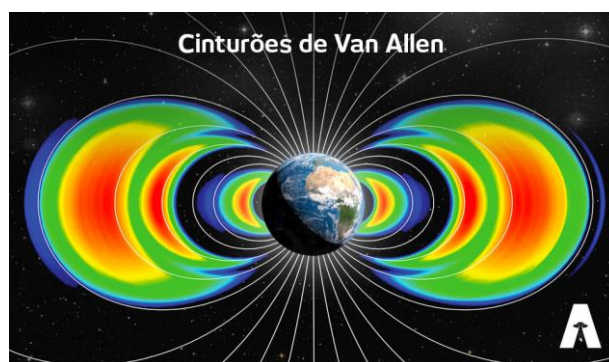
O magnetismo terrestre somente existe porque a Terra está girando. O núcleo da Terra é composto por metal líquido, que ao girar produz o seu magnetismo. Esta conexão entre a estrutura interna e o magnetismo é muito importante para o estudo de qualquer planeta, pois medindo o campo magnético de um planeta podemos dizer muito sobre seu interior. O campo magnético da Terra desempenha um importante papel de proteção contra partículas carregadas e potencialmente destrutivas. Sem a magnetosfera, a atmosfera e talvez a superfície do planeta seriam bombardeadas por partículas nocivas, prejudiciais a muitas formas de vida. Alguns pesquisadores acreditam que sem a magnetosfera a vida não seria possível. A magnetosfera da Terra possui duas regiões onde se encontram partículas carregadas de alta energia. A primeira se encontra a 3.000 km de altitude e a segunda a 20.000 km de altitude. Estas duas regiões são denominadas de cinto de radiação de Van Allen (CHAISSON e MCMILLAN, 2013). A figura 8 ilustra os cinturões de radiação de Van Allen.

Figura 7 – Ilustração do planeta Terra com seus eixos de rotação e magnético. As linhas de indução magnéticas representam o campo magnético terrestre.



Fonte: Siberian Art. Disponível em: <https://www.infoescola.com/eletromagnetismo/polos-magneticos-da-terra>. Acesso em: 31 jan. 2021.

Figura 8 – Ilustração do planeta Terra com suas linhas de campo magnético e as duas regiões de radiação de Van Allen, a interna a 3.000 km de altitude e a externa a 20.000 km de altitude.



Fonte: Space Between. Disponível em: <https://spacebetween.com.br/index.php/2020/07/27/o-que-e-o-cinturao-de-van-allen>. Acesso em: 31 jan. 2021.

A Lua é o satélite natural da Terra. É possível ver a olhos nus diversas crateras na Lua, causadas por impactos de corpos celestes com sua superfície. Na foto apresentada na figura 9 é possível identificar regiões escuras, que são grandes regiões preenchidas por lava solidificada, que chamamos de mares, e regiões claras, em que há formação de montanhas. A massa da Lua

é 80 vezes menor que a da Terra e seu tamanho é $\frac{1}{4}$ do da Terra. Do ponto de vista físico poderíamos definir o conjunto Terra-Lua como um sistema binário (RODRIGUES, 2010).

Figura 9 – Imagem da Lua cheia obtida pela Apollo 11 (NSSDC).



Fonte: (RODRIGUES, 2010, p. 3-26).

As semelhanças e as diferenças entre a Lua e a Terra dificultam e até mesmo confundem os pesquisadores na tentativa de explicar a existência da Lua. Muitas teorias foram construídas ao longo dos anos. A primeira é a teoria irmã, que sugere que a Lua e a Terra formaram-se praticamente juntas e próximas, cada uma girando em torno de um centro de massa, independentemente. O problema dessa teoria é que a densidade e composição da Lua e da Terra são diferentes, assim sendo não poderiam ter se originado do mesmo material pré-planetário. A segunda é a teoria da captura, que afirma que a Lua se formou longe da Terra e foi capturada por esta. Devido à Lua ter se materializado longe da Terra, a densidade e a composição diferentes delas não eram mais um problema. Porém a captura da Lua pela Terra seria um evento muito difícil de acontecer devido à sua massa. A terceira é a teoria filha, que diz que a Lua se originou da própria Terra. Uma Terra jovem e derretida girando muito rápido jorrou matéria protolunar da bacia do oceano pacífico, pois existe uma semelhança química desta com o manto externo da Lua. Entretanto, esta teoria não tem grande aceitação, porque simulações computacionais indicaram que seria impossível a Terra ejetar a Lua por efeito de rotação. A quarta e última teoria é a teoria do impacto. Muitos astrônomos dizem que esta é uma junção da teoria da captura com a teoria filha. Na teoria do impacto é proposto que um objeto grande

do tamanho do planeta Marte colidiu com a Terra jovem e derretida e arrancou pedaços dela, os quais originaram a Lua. Simulações computacionais de tal catástrofe mostram que vários pedaços se juntaram em órbita em torno da Terra. A explicação de a Lua não ter um núcleo central denso é devido ao objeto de colisão ter deixado qualquer que seja seu núcleo para trás na Terra. O fato da composição da Lua não ser semelhante ao do manto da Terra é porque esta não tinha seu núcleo de ferro formado. A conclusão é que para entendermos a origem da Lua temos que fazer a interação entre teoria e observação e é assim que é feita a ciência moderna (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

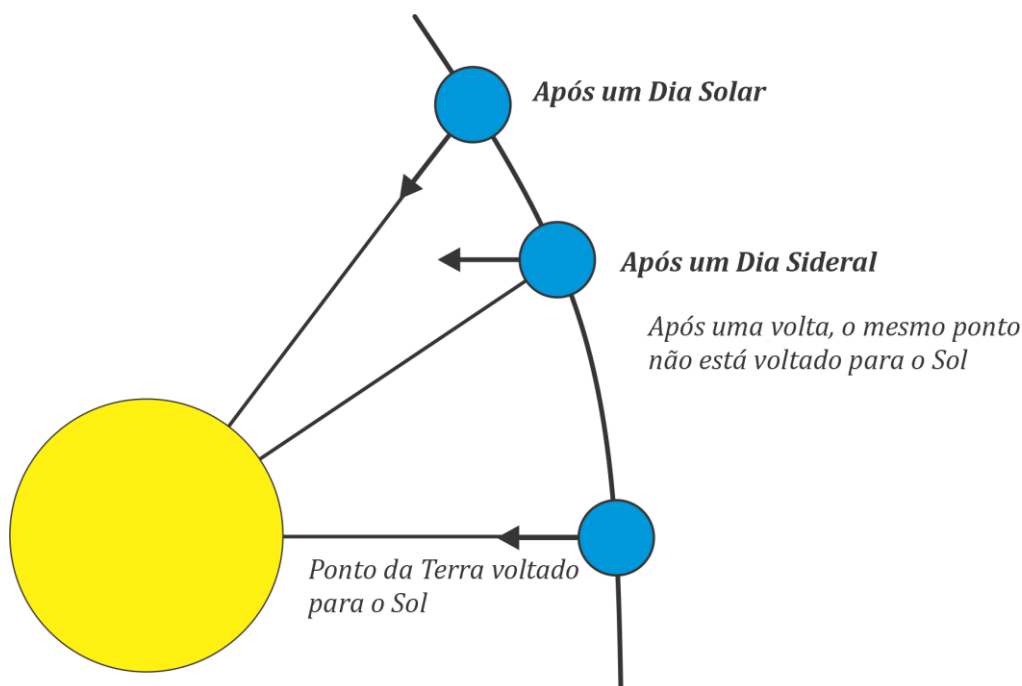
Não é possível observar variações moderadas de temperatura na Lua do dia para a noite, devido ao aquecimento solar, porque a atmosfera da mesma é rarefeita. Como resultado, são observadas grandes oscilações de temperatura. Ao meio-dia a temperatura atinge 400 K ou 127 °C e à noite 100 K ou -173 °C. Ela está geologicamente morta e dista aproximadamente 384.000 km da Terra. A distância real depende da posição da Lua, pois sua órbita em torno da Terra é ligeiramente elíptica. Sua densidade é de 3.300 kg/m³, sendo menor que a da Terra, cuja densidade média é de 5.500 kg/m³. Com isso concluímos que ela apresenta menos materiais pesados, como o ferro. Devido sua massa ser 80 vezes menor que a da Terra e seu raio $\frac{1}{4}$ do raio da Terra, seu campo gravitacional é menor, cerca de $\frac{1}{6}$ do campo gravitacional da Terra. Se compararmos a velocidade que um objeto precisa ter para escapar do campo gravitacional da Lua, obtemos uma velocidade de escape de 2,4 km/s, enquanto que para a Terra esta velocidade é de 11,2 km/s (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

O período de rotação da Lua é precisamente igual ao período de revolução sobre a Terra, com duração de 27,3 dias. Sendo assim a Lua sempre apresenta a mesma face para a Terra. O fato da órbita da Lua ser síncrona é devido à interação gravitacional entre esses dois corpos. Assim, como a Lua provoca marés na Terra, esta também produz uma protuberância de maré na Lua. Como a Terra é mais massiva que a Lua, a força da maré na Lua é cerca de 20 vezes maior do que na Terra. Há muito tempo, a distância entre a Terra e a Lua era $\frac{2}{3}$ do valor atual, ou seja, cerca de 250.000 km e as forças das marés da Terra na Lua eram 3 vezes maiores do que é hoje e isso pode ter sido o responsável pela forma alongada da Lua (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

2.4 Dias, Noites e Estações do Ano

O dia e a noite são medidos com relação ao movimento aparente do Sol. Porém, é o movimento de rotação da Terra que nos fornece o período de um dia e uma noite. Quando esse movimento tem o Sol como referência chamamos de dia solar, com período de 24 h, considerando o meio-dia de um dia ao meio-dia do outro. Se tomarmos as estrelas distantes como referencial temos o dia sideral com período de 23h56min, equivalente ao período de rotação da Terra. Esta pequena diferença entre o dia solar e o dia sideral ocorre porque toda vez que a Terra rotaciona uma vez em torno de seu eixo, ela também percorre uma pequena distância ao longo de sua órbita em torno do Sol. Para o Sol retornar à mesma posição aparente no céu a Terra precisa rotacionar um pouco mais de 360° (aproximadamente 1°), veja figura 10 (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Figura 10 – Ilustração mostrando o dia sideral, cuja duração é o período de rotação da Terra e o dia solar, cuja duração é ligeiramente maior que o período do dia sideral, para que o Sol retorne à mesma posição aparente no céu.

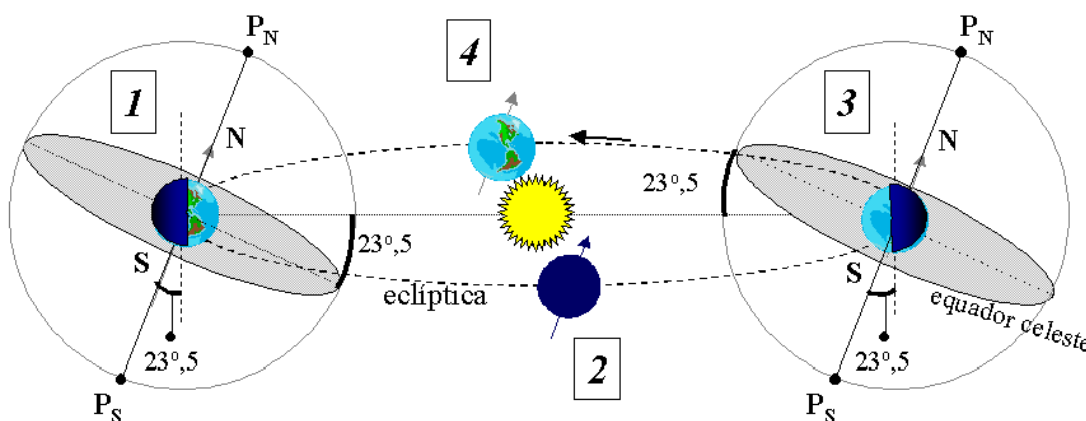


Fonte: Elaborado pelo autor.

A eclíptica é a trajetória que a Terra descreve em torno do Sol. A inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à eclíptica é de $23,5^\circ$ e essa inclinação é responsável pelas estações do ano, conforme mostrado na figura 11. Ao contrário do que é comum pensar, não é a distância

da Terra ao Sol que é relevante, mesmo porque a maior distância entre a Terra e o Sol é próxima da menor. O que é relevante é o tempo de exposição à luz do Sol e a concentração dessa luz. Nas posições de equinócios, onde começa a primavera em um hemisfério e o outono no outro, o dia e a noite têm a mesma duração. Nas posições de solstícios, onde começa o verão em um dos hemisférios e o inverno no outro, o dia e a noite não têm a mesma duração. No solstício de verão o dia tem duração maior do que a noite e no solstício de inverno a noite tem duração maior do que o dia (CHAISSON e MCMILLAN, 2013). A figura 11 representa as posições da Terra na eclíptica em relação ao Sol.

Figura 11 – Ilustração mostrando a influência da inclinação de $23,5^\circ$ do eixo de rotação da Terra, em relação à eclíptica (curva tracejada), nas estações do ano e nas posições dos solstícios (1 e 3) e equinócios (2 e 4).



Fonte: (MILONE, 2010, p. 1-30).

Além dos movimentos de translação, rotação e de se movimentar com o Sol através de nossa galáxia, a Terra tem um movimento de precessão. A causa da precessão da Terra é devido ao torque causado pelas forças da gravidade do Sol, da Lua e da sua própria gravidade. O tempo de um ciclo completo de precessão é de 26.000 anos e o eixo da Terra descreve a figura de um cone neste período. O tempo necessário para a Terra dar uma volta ao redor do Sol em relação às estrelas distantes é chamado de ano sideral e tem duração de 365,256 dias solares médios. O movimento de precessão da Terra faz com que o ano sideral seja 20 minutos maior que o ano tropical. A duração deste último é de 365,242 anos solares médios e tem como referencial o equinócio vernal, ou seja, o início das estações do ano (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

2.5 Eclipses Lunares e Solares

O ciclo das fases da Lua tem duração de 29,5 dias para ser concluído. Este período é denominado de mês sinódico. O ciclo inicia a partir da Lua nova, que é pouco visível no céu. À medida que a mesma fica mais visível, se torna Lua crescente. A Lua continua crescendo durante a próxima semana e se torna Lua cheia (gibosa), ficando visível até duas semanas após a Lua nova. A partir daí a Lua começa a diminuir e se torna Lua minguante, continua decrescendo e volta a ser Lua nova completando assim o ciclo, veja figura 12. A posição da Lua em relação ao Sol, vista da Terra, depende da fase lunar. Por exemplo, a Lua cheia nasce no leste enquanto o Sol se põe no oeste. A Lua crescente nasce ao meio-dia, mas só começa a ser visível no final do dia. Quando o Sol se põe, a Lua já está alta no céu (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

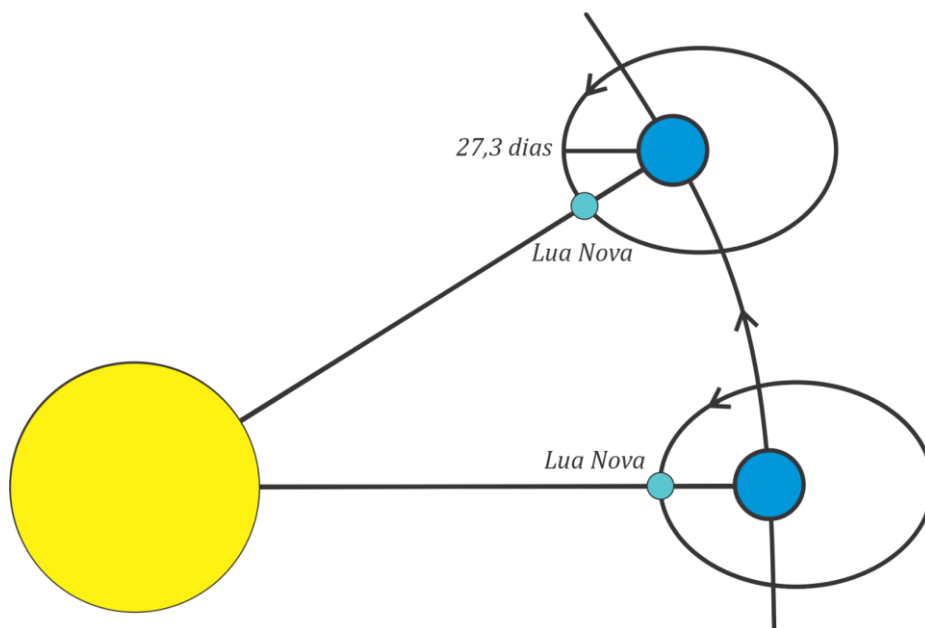
Figura 12 – Imagem mostra as fases da Lua vista por um observador no hemisfério sul da Terra.



Fonte: [Pinterest](https://br.pinterest.com/pin/709879959990789816). Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/709879959990789816>. Acesso em: 1 maio 2021.

O período para a Lua efetuar uma revolução completa em torno do seu eixo e ao mesmo tempo dar uma volta em torno da Terra é chamado de mês sideral e tem duração de 27,3 dias. Este é um pouco menor do que o mês sinódico, porque o dia solar é ligeiramente maior do que o dia sideral. A figura 13 ilustra o mês sideral e o mês sinódico (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Figura 13 – Imagem mostra o ciclo das fases da Lua, sua rotação e translação.



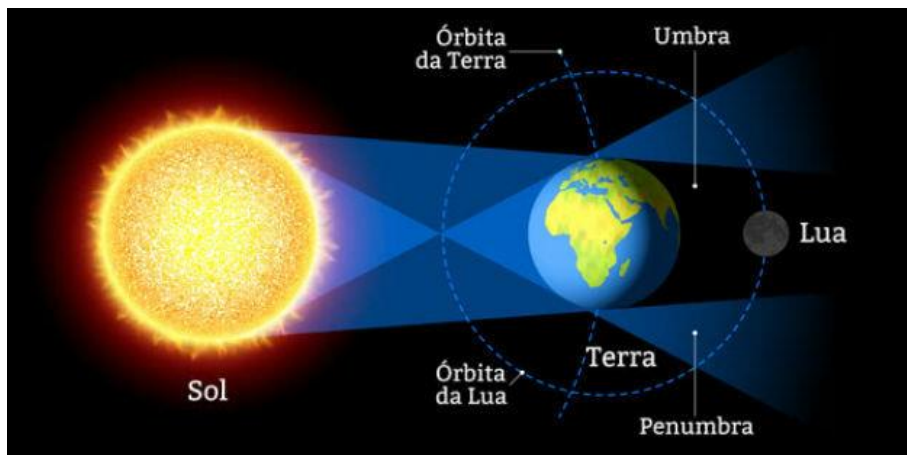
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o Sol, a Terra e a Lua se alinham ocorre um fenômeno chamado eclipse. Porém, este fenômeno somente ocorre quando a Lua se encontra na fase de Lua nova ou cheia. Quando o Sol e a Lua estão em direções opostas, visto da Terra, a sombra da Terra escurece a Lua em um eclipse lunar, veja figura 14 (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

O eclipse lunar total ocorre quando a Lua se encontra na fase de Lua cheia. Porém, normalmente o alinhamento dos astros não é perfeito e a região central da sombra da Terra, chamada umbra (ausência total de luz solar), não cobre totalmente a Lua cheia. Tal ocorrência é conhecida como eclipse lunar parcial, em que pelo menos parte da superfície da Lua se encontra na região de penumbra (ausência parcial de luz solar). Eclipses totais lunares duram o tempo necessário para a Lua cheia sair da região de sombra (umbra) da Terra. Este intervalo de tempo não é mais que cerca de 100 minutos. Durante este tempo a Lua adquire uma coloração vermelha escura e misteriosa, a qual tem origem da luz solar que é desviada (avermelhada) pela atmosfera da Terra e é refratada na superfície lunar evitando que a sombra da Terra fique completamente preta (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

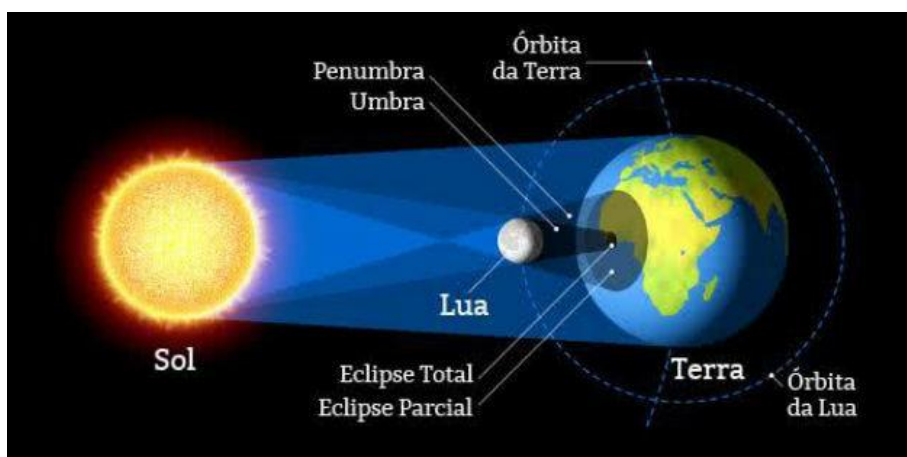
Quando a Lua e o Sol estão exatamente na mesma direção, visto da Terra, ocorre um fenômeno ainda mais inspirador. A Lua passa entre o Sol e a Terra, se o alinhamento dos astros for perfeito, observa-se o eclipse total solar e o dia brevemente se torna noite em algumas regiões, veja ilustração na figura 15. A luz do Sol é reduzida significativamente, algumas estrelas e planetas tornam-se visíveis durante o dia (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Figura 14 – Ilustração de um eclipse total da Lua. O Sol, a Terra e a Lua se alinham, com a Lua se encontrando na região central de sombra (umbra) da Terra.



Fonte: GOUVEIA, R. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/eclipse-lunar>. Acesso em: 2 fev. 2021.

Figura 15 – Ilustração de um eclipse solar. Na região de umbra na Terra ocorre o eclipse solar total e na região de penumbra ocorre o eclipse solar parcial.



Fonte: GOUVEIA, R. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/eclipse-solar>. Acesso em: 2 fev. 2021.

A sombra da Lua na superfície da Terra tem um diâmetro de cerca de 7.000 km, que é praticamente o dobro do seu próprio diâmetro. Na região externa à essa sombra nenhum eclipse é visto. Na região central da mesma, chamada de umbra, observa-se o eclipse total do Sol. Na região de sombra, chamada de penumbra, observa-se o eclipse parcial do Sol, veja figura 15. A região de umbra não excede 270 km e a superfície da Terra viaja a mais de 1.700 km/h, portanto a duração de um eclipse total solar não deve exceder 7,5 minutos (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Em um eclipse solar parcial a Lua está ligeiramente deslocada em relação ao alinhamento dos astros e apenas uma parte do Sol é coberta. O eclipse solar total, ao contrário do eclipse lunar, que é visível simultaneamente por todos os locais do lado noturno da Terra, somente pode ser visto de uma pequena parte do lado diurno da Terra. Mesmo assim, é possível estudar a coroa solar que é uma parte difícil de ver do nosso Sol (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Como já discutido, a órbita da Lua em torno da Terra não é exatamente circular. Se durante um eclipse a Lua estiver longe o suficiente da Terra, o seu disco não consegue cobrir totalmente o disco do Sol, mesmo que seus centros estejam alinhados. Quando isso ocorre a sombra da Lua na Terra não apresenta uma região de umbra, de maneira que um fino anel de luz solar envolve a Lua. A coroa solar não é vista, pois a pequena quantidade de Sol que ainda é visível impede completamente que o brilho fraco da coroa seja visto. Este eclipse é chamado de eclipse anular do Sol, veja figura 16. De todos os eclipses solares observados, aproximadamente metade são eclipses anulares (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

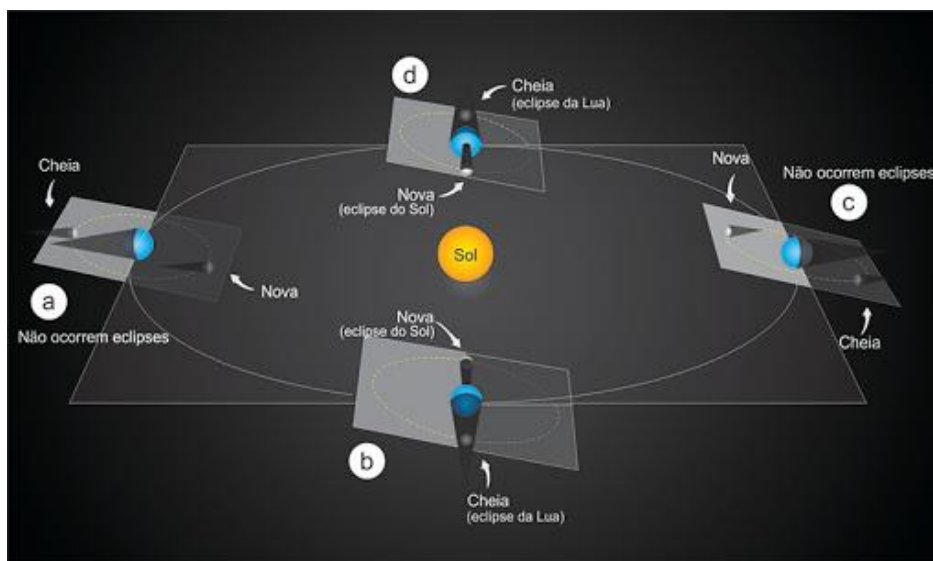
Figura 16 – Eclipse anular do Sol. Um fino anel de luz solar envolve o disco lunar. Nesta situação a coroa solar não é visível.



Fonte: Olhar Digital. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2020/06/18/ciencia-e-espaco/eclipse-vai-criar-anel-de-fogo-no-ceu-neste-domingo-assista>. Acesso em: 3 fev. 2021.

Diante de toda essa descrição os alunos podem perguntar: Por que não há um eclipse solar em cada Lua nova e um eclipse lunar em cada Lua cheia? A resposta é, porque a órbita da Lua é ligeiramente inclinada de um ângulo de $5,2^\circ$ em relação à eclíptica (órbita da Terra em torno do Sol). A probabilidade de ocorrer um alinhamento perfeito entre o Sol, a Terra e a Lua é muito pequena, de maneira que os eclipses são eventos relativamente raros (CHAISSON e MCMILLAN, 2013). A figura 17 ilustra a órbita da Lua inclinada em relação à eclíptica.

Figura 17 – Ilustração mostrando quatro lunações diferentes. Em (a) e (c) não há eclipse, pois os astros não estão alinhados. Em (b) e (d) pode haver eclipses solar e lunar, pois os astros estão alinhados.



Fonte: Linha dos Nós. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm>. Acesso em: 3 fev. 2021.

Os nós da órbita da Lua se encontram nas intersecções da órbita com o plano da eclíptica. Quando a Lua se encontra nesses nós pode ocorrer eclipse ou não, dependendo se a linha de nós (linha imaginária que liga os nós) está ou não direcionada para o Sol. A figura 17 ilustra os dois casos. Em (b) e (d) são apresentados os dois períodos conhecidos como estações de eclipses, que podem ocorrer tanto o eclipse solar quanto o lunar, dependendo do alinhamento entre os astros. Se a Lua estiver acima ou abaixo do plano da eclíptica, casos (a) e (c) da figura 17, não ocorre eclipse. Esses casos são chamados de desfavoráveis e são mais comuns. Portanto, pode-se concluir que os eclipses ocorrem somente quando a Lua está na fase de Lua nova ou cheia e a linha de nós estiver passando pelos centros dos astros (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

2.6 Leis de Kepler

Johannes Kepler (1571-1630) foi um matemático e astrônomo alemão, contemporâneo do primeiro observador “moderno” Galileu Galilei. Diferente de Galileu, Kepler era um teórico puro. Seu trabalho sobre o movimento planetário, que tanto esclareceu nosso conhecimento, foi baseado em observações de outros, em especial na extensa coleção de dados compilados por

Tycho Brahe (1546-1601). A maioria das observações de Tycho foram feitas antes da invenção do telescópio em seu próprio observatório, chamado Uraniborg, na Dinamarca. Seus instrumentos de observação foram feitos por ele mesmo, os quais permitiram que ele conseguisse registros precisos das estrelas, planetas e outros eventos celestiais, como um cometa e uma supernova. Depois de sua morte, Kepler herdou todos os dados das observações dos planetas feitas por ele em várias décadas. A partir daí começou a elaborar uma teoria do movimento dos planetas que não precisasse utilizar os epiciclos. O heliocentrismo de Copérnico foi adotado por ele, porém as órbitas dos planetas não deveriam ser circulares. A sua teoria deveria conciliar os dados observacionais de Tycho e o sistema heliocêntrico (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Depois de muitos estudos Kepler conseguiu, a partir dos dados planetários de Brahe, desenvolver três leis do movimento planetário que levam seu nome. Usando observações de diferentes épocas do ano e triangulação de diferentes pontos da órbita da Terra, ele determinou a forma da órbita de cada planeta e encontrou as velocidades em que os planetas se movem através da observação da posição dos planetas em noites sucessivas. Ele relacionou o tamanho da órbita de um planeta ao seu período orbital sideral, ou seja, quanto mais distante estiver um planeta do Sol, maior será o tempo de revolução em torno dele (CHAISSON; MCMILLAN, 2013).

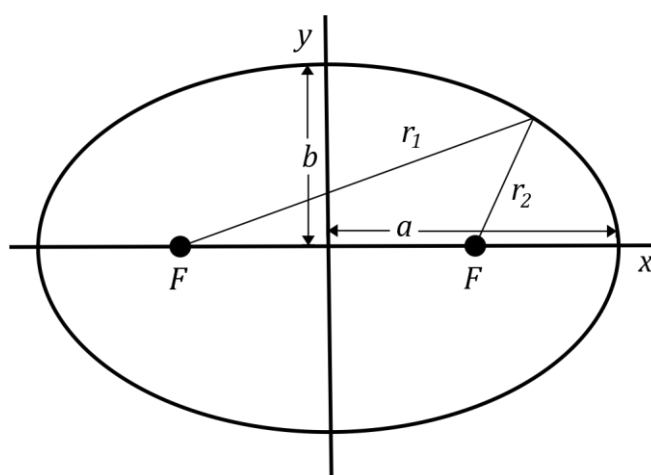
Kepler expôs estes resultados nas suas três leis empíricas do movimento planetário. Estas leis são consistentes com a lei da gravitação universal de Newton (TIPLER; MOSCA, 2013). A primeira lei de Kepler, também conhecida como lei das órbitas, diz que as órbitas dos planetas são elípticas com o Sol ocupando um de seus focos, ver ilustração na figura 3.18. Uma elipse é o lugar geométrico dos pontos para os quais a soma das distâncias a dois pontos fixos, chamados focos F , é constante, como ilustrado na figura 19.

A segunda lei de Kepler diz que o segmento de reta imaginário que liga qualquer planeta ao Sol, varre áreas iguais em tempos iguais (TIPLER; MOSCA, 2013). Esta lei é conhecida como lei das áreas e é uma consequência da conservação do momento angular, ver ilustração na figura 20. A terceira é a lei dos períodos, que diz que o quadrado do período de revolução de qualquer planeta ao redor do Sol é proporcional ao cubo da distância do mesmo.

As leis de Kepler deram um forte suporte às ideias de Copérnico, pois o movimento dos planetas podia ser descrito com grande simplicidade se o Sol fosse adotado como sistema de referência. Tais leis eram empíricas, sem nenhuma interpretação teórica, pois Kepler não fornecia o conceito de força como causa das regularidades observadas. O conceito de força é

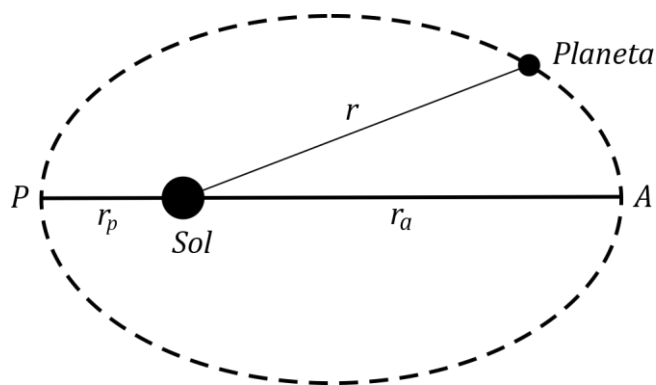
melhor formulado por Newton, que deduz as leis de Kepler a partir de suas leis de movimento e da sua lei da gravitação universal.

Figura 18 – Ilustração mostrando uma elipse cujo lugar geométrico dos pontos para os quais $r_1 + r_2 = \text{constante}$. A distância a é chamada de semieixo maior, e b é o semieixo menor. As circunferências são casos especiais onde os focos coincidem.



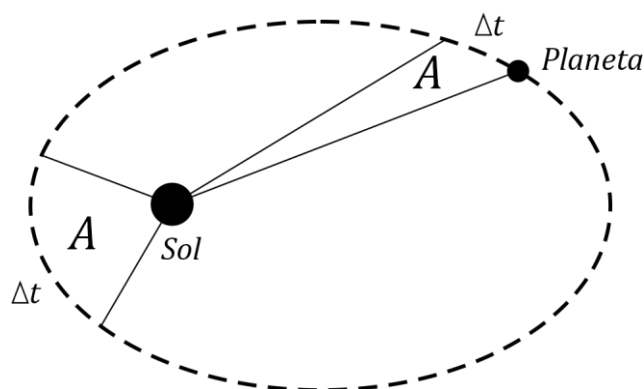
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Ilustração mostrando a trajetória elíptica de um planeta com o Sol ocupando um de seus focos. O ponto P , onde o planeta se encontra mais próximo do Sol, é chamado de Periélio. O ponto A , onde o planeta se encontra mais afastado do Sol, é chamado de Afélio. A distância média entre um planeta e o Sol é igual a $(r_p + r_a)/2$ e é igual ao semieixo maior. Os planetas conhecidos descrevem órbitas mais circulares do que a órbita aqui mostrada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Ilustração mostrando a lei das áreas. As áreas varridas pelo segmento de reta imaginário Sol-Planeta, durante um dado intervalo de tempo Δt , são iguais. O planeta se move mais rapidamente quando está próximo do Sol do que quando está mais afastado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vamos utilizar o conceito de momento angular para derivar a segunda lei de Kepler, a lei das áreas. A figura 21 (a) mostra um planeta em órbita elíptica em torno do Sol. No tempo dt , o planeta se desloca de uma distância $v\Delta t$ ¹, e o vetor raio \mathbf{r} varre a área sombreada da figura. Esta vale a metade da área do paralelogramo formado pelos vetores \mathbf{r} e $\mathbf{v}dt$. Esta pode ser descrita através do módulo do produto vetorial $|\mathbf{r} \times \mathbf{v}\Delta t|$ (TIPLER e MOSCA, 2013). Dessa forma, a área varrida ΔA , dada pela região sombreada na figura 21 (a), pelo raio \mathbf{r} no tempo Δt é descrita por

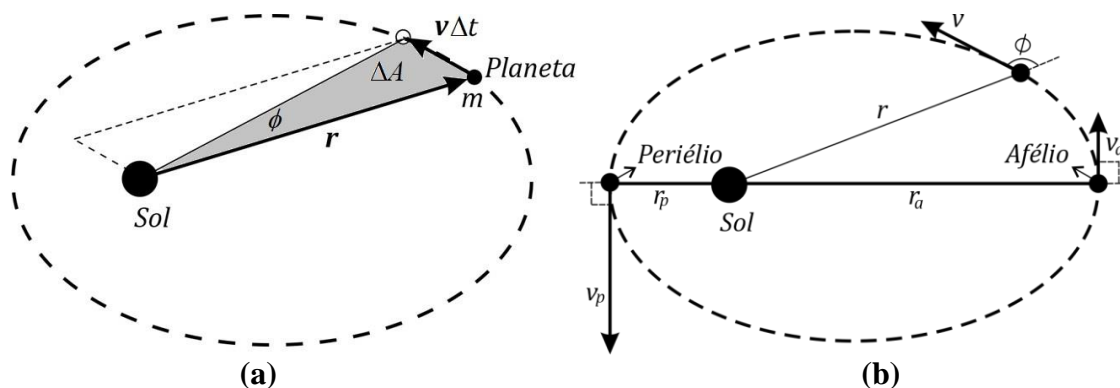
$$\Delta A = \frac{1}{2} |\mathbf{r} \times \mathbf{v}\Delta t| = \frac{|\mathbf{r} \times m\mathbf{v}|}{2m} \Delta t \Rightarrow \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{L}{2m}, \quad (2.1)$$

sendo $L = |\mathbf{r} \times m\mathbf{v}|$ a magnitude do momento angular orbital do planeta em torno do Sol, ou seja, esta é proporcional à magnitude do momento angular orbital L .

Como a força sobre o planeta está no segmento de reta imaginário Sol-Planeta, ela não exerce um torque τ em relação ao Sol. Consequentemente, $\tau = 0$ de maneira que L é constante. Logo, a taxa na qual a área é varrida é a mesma para todas as partes da órbita, que é o que diz a segunda lei de Kepler (TIPLER e MOSCA, 2013). Se L é constante, tem-se que $|\mathbf{r} \times m\mathbf{v}| = r v \sin(\phi)$ é constante. O ângulo ϕ é ilustrado na figura 21(b). Note que no periélio (p) e no afélio (a) $\phi = 90^\circ$, de forma que $r_a v_a = r_p v_p$, de maneira que no periélio, distância r menor ao Sol, o planeta se move com velocidade maior e no afélio, distância maior, o planeta se move com menor velocidade.

¹ Neste trabalho adotaremos a notação vetorial através de letras em negrito, como o vetor velocidade \mathbf{v} , por exemplo.

Figura 21 - (a) Se o momento angular $L = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$ é constante a área sobreada $\Delta A = \frac{1}{2} |\mathbf{r} \times \mathbf{v}\Delta t| = \frac{1}{2m} L\Delta t$, varrida no tempo Δt também é constante, ou seja, $\frac{\Delta A}{\Delta t} = cte$. **(b)** Mostra que a magnitude do momento angular, dada por $L = m v r \text{sen}(\phi)$, permanece constante, e portanto, $r v \text{sen}(\phi)$ permanece constante. Para $\phi = 90^\circ$ no periélio (p) e no afélio (a) tem-se que $r_a v_a = r_p v_p$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como já descrito, a terceira lei de Kepler diz que o quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita, ou seja,

$$T^2 = Cr^3, \tag{2.2}$$

sendo T o período de revolução, r o raio orbital médio e C uma constante que tem o mesmo valor para todos os planetas de um mesmo sistema solar.

Esta lei é consequência do fato de que a força exercida pelo Sol sobre um planeta, varia com o inverso do quadrado da distância do Sol ao planeta (TIPLER e MOSCA, 2013). Para demonstrarmos essa lei vamos utilizar a lei da gravitação universal de Newton, que diz que cada planeta deve ser atraído para o Sol com uma força proporcional à massa M_p do planeta e inversamente proporcional ao quadrado de sua distância ao Sol. Esta será apresentada formalmente na próxima seção. Considerando o caso especial de um planeta movendo-se com velocidade v em uma órbita circular de raio r em torno do Sol tem-se que $F = \frac{GM_s M_p}{r^2}$, sendo G a constante gravitacional universal e M_s a massa do Sol. A força gravitacional do Sol produz no planeta uma aceleração centrípeta dada por $a_c = \frac{v^2}{r}$. Considerando a segunda lei de Newton para massa constante ($F = M_p a_c$) tem-se que:

$$\frac{GM_s M_p}{r^2} = M_p \frac{v^2}{r}. \tag{2.3}$$

Explicitando v^2 , obtemos,

$$v^2 = \frac{GM_s}{r}. \tag{2.4}$$

Para um intervalo de tempo correspondente ao período de revolução do planeta em torno do Sol, este percorre uma distância $2\pi r$, de maneira que sua velocidade pode ser escrita como:

$$v = \frac{2\pi r}{T} . \quad (2.5)$$

Substituindo a equação (2.5) na equação (2.4) obtemos,

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM_s}{r} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_s} r^3 . \quad (2.6)$$

Comparando este resultado com a equação (2.2) tem-se que $C = \frac{4\pi^2}{GM_s}$. Se substituirmos a massa do Sol M_s pela massa de um planeta M_p , a equação (2.6) se aplica para as órbitas dos satélites naturais de qualquer planeta, como a Lua em torno da Terra.

2.7 Lei da Gravitação Universal de Newton

As teses de Aritóteles (385-323 a.C.) acerca da atração gravitacional perduraram por aproximadamente dois mil anos. Galileu Galilei (1564-1642) foi quem contrastou a metodologia abstrata do raciocínio aristotélico com o método empírico. Outros grandes cientistas da época compartilhavam deste método empírico, entre eles, Francis Bacon (1561-1626), Johannes Kepler (1571-1630) e René Descartes (1596-1650). Contudo, quem elaborou a primeira teoria da gravitação com sistematização matemática e fundamentada no método científico foi Isaac Newton (TONIATO, 2020).

Isaac Newton nasceu em 1642 no dia de Natal, ano em que morreu Galileu Galilei, na cidade de Lincolnshire na Inglaterra. Quando a peste bubônica chegou a Cambridge em 1665, Newton, que estudava em Trinity College da Universidade de Cambridge, se refugiou na sua casa durante 2 anos. Neste período ele fez a descoberta da lei da gravidade, mas guardou segredo por 20 anos por achar que estava incompleta e para evitar críticas e plágio dos colegas (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

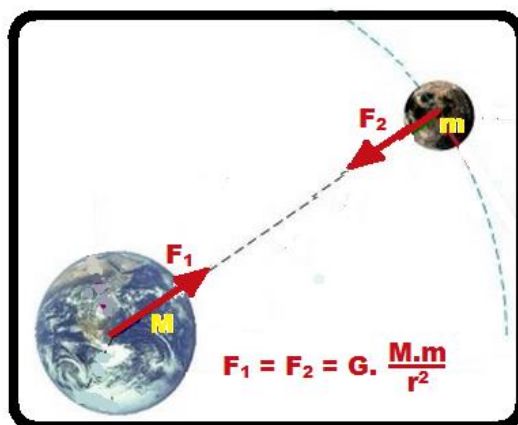
Newton, ao refletir acerca da queda de um corpo, hipotetizou que qualquer objeto que possui uma certa massa sempre exerce uma força gravitacional atrativa em todos os outros objetos massivos e quanto maior a massa do objeto, mais intensa é essa força. Por exemplo, na queda de uma bola, a Terra aplica uma força gravitacional de atração na bola e essa também aplica uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos na Terra (terceira lei de Newton). Devido à Terra ser muito mais massiva, esta adquire uma aceleração muito menor do que a bola (segunda lei de Newton) (CHAISSON e MCMILLAN, 2013).

Um outro aspecto da força gravitacional veio do estudo das acelerações dos planetas que orbitavam o Sol. Quanto maior a distância r do planeta ao Sol, menor seria a atração que receberia, ou seja, a força gravitacional atrativa diminuiria em proporção ao quadrado da distância do planeta ao Sol. Em outras palavras, a força gravitacional atrativa é diretamente proporcional ao produto das massas m_1 e m_2 dos corpos 1 e 2, respectivamente, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros dos corpos (CHAISSON e MCMILLAN, 2013), ou seja,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.7)$$

sendo $G \approx 6,674 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ uma constante universal que tem o mesmo valor para todos os pares de pontos materiais, chamada de constante gravitacional. A figura 22 ilustra a atração gravitacional entre a Terra e a Lua.

Figura 22 – Ilustração mostrando a Terra atraindo a Lua e simultaneamente a Lua atraindo a Terra, com uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos. A massa da Terra é M e a da Lua é m . A distância entre os centros dos astros é dada por r e G é a constante gravitacional.



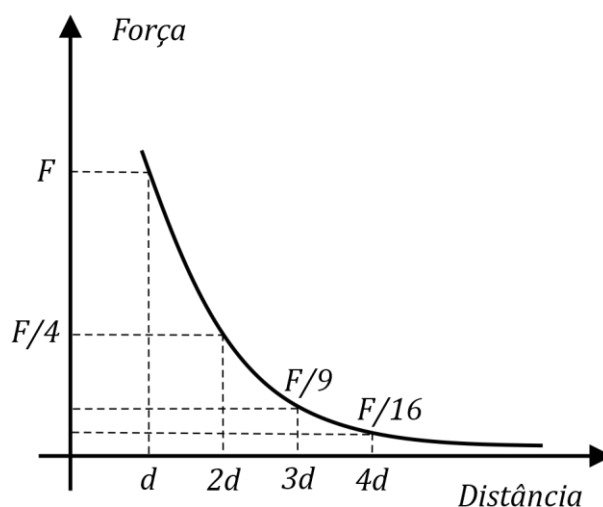
Fonte: Lei da Gravitação Universal de Newton. Disponível em: http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/leis-gravitacao/o_283d11e3487e4ebc.html . Acesso em: 11 fev. 2021.

Como $F = F \left(\frac{1}{r^2} \right)$, quando diminuimos a distância r entre os dois corpos pela metade da inicial ($r/2$), por exemplo, a força gravitacional de atração entre eles F' se torna quatro vezes maior, pois

$$F' = G \frac{m_1 m_2}{\left(\frac{r}{2} \right)^2} = 4 G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 4F.$$

Na figura 23 ilustra o gráfico da força gravitacional atrativa em função da distância entre os centros de massa de dois corpos.

Figura 23 – Gráfico da força gravitacional em função da distância entre dois corpos que estão interagindo entre si. A força varia de maneira inversamente proporcional com o quadrado da distância entre o centro dos corpos e o gráfico é uma hipérbole cúbica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Newton publicou sua teoria da gravitação em 1686, mas foi só um século depois que uma determinação experimental precisa da constante gravitacional G foi feita por Henry Cavendish em 1797 através de seus experimentos com a balança de torsão (TIPLER e MOSCA, 2013).

Esta lei de força estende-se da gravitação na superfície da Terra até os corpos celestes, sendo por isso chamada de lei da gravitação universal de Newton. Com esta lei é possível reproduzir as leis do movimento planetário de Kepler e explicar que a origem dos movimentos orbitais dos planetas está na força gravitacional. A observação de que os corpos são acelerados igualmente por um campo gravitacional uniforme feita por Galileu é explicada por Newton como sendo o que ocorre nas proximidades da superfície da Terra, em que M e r são a massa e o raio da Terra. Se desprezarmos a rotação da Terra, considerarmos que a mesma é esférica e negligenciarmos suas variações de densidade, devido a existência de depósitos de minérios e outras substâncias cuja densidade é maior ou menor que a densidade média da Terra, a força gravitacional torna-se constante e passa a ser a própria força peso de um corpo próximo da superfície da Terra (TONIATO, 2020). A figura 24 ilustra um corpo de massa m próximo da superfície da Terra e sob a influência de seu campo gravitacional de maneira que a força peso $P = mg$ é igual à força gravitacional F , ou seja,

$$mg = \frac{GMm}{r^2}.$$

Dividindo ambos os lados da igualdade acima por m , tem-se:

$$g = \frac{GM}{r^2} \cdot \tag{2.8}$$

Substituindo $r = R + h$, conforme a figura 24,

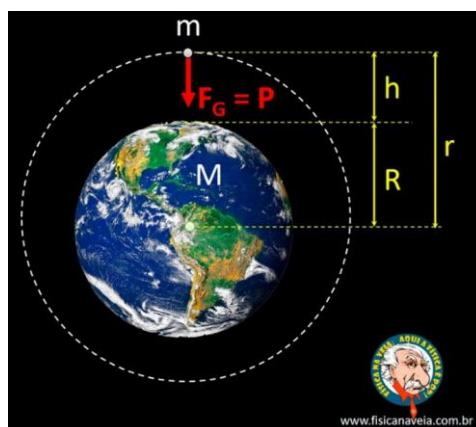
$$g = \frac{GM}{(R + h)^2} \cdot \tag{2.9}$$

Na superfície da Terra tem-se $h = 0$, de maneira que,

$$g_0 = \frac{GM}{R^2} \cdot \tag{2.10}$$

sendo g_0 o campo gravitacional na superfície da Terra.

Figura 24 – Ilustração mostrando um corpo de massa m próximo da superfície da Terra a uma altitude h . A Terra possui massa M e raio R . A distância do centro da Terra até o centro do corpo é r . A força gravitacional é o próprio peso do corpo.



Fonte: FÍSICA NA VEIA. Disponível em: <https://fisicanaveia.blogosfera.uol.com.br/2020/06/11/a-gravidade-e-zero-no-espaco-quanto-vale-a-gravidade-na-iss>. Acesso em: 11 fev. 2021.

O campo gravitacional no exterior do planeta ($r \geq R$) pode ser calculado como se toda a massa M do planeta estivesse confinada em seu centro, ou seja, se tivéssemos uma massa pontual. Mas como é o campo gravitacional no interior de um planeta? Este obedece a mesma lei de força?

A resposta para esta última pergunta é não. Para calcular a aceleração da gravidade no interior do planeta é necessário saber a distribuição da densidade de massa da Terra. Como uma primeira aproximação, pode-se assumir que a Terra possui simetria esférica e densidade dependente apenas com a distância r a partir do centro do planeta. Sob estas condições é possível obter a distribuição de densidade a partir da equação de Adams-Williamson (LAY and WALLACE, 1995), a qual relaciona o gradiente de densidade radial com as propriedades elásticas de um planeta com simetria esférica sob condições hidrostáticas. A solução desta

equação requer o conhecimento das velocidades de ondas sísmicas como função de r , as quais podem ser obtidas de dados sismométricos.

A gravidade no interior da Terra é aproximadamente constante e igual ao valor observado na superfície em todo o manto terrestre. Este possui uma espessura de aproximadamente 3.000 quilômetros e representa 84% do volume total da Terra. Este resultado pode ser explicado pelo modelo terrestre de duas camadas (SNYDER, 1986), o qual mostra que a constância da aceleração da gravidade é uma consequência do tamanho particular e da densidade do núcleo terrestre com relação ao tamanho e densidade de todo o planeta Terra. Em outros planetas com diferentes distribuições de massa, a dependência da aceleração da gravidade pode ser muito diferente (DRAGONI, 2020).

Conhecer o campo gravitacional no interior da Terra é muito importante, porque a gravidade é uma das principais forças que controlam os movimentos internos da Terra, como os movimentos de convecção que ocorrem no núcleo e no manto. Tais movimentos dão origem a manifestações fundamentais da atividade do planeta, como o seu campo magnético e a dinâmica de sua superfície através das placas tectônicas, vulcões e terremotos (DRAGONI, 2020).

2.8 Marés

As marés são os movimentos periódicos de subida e descida do nível médio do mar que ocorrem em todo o oceano. À medida que o nível do mar sobe e desce, a borda do mar lentamente se desloca em direção à terra e ao mar diariamente. O conhecimento da periodicidade das marés é muito importante para várias atividades costeiras, como surf, pesca, navegação e até mesmo para se preparar para tempestades.

As marés são causadas pela variação das forças gravitacionais que a Lua e o Sol exercem sobre a Terra e seus oceanos. Isto ocorre porque o campo gravitacional tanto da Lua quanto do Sol não é homogêneo em todo o globo. A força gravitacional que a Lua exerce em qualquer corpo na superfície da Terra é cerca de cem vezes menor do que a força gravitacional que o Sol exerce. Entretanto, pelo fato da Lua estar mais próxima da Terra do que o Sol, a não homogeneidade do campo gravitacional lunar em toda a Terra é consideravelmente maior do que a do campo solar. Como consequência disso as marés induzidas pela Lua são aproximadamente o dobro das marés induzidas pelo Sol (BUTIKOV, 2002).

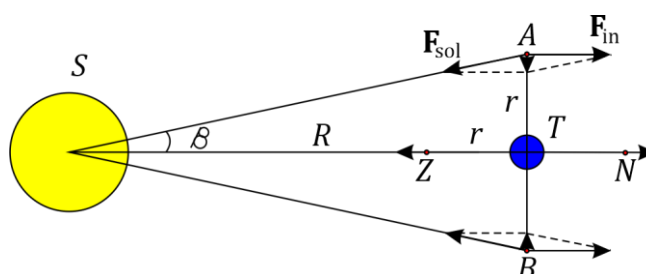
Devido ao centro de massa do sistema Sol-Terra quase coincidir com o centro do Sol, as forças geradoras de maré podem ser melhor entendidas se começarmos analisando as marés

induzidas pelo Sol. A Terra como um todo se move com uma aceleração relativa a um referencial inercial. Essa aceleração é consequência das forças gravitacionais dos corpos celestes. Ela se move em uma trajetória quase circular em torno do Sol com uma aceleração centrípeta \mathbf{a}_0 . Essa aceleração é produzida pela força gravitacional solar, como se a Terra estivesse “caindo” no campo gravitacional do Sol, e não depende de sua velocidade orbital (BUTIKOV, 2002).

Para entendermos melhor as marés vamos considerar um referencial geocêntrico não giratório que realiza um movimento translacional circular em torno do Sol, ou seja, é um movimento de revolução sem rotação. Com relação ao espaço inercial, relacionado às estrelas distantes, todos os pontos desse referencial movem-se com aceleração \mathbf{a}_0 , cuja magnitude e direção são as mesmas para todos os pontos. Qualquer corpo de massa m neste referencial não inercial geocêntrico está sujeito a uma pseudoforça de inércia $\mathbf{F}_{in} = -m\mathbf{a}_0$, que é independente da posição do corpo em relação a Terra. Se o corpo fosse colocado no centro da Terra, essa pseudoforça equilibraria exatamente a força gravitacional que o corpo recebe do Sol (BUTIKOV, 2002).

Diferente da pseudoforça de inércia, a força gravitacional do Sol, \mathbf{F}_{sol} , experimentada pelo corpo diminui com a sua distância do Sol, sendo sua magnitude e direção dependentes da posição do corpo na Terra. A *força de maré* é resultado da ação combinada da pseudoforça \mathbf{F}_{in} e a força \mathbf{F}_{sol} , que somente possuiriam a mesma magnitude e direção se o corpo estivesse no centro da Terra (BUTIKOV, 2002). A figura 25 ilustra a influência solar nas marés.

Figura 25 – Ilustração das forças geradoras de maré induzidas pelo Sol (S) em diferentes pontos A, B, Z e N. Somente no centro da Terra (T) que a força geradora de maré é nula, pois a soma vetorial entre a pseudoforça \mathbf{F}_{in} e a força \mathbf{F}_{sol} é um vetor nulo. Então, \mathbf{F}_{in} e \mathbf{F}_{sol} passam a ter mesma magnitude e direção, com sentidos opostos. $\beta \approx r/R$ é o ângulo entre o corpo e o centro da Terra vista do Sol.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A magnitude da aceleração \mathbf{a}_0 de queda livre da Terra T no campo gravitacional do Sol S possui a mesma expressão da equação (2.10), ou seja,

$$a_0 = \frac{GM_{sol}}{R^2}, \quad (2.11)$$

mas neste caso M_{sol} é a massa do Sol e R é a distância Sol-Terra.

Ainda utilizando a figura 25 vamos verificar as forças de maré nos pontos ao redor da Terra T . No ponto A a força \mathbf{F}_{sol} não tem a mesma direção da pseudoforça \mathbf{F}_{in} e a soma vetorial entre elas resulta na força de maré \mathbf{F}_A direcionada verticalmente para a Terra, de maneira que,

$$\mathbf{F}_A = \mathbf{F}_{sol} \text{sen}(\beta) \approx \mathbf{F}_{sol} \beta,$$

uma vez que $\beta = \frac{r}{R} \ll 1$ é o ângulo entre o corpo e o centro da Terra visto do Sol, fazendo com que seja válida a aproximação $\text{sen}(\beta) \approx \beta$. Como $F_{sol} = ma_0$, pela equação (2.11) tem-se para a magnitude de F_A ,

$$F_A = ma_0\beta = ma_0 \left(\frac{r}{R}\right) = \left(\frac{GmM_{sol}}{R^2}\right) \left(\frac{r}{R}\right) = \left(\frac{GmM_{sol}}{R^3}\right) r. \quad (2.12)$$

A força de maré \mathbf{F}_B no ponto B tem a mesma magnitude de \mathbf{F}_A e também é direcionada verticalmente para a Terra. Nestes dois pontos A e B ao redor da Terra a força de maré é sempre vertical para baixo e o Sol está no horizonte, ou seja, $R \perp r$ como mostrado na figura 25 (BUTIKOV, 2002).

Quando o corpo se encontra no ponto Z , o Sol encontra-se no zênite². A distância do Sol ao corpo é menor do que a distância do Sol a Terra, de maneira que a força \mathbf{F}_{sol} é mais intensa do que a pseudoforça \mathbf{F}_{in} e ambas apresentam a mesma direção. Por isso a força de maré \mathbf{F}_Z no ponto Z é vertical para cima em relação a Terra e direcionada para o Sol. Sua magnitude é dada por $F_Z = F_{sol} - F_{in}$, ou seja,

$$F_Z = G \frac{mM_{sol}}{(R-r)^2} - ma_0 = \frac{ma_0R^2}{(R-r)^2} - ma_0 = ma_0 \left[\frac{R^2}{(R-r)^2} - 1 \right]. \quad (2.13)$$

em que utilizamos a equação (2.11). Sendo $\frac{r}{R} \ll 1$ é possível mostrar que o primeiro termo entre parênteses é dado, aproximadamente, por:

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{r}{R}\right)^2} \approx 1 + \frac{2r}{R},$$

de maneira que a equação (2.13) pode ser escrita como:

$$F_Z = ma_0 \left[\frac{R^2}{(R-r)^2} - 1 \right] \approx 2 \left(\frac{GmM_{sol}}{R^3} \right) r, \quad (2.14)$$

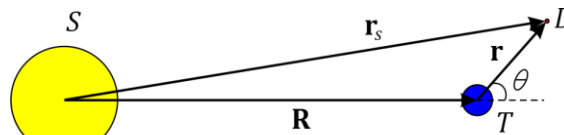
ou seja, $F_Z \approx 2F_A$, e portanto F_Z é aproximadamente o dobro da magnitude das forças de maré nos pontos A e B , uma vez que $F_A = F_B$.

² O zênite é o ponto da esfera celeste que se situa na vertical do observador, sobre a sua cabeça.

No ponto N , a força de maré \mathbf{F}_N tem aproximadamente a mesma magnitude de \mathbf{F}_Z e é vertical para cima vista da Terra e do Sol e este se encontra no nadir³. Neste caso, a força \mathbf{F}_{Sol} é menos intensa do que a pseudoforça \mathbf{F}_{in} e apresenta a mesma direção. O raciocínio utilizado para as forças de maré induzidas pelo Sol na Terra são válidas também para as forças de maré induzidas pela Lua na Terra, bastando substituir M_{sol} pela massa da Lua e R pela distância Terra-Lua. O fator que realmente importa é a aceleração adquirida pela Terra devido a atração gravitacional do corpo celeste que causa as marés na Terra e não das velocidades orbitais de ambos os corpos acoplados gravitacionalmente. Como a Lua está mais perto da Terra, as forças geradoras de maré lunar são aproximadamente 2,2 vezes maior do que as solares (BUTIKOV, 2002).

Para obter uma expressão matemática geral para as forças geradoras de marés induzidas pelo Sol vamos considerar um ponto D arbitrário perto da Terra, como mostrado na figura 26. Continuaremos considerando a estrutura geocêntrica não inercial e não rotativa para analisarmos a força de maré \mathbf{F}_D sobre um corpo de massa m colocado neste ponto.

Figura 26 – Ilustração mostrando o Sol S , a Terra T e um ponto arbitrário D . O vetor \mathbf{r} é medido do centro da Terra até o ponto D , \mathbf{R} é o vetor do centro do Sol até o centro da Terra e $\mathbf{r}_s = \mathbf{R} + \mathbf{r}$ é o vetor medido do centro do Sol até o ponto D . O ângulo θ situa-se entre \mathbf{r} e a linha Sol-Terra.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A força de maré \mathbf{F}_D é o resultado da soma vetorial da força $\mathbf{F}_{\text{Sol}} = G \frac{mM_{\text{sol}}}{r_s^2} (-\hat{\mathbf{r}}_s)$ com a pseudoforça $\mathbf{F}_{\text{in}} = -m\mathbf{a}_0 = -G \frac{mM_{\text{sol}}}{R^2} (-\hat{\mathbf{R}})$ no ponto D , sendo $\hat{\mathbf{r}}_s = \mathbf{r}_s/r_s$ e $\hat{\mathbf{R}} = \mathbf{R}/R$ os versores das direções de \mathbf{r}_s e \mathbf{R} , respectivamente. Logo,

$$\mathbf{F}_D = \mathbf{F}_{\text{Sol}} + \mathbf{F}_{\text{in}} = -GmM_{\text{sol}} \left(\frac{\mathbf{r}_s}{r_s^3} - \frac{\mathbf{R}}{R^3} \right). \quad (2.15)$$

Sendo $r \ll R$ podemos escrever,

$$r_s^2 = (\mathbf{R} + \mathbf{r})^2 = R^2 + 2(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r}) + r^2 \approx R^2 \left[1 + 2 \frac{(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right]. \quad (2.16)$$

Para encontrarmos uma expressão aproximada para $1/r_s^3$, elevamos ambos os lados da equação (2.16) por $(-3/2)$, o que nos fornece:

³ O nadir é o ponto da esfera celeste diretamente oposto ao zênite, situado na vertical do observador sob seus pés.

$$(r_s^2)^{-\frac{3}{2}} \approx (R^2)^{-\frac{3}{2}} \left[1 + 2 \frac{(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right]^{-\frac{3}{2}} \rightarrow \frac{1}{r_s^3} \approx \frac{1}{R^3} \left[\frac{R^2}{R^2 + 2(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})} \right]^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{[R^2 + 2(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})]^{\frac{3}{2}}}.$$

Essa expressão ainda pode ser escrita como,

$$\frac{1}{r_s^3} = \frac{1}{R^3 \left[1 + \frac{2(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right]^{\frac{3}{2}}} \approx \frac{1}{R^3} \left[1 - 3 \frac{(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right]. \quad (2.17)$$

Substituindo o resultado (2.17) em (2.15) e sendo $\mathbf{r}_s = \mathbf{R} + \mathbf{r}$ tem-se,

$$\mathbf{F}_D \approx -G \frac{mM_{sol}}{R^3} \left[(\mathbf{R} + \mathbf{r}) \left(1 - \frac{3(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right) - \mathbf{R} \right] \approx -G \frac{mM_{sol}}{R^3} \left[\mathbf{r} - 3\mathbf{R} \frac{(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right],$$

em que desprezamos o termo $-3\mathbf{r} \frac{(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2}$ uma vez que $r \ll R$. Dessa forma a expressão geral para a força de maré em um ponto arbitrário D próximo da Terra fica:

$$\mathbf{F}_D \approx -G \frac{mM_{sol}}{R^3} \left[\mathbf{r} - 3\mathbf{R} \frac{(\mathbf{R} \cdot \mathbf{r})}{R^2} \right]. \quad (2.18)$$

Se esta expressão for realmente geral, precisamos obter a partir desta os resultados (2.12) e (2.14). Considerando os pontos A , B e Z , N da figura 25, tem-se que nos pontos A e B , \mathbf{r} é perpendicular a \mathbf{R} e, portanto, o produto escalar $\mathbf{R} \cdot \mathbf{r}$ é zero na expressão (2.18). Nesses dois pontos a força de maré é oposta a \mathbf{r} , ou seja, verticalmente para baixo e sua magnitude é igual a $\left(\frac{GmM_{sol}}{R^3} \right) r$, como em (2.12). Nos pontos Z e N , a força de maré é dirigida ao longo de \mathbf{r} , isto é, verticalmente para cima e sua magnitude é dada por $2 \left(\frac{GmM_{sol}}{R^3} \right) r$, ou seja, o dobro da força nos pontos A e B como mostrado em (2.14). Portanto, vemos que para os quatro pontos citados a expressão geral (2.18) está de acordo com os resultados obtidos anteriormente (BUTIKOV, 2002).

Para saber mais sobre as forças de maré induzidas pelo Sol e pela Lua e a influência do movimento de rotação da Terra nas mesmas recomendamos a leitura de Arons (1979), Butikov (2002) e Galili e Lehavi (2003).

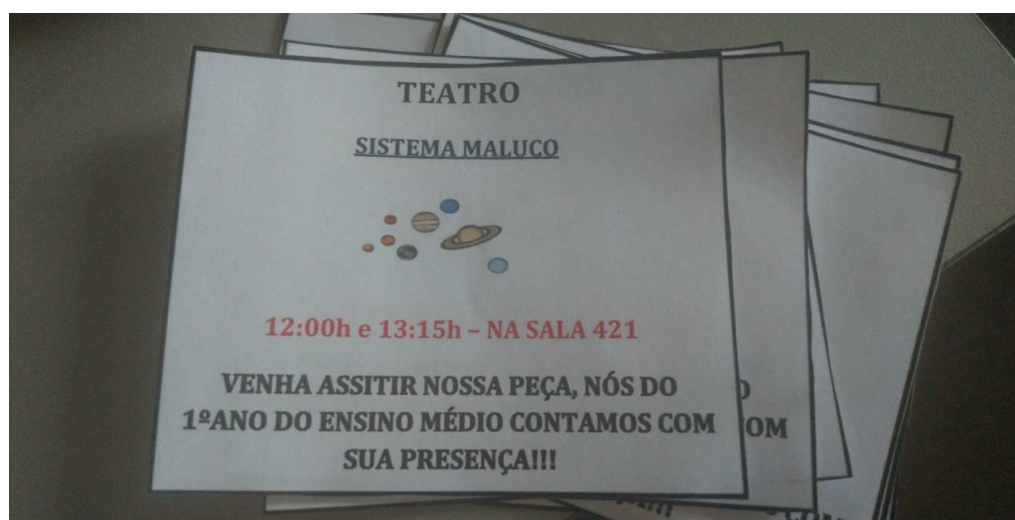
3 A PEÇA DE TEATRO: “SISTEMA MALUCO”

A peça de teatro “Sistema Maluco” consiste de encenações acerca dos movimentos do Sol, da Terra e da Lua. O roteiro foi escrito para os estudantes representarem os movimentos de rotação e translação da Terra e da Lua, considerando a Terra no centro do sistema planetário

para representar o sistema geocêntrico, e em outro momento, o Sol no centro do sistema para representar o sistema heliocêntrico. É possível mostrar que o Sol ocupa um dos focos da trajetória elíptica que a Terra descreve ao seu redor e explicar os pontos afélio e periélio, os solstícios e equinócios de inverno e verão. As encenações também podem ser conduzidas com a finalidade de responder perguntas como o porquê de não se ver o Sol e as estrelas ao mesmo tempo, o porquê de a Lua mostrar sempre a mesma face para a Terra, as fases da Lua, os eclipses solares e lunares e o porquê de não ocorrerem eclipses em todas as Luas novas e cheias.

A peça teatral foi escrita em uma linguagem acessível para qualquer público, podendo ser conduzida pelo professor em sala de aula para os alunos apenas, como uma atividade disciplinar, por exemplo, ou para um público geral em feiras de ciências, festividades da escola ou mesmo da cidade em que o professor e os alunos residem. A divulgação da peça pode ser feita conforme a disponibilidade de recursos da escola através de panfletos, como o apresentado na figura 27, ou meios digitais, como redes sociais, site da escola, entre outros.

Figura 27 – Exemplo de divulgação da peça de teatro “Sistema Maluco” através de um panfleto mostrando o horário e o local do espetáculo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Sobre os Ensaios da Peça e a Escolha do Figurino

Os ensaios da peça podem ser realizados em horários contrários às aulas. O conteúdo apresentado na peça “Sistema Maluco” foi dividido em 9 esquetes, que consistem em peças de curta duração. Esta estratégia foi adotada para facilitar o estudo e a descrição do conteúdo pelos estudantes e também os ensaios. O número necessário de ensaios para cada esquete deve ser

estabelecido pelo(a) professor(a), conforme o entendimento e a evolução dos alunos com relação aos temas trabalhados para cada esquete.

Para facilitar para os alunos, nos ensaios iniciais o(a) professor(a) pode desenhar no chão com giz de cera uma elipse para representar a eclíptica. Sugerimos que cada esquete seja ensaiada independentemente, sendo anunciada pelo apresentador antes dos estudantes-atores entrarem em cena. O papel do apresentador é muito importante, porque ele situa o público historicamente sobre o que será apresentado e introduzir o conteúdo de cada cena (esquete).

Sugerimos também que os ensaios sejam gravados para que análises sejam feitas pelos alunos e pelo(a) professor(a) com relação ao tempo de fala, performance dos alunos no palco e a forma como o conteúdo está sendo descrito, para a realização de melhorias na peça.

Para cada esquete o(a) professor(a) e os alunos podem escolher trilhas sonoras temáticas para auxiliar a envolver o público no assunto abordado. Por exemplo, nós escolhemos a música *The Dark Side of the Moon* (O lado escuro da Lua) da banda britânica Pink Floyd para a cena em que a personagem Lua fica girando em torno dela mesma e da Terra, mostrando sempre a mesma face para a Terra.

Com relação ao figurino sugerimos que sejam utilizados materiais de baixo custo, como tecidos nas cores amarelo para o Sol, azul para a Terra, branco para as Luas e vermelho para os planetas. O cenário pode ser feito com uma cortina de elanquinha preta, grande o suficiente para ilustrar o firmamento, na qual as estrelas, feitas de cartolina de diferentes cores, podem ser coladas com fita adesiva. Para ilustrar melhor o plano orbital da Lua para a explicação dos eclipses, pode-se utilizar uma placa de isopor no formato de disco pintada na cor desejada ou outro material equivalente. Este deve ser utilizado como um colar pela personagem Terra, para evidenciar a inclinação do plano orbital da Lua, veja foto apresentada na figura 28.

Figura 28 – Personagem Terra utilizando “colar” de isopor para ilustrar a inclinação do plano orbital da Lua.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Luz, Física, Ação: Esquetes da Peça Teatral

A duração da peça de teatro com os temas apresentados neste produto educacional é estimada em aproximadamente 30 minutos, mas pode ser estendida conforme o desejo do(a) professor(a).

Esquete 1: Apresentando o “Sistema Maluco” e o Modelo Geocêntrico

No início da peça o narrador cumprimenta o público e apresenta o “Sistema Maluco”, Terra, Lua, Sol e os planetas do sistema solar, tendo como primeira abordagem o modelo geocêntrico de Ptolomeu. As falas de cada personagem são apresentadas abaixo em negrito.

Narrador: Bom dia senhoras e senhores, sejam todos muito bem vindos ao nosso teatro. Através de uma maneira lúdica iremos encantá-los com nossas encenações acerca da Física, em particular sobre tópicos de Astronomia. Gostaria de deixar claro a todos que nosso referencial é um observador no hemisfério sul da Terra. A observação do firmamento foi talvez a atividade mais prazerosa das civilizações de eras passadas. O primeiro sistema planetário foi o sistema geocêntrico proposto pelo astrônomo e geógrafo grego Cláudio Ptolomeu, que viveu no início da era cristã (século II).

Terra: (entra e se posiciona no centro do palco) Eu sou a Terra e ocupo o centro do Universo.

Lua: (entra e gira no sentido horário ao redor da Terra) Eu sou a Lua e giro em torno da Terra.

Sol: (entra e gira no sentido horário ao redor da Terra) Eu sou o Sol e giro em torno da Terra.

Planetas: (entra e gira no sentido horário ao redor da Terra) Eu sou os Planetas e giramos em torno da Terra.

Terra: (olhando e gesticulando para cima) E no firmamento encontram-se as estrelas fixas.

Saem do palco os Planetas, o Sol e a Lua nesta ordem, girando no sentido horário em torno da Terra e por último sai a Terra.

Esquete 2: O Modelo Heliocêntrico

Narrador: Depois de quatorze séculos, ou seja, século XVI o astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico propôs o sistema heliocêntrico, ideia já proposta na Grécia antiga por Aristarco de Samos (século III a.C.), porém rejeitada por outros astrônomos gregos.

Sol: (entra e se posiciona no centro do palco) Eu sou o Sol e ocupo o centro do Universo.

Terra: (entra e gira no sentido horário ao redor do Sol) Eu sou a Terra e giro em torno do Sol.

Lua: (entra e gira no sentido horário ao redor da Terra, e esta gira no sentido horário ao redor do Sol) Eu sou a Lua e giro em torno da Terra, que gira em torno do Sol.

Planetas: (entra e gira no sentido horário ao redor do Sol) Eu sou os Planetas e giramos em torno do Sol.

Sol: (olhando e gesticulando para cima) E no firmamento encontram-se as estrelas fixas.

Saem do palco os Planetas, a Lua e a Terra nesta ordem, girando no sentido horário em torno do Sol e por último sai o Sol.

Esquete 3: A Órbita da Terra

Narrador: No século XVII, Johannes Kepler, astrônomo, astrólogo e matemático alemão analisando os dados compilados por Tycho Brahe, astrônomo dinamarquês, percebeu que as órbitas dos planetas em torno do Sol não eram circulares e o Sol não ocupava o centro do Universo.

Sol: (entra e se posiciona em um dos focos da eclíptica) Eu sou o Sol e ocupo um dos focos da eclíptica.

Terra: (entra e gira no sentido horário ao redor do Sol e se posiciona no Periélio) Eu sou a Terra e giro em torno do Sol descrevendo uma órbita elíptica.

Terra: Sol, você sabia que esta é a menor distância entre mim e você?

Sol: Não, como você sabe?

Terra: É simples, esta posição se chama Periélio. (Terra se move no sentido horário para o Afélio e pergunta para o Sol) E agora você sabe qual é esta posição?

Sol: O nome eu não sei, mas sei que é a maior distância entre mim e você.

Terra: Muito bem, esta posição se chama Afélio.

Terra: (A Terra gira no sentido horário ao redor do Sol e se posiciona no Periélio e diz ao Sol) Sol, minha velocidade aqui é de 30,2 km/s.

Terra: (A Terra gira no sentido horário ao redor do Sol e se posiciona no Afélio e diz ao Sol) Agora estou com uma velocidade de 29,3 km/s.

Sol: Nossa! que loucura! Eu pensei que sua velocidade era constante e seu movimento uniforme.

Terra: Não, não, não, meu movimento é variado. Ao aproximar de ti, minha velocidade aumenta e ao afastar de ti, minha velocidade diminui.

Sol: (O Sol encabulado pergunta para a Terra) Mas por que que isso acontece?

Terra: Porque você me atrai e eu te atraio com uma força de mesma intensidade e sentidos opostos, chamada força gravitacional. (A Terra gira no sentido horário ao redor do Sol com os braços esticados em direção aos braços esticados do Sol, quando a Terra passar pelo Periélio estará de mãos dadas com o Sol e passará mais rápido).

Terra e Sol saem do palco.

Esquete 4: Os Dias e as Noites

Narrador: Por que existem os dias e as noites? Por que não vemos as estrelas durante o dia? Questões interessantes, não é!?

Sol: (entra e se posiciona em um dos focos da eclíptica).

Terra: (entra e gira no sentido horário ao redor do Sol e de si mesma).

Sol: Está louca, Terra!? Por que está girando?

Terra: Sol você sabe por que existem os dias e as noites?

Sol: Não, nunca pensei nisso!

Terra: Se você reparar sempre tem um lado meu que você está iluminando e outro não. O lado iluminado é o dia e o outro a noite.

Sol: E como isso acontece?

Terra: Enquanto eu giro em torno de você, giro em torno do meu próprio eixo. Este é chamado de movimento de rotação.

Sol: E qual é o período deste movimento?

Terra: O período é de 24 h, ou seja, tempo para eu te ver novamente.

Sol: Ah! Agora eu entendi! É o famoso dia solar. Mas espera aí! O que é mesmo um dia solar? E qual é a diferença do dia sideral?

Terra: O dia solar é em relação a você e o dia sideral em relação às estrelas do firmamento.

Sol: Terra, por gentileza, você pode encenar para eu entender melhor?

Terra: Sim, claro! Está vendo aquela estrela vermelha (aponta para a estrela), (A Terra gira entorno do seu próprio eixo) o tempo que eu demorar para vê-la novamente é a duração do dia sideral.

Sol: E qual é esta duração?

Terra: O dia sideral é de 23h56min4s, ou seja, é um pouco menor que o dia solar.

Terra: Sol, agora sou eu que tenho uma dúvida?

Sol: Fala, minha querida Terra!

Terra: Por que não vemos as estrelas do firmamento durante o dia?

Sol: Muito simples, sendo eu uma estrela tão bela, tão intensa e estando mais próxima de você do que das outras, meu brilho ofusca as demais estrelas.

Terra: Deixa me ver se eu entendi! (A Terra gira entorno do seu próprio eixo) Quando eu estou girando em torno do meu eixo, vejo você nascer, passo o dia contigo e depois você se põe e eu começo a enxergar as estrelas.

Sol: Isso mesmo, Terra, você é linda e muito inteligente. Vamos tomar um cafezinho? (Terra e Sol saem do palco).

Esquete 5: As Estações do Ano

Narrador: Em nosso país temos as quatro estações do ano bem definidas, mas o que define essas estações? Dia e noite sempre têm a mesma duração?

Sol: (entra e se posiciona em um dos focos da eclíptica).

Terras: (entram e se posicionam nos solstícios e equinócios. Cada uma das quatro Terras com um cabo de vassoura perpendicular a eclíptica e formando um ângulo de 23,5° com este cabos).

Sol: Por que vocês estão inclinadas?

Terra: Se eu não estivesse inclinada de 23,5° em relação à vertical que passa pela minha órbita, não existiriam as estações do ano.

Sol: Nossa! Que máximo!

Terra: Não é!? Vou explicar. Nesta posição que me encontro é 21 de março.

Terra 1: Nesta posição em que me encontro é 22 de junho.

Terra 2: Nesta posição em que me encontro é 23 de setembro.

Terra 3: Nesta posição em que me encontro é 22 de dezembro.

Sol: Para, para, para tudo! Não estou entendendo mais nada, o que que tem a ver essas posições com as estações do ano?

Terra: Calma, relaxa, eu vou explicar!

Terra: (fala para o público) Pessoal vocês já sabem que eu sou inclinada, não vou ficar assim o tempo todo, ok!?! (Terras 1, 2 e 3 saem de cena).

Terra: Vamos lá, aqui em 21 de março ocorre o equinócio, o dia e a noite têm mesma duração, e é o início do outono.

Terra: (gira no sentido horário até a posição de solstício de inverno) Aqui em 22 de junho ocorre o solstício de inverno, a noite é mais longa do que o dia, e é o início do inverno.

Terra: (gira no sentido horário até a posição de equinócio) Aqui em 23 de setembro ocorre o equinócio, o dia e a noite têm mesma duração, e é o início da primavera.

Terra: (gira no sentido horário até a posição de solstício de verão) Aqui em 22 de dezembro ocorre o solstício de verão, o dia é mais longo do que a noite, e é o início do verão.

Sol: (Sol bate palmas para a Terra) Você é o meu planeta favorito adoro te aquecer! Agora vem comigo, vamos passear pela nossa galáxia, a maravilhosa Via Láctea.

Sol e Terra saem do palco.

Esquete 6: O Lado Escuro da Lua

Narrador: *The Dark Side of the Moon* (O lado escuro da Lua) é o oitavo álbum de estúdio da banda britânica de rock progressivo Pink Floyd, lançado em 1 de março de 1973. Que conceito físico está implícito no nome desse álbum?

Terra: (entra e se posiciona no centro do palco)

Lua: (entra e gira no sentido horário em torno da Terra e dela mesma sempre mostrando a mesma face para a Terra).

Terra: (faz cara de estranheza) Que bicho te mordeu!?! Por que você não para de me olhar?

Lua: Não sei por que está me perguntando isso! Lembra de Theia? Aquele planeta com o tamanho aproximadamente igual ao de Marte, que chocou-se contra você e me afastou de ti. Desde então, giro em torno de ti.

Terra: Nossa! É verdade! Já faz tanto tempo que eu nem me lembrava.

Lua: Se não me falha a memória eu nasci 100 milhões de anos depois de seu nascimento. Lembrando que você nasceu aproximadamente a 4,6 bilhões de anos atrás.

Terra: Que memória de elefante, hein menina Lua!

Lua: Mamãe, eu não acredito que você nunca reparou que eu sempre mostro a mesma face para você.

Terra: Filhinha querida! Mamãe já está na meia idade, não me lembrava desse detalhe.

Lua: Tudo bem, mamãe, relaxa! Vou explicar para você: - o tempo que eu gasto para dar uma volta em torno de ti é o mesmo que eu gasto para dar uma volta em torno do meu próprio eixo.

Terra: Em outras palavras, os seus períodos de translação e rotação são coincidentes e têm duração de aproximadamente 28 dias.

Lua: (bate palmas) Isso mesmo, mamãe querida! Agora vamos aproveitar e ensinar tudo isso para o Sol.

Lua e Terra saem do palco dançando e cantando.

Esquete 7: As Fases da Lua e as Marés

Narrador: As fases da Lua referem-se à mudança aparente da porção visível iluminada do satélite devido a sua variação da posição em relação à Terra e ao Sol.

Sol: (entra e se posiciona em um dos focos da eclíptica).

Terra: (entra e se posiciona no Periélio)

Lua Nova: (entra e se posiciona de joelhos na órbita lunar entre o Sol e a Terra) Olá, muito prazer eu sou a Lua Nova e só apareço durante o dia, pois estou entre o Sol e a Terra. Sou responsável pelas maiores marés.

Lua Cheia: (entra e se posiciona em cima de um banquinho na órbita lunar, a Terra fica entre Lua Cheia e o Sol) Olá, muito prazer eu sou a Lua Cheia e clareio as noites escuras. E também sou responsável pelas maiores marés.

Sol: Muito bem! Eu gostaria de saber por que que vocês são responsáveis pelas maiores marés?

Lua Nova: Pense comigo, se eu me encontro entre você e a Terra, unimos nossas forças e o resultado são as maiores marés altas e as menores marés baixas. Essas marés são denominadas marés vivas ou de sizígia.

Sol: O que é Sizígia?

Lua Cheia: É uma palavra grega que significa ficar na mesma linha, ou seja, Sol, Terra e Lua alinhados.

Lua Cheia: Como estamos alinhados, eu e você Sol, unimos também nossas forças e o resultado são as marés de sizígia.

Sol: Interessante essa tal de Sizígia, hein!

Lua Crescente: (entra e se posiciona na órbita lunar em direção perpendicular à direção da reta que une o Sol e a Terra) Olá, muito prazer eu sou a Lua Crescente e tenho a forma da letra C. Sou a melhor fase para ser observada e sou responsável pelas marés de quadratura.

Lua Minguante: (entra e se posiciona na órbita lunar em direção perpendicular à reta que une o Sol e a Terra, oposta a posição da Lua Crescente) Olá, muito prazer eu sou a Lua Minguante e tenho a forma da letra D. E também sou responsável pelas marés de quadratura.

Sol: Ok! Agora eu gostaria de saber o que são as marés de quadratura e por que vocês são responsáveis?

Lua Crescente: São as menores marés altas, que são um pouco maiores que as marés baixas, ou seja, pequena diferença entre elas.

Lua Minguante: E tem mais, devido ao fato de não estarmos alinhadas, não somamos forças, com isso resulta-se as marés mortas ou de quadratura.

Sol: Suspeitei desde o princípio!

Saem do palco girando em sentido horário a Lua Nova, a Lua Minguante, a Lua Cheia, a Lua Crescente, a Terra e o Sol, nesta ordem.

Esquete 8: Eclipse Lunar

Narrador: Eclipse é uma palavra do grego antigo que quer dizer deixar para trás. Os eclipses assombravam muitas pessoas no passado, por elas ignorarem suas causas. Hoje sabemos que os eclipses ocorrem quando Sol, Terra e Lua se alinham.

Sol: (entra e se posiciona em um dos focos da eclíptica).

Terra: (entra e se posiciona no Periélio).

Lua Nova: (entra e se posiciona de joelhos na órbita lunar entre o Sol e a Terra).

Terra: (pergunta para o Sol) Sol, não deveria estar ocorrendo um eclipse solar?

Sol: É mesmo! Pois a Lua Nova está entre mim e você.

Lua Nova: (explica para o Sol e para a Terra) Pois bem, embora eu esteja entre vocês, não estamos alinhadas.

Sol: Como assim?

Lua Nova: Vou explicar, dei-me licença. (sai e volta com o colar de isopor) Na verdade o plano da minha órbita é inclinado de $5,2^\circ$ em relação ao plano da órbita da Terra.

Sol: Então quer dizer que não vão mais ocorrer eclipses?

Terra: Não é isso Sol! O que a Lua Nova quis dizer é que precisamos estar alinhadas para ocorrer o eclipse.

Lua Nova: Isso mesmo Terra!

Sol: E quando vamos estar alinhadas?

Terra gira no sentido horário, Lua Nova sai, entra Lua Crescente e depois sai, entra Lua Cheia e se alinha com o Sol e a Terra.

Terra: Sol, sei que hoje eu, você e a Lua Cheia estamos alinhadas, mas não estou vendo a Lua Cheia (Terra gira em torno do seu eixo no sentido horário procurando a Lua Cheia).

Sol: É claro que não está vendo, ela está eclipsada! E tem mais, este eclipse é total para todo observador situado no seu lado não iluminado.

Terra: Entendi! Este é o eclipse lunar, agora só falta o eclipse solar.

Saem do palco a Lua Cheia, a Terra e o Sol.

Esquete 9: Eclipse Solar

Narrador: Devido à inclinação de $5,2^\circ$ da órbita da Lua em relação à órbita da Terra, os eclipses não ocorrem em todas as Luas Novas e Cheias.

Sol: (entra e se posiciona em um dos focos da eclíptica).

Terra: (entra com o colar de isopor e se posiciona no Periélio).

Lua Nova: (entra e se posiciona próximo ao colar de isopor da Terra entre o Sol e a Terra).

Terra: Nossa! Que máximo! O Sol sumiu totalmente, o dia virou noite e as galinhas foram para o galinheiro dormir.

Sol: Não sumi não! É a Lua Nova que está me escondendo, pois estamos alinhadas, eu, você e a Lua Nova.

Lua Nova: Acho que agora vocês entenderam o porquê dos eclipses não ocorrerem em todas as Luas Novas e Cheias.

Terra: Sim, minha filhinha! Agora está tudo esclarecido.

Sol: Que bom é estar, ficar e brincar com vocês, o universo é do tamanho do nosso conhecimento!

Saem do palco a Lua Nova, a Terra e o Sol.

Entram todos e agradecem.

O espetáculo é finalizado com o elenco agradecendo ao público.

4 QUESTIONÁRIO SUGESTIVO

Nesta seção apresentamos de maneira sugestiva algumas perguntas e respostas para auxiliar o(a) professor(a) a trabalhar os conceitos de Física após a apresentação da peça teatral, principalmente com os alunos que não participaram da peça como estudantes-atores. Este procedimento pode ser útil para acompanhar a evolução destes alunos com relação ao tema abordado. As respostas fornecidas são simples e resumidas. O(a) professor(a) pode torná-las mais elaboradas conforme a necessidade ou o interesse dos alunos pelo tema.

1. Qual a forma geométrica do Sol, da Terra e da Lua?

Resposta: Para os nossos olhos os três corpos celestes parecem esferas perfeitas. Na realidade, dentre os três corpos celestes, o Sol possui a forma geométrica mais próxima de uma esfera perfeita. A Terra e a Lua são dois exemplos de esferoides oblatos. Isso significa que elas possuem a forma de uma bola levemente murcha. Contudo, podemos dizer que a Terra e a Lua possuem formato esférico em boa aproximação.

2. Existem evidências que mostram que a Terra é esférica?

Resposta: Há 2.500 anos a maioria dos filósofos gregos acreditavam que a Terra era redonda e não plana. Nesta época Pitágoras foi um dos primeiros a propor uma Terra esférica, principalmente por motivos estéticos, sem qualquer evidência física direta. Em torno de 250 anos antes de Cristo, ou seja, há mais de 2.200 anos, Eratóstenes mediu a circunferência da Terra através da distância entre as cidades de Siena e Alexandria e considerando a projeção da sombra de uma vareta ao meio dia no solstício de verão estimando o valor de 38.600 a 46.600 km para a circunferência da Terra. Hoje sabemos que este valor é de aproximadamente 40.000 km. Pelas limitações da época com relação às medidas de distância, o resultado de Eratóstenes é considerado como um dos primeiros grandes triunfos do cálculo científico. Com apenas uma medida não podemos dizer que a Terra é esférica, esta poderia ser uma calota. Mas se fizermos várias medidas em diferentes regiões do planeta teremos uma evidência clara da esfericidade do planeta. Dentre outras evidências podemos citar o desaparecimento progressivo de navios no horizonte, assim como a própria existência do horizonte, as estrelas no firmamento não são as mesmas para todas as regiões do planeta, o amanhecer e o anoitecer, assim como a duração dos dias e das noites, são diferentes em diferentes lugares do planeta. A existência de fuso horários, diferenças de estações do ano ao longo do planeta. Com o uso das tecnologias atuais a esfericidade da Terra pode ser comprovada pela exploração espacial através de espaçonaves

e balões atmosféricos que possibilitam tirar fotos do planeta, o uso de sistemas de navegação, como o GPS, planos de voos, navegação marítima, entre outros.

3. *Qual corpo celeste ocupa o centro do sistema solar, o Sol, a Terra ou a Lua?*

Resposta: O Sol.

4. *O Sol, a Terra e a Lua estão parados?*

Resposta: Não, estes estão em movimento de translação, com o Sol orbitando o centro da nossa galáxia, a Via Láctea, a Terra orbitando o Sol e a Lua orbitando a Terra. Estes também possuem movimento de rotação em torno de seus próprios eixos.

5. *Quais são os dois grandes sistemas planetários estudados?*

Resposta: Geocentrismo e Heliocentrismo.

6. *Quais são os movimentos da Terra?*

Resposta: Translação, Rotação e Precessão.

7. *Porque existem os dias e as noites como as conhecemos?*

Resposta: Por causa do movimento de rotação da Terra.

8. *O que é dia solar? Qual é a duração?*

Resposta: Este ocorre quando a Terra completa uma volta em torno do seu eixo em relação ao Sol e possui um período de aproximadamente 24 h, variando durante o ano devido a órbita elíptica da Terra e de sua inclinação.

9. *O que é dia sideral? Qual é a duração?*

Resposta: Este ocorre quando a Terra completa uma volta em torno do seu eixo em relação às estrelas do firmamento, considerando estas fixas devido à distância, possuindo um período de 23h56min4s.

10. *O que é dia lunar? Qual é a duração?*

Resposta: Este ocorre quando a Terra completa uma volta em torno do seu eixo em relação à Lua e possui um período de 24h50min28s.

11. *A velocidade de translação da Terra é constante?*

Resposta: Não, esta aumenta ao se aproximar do Sol e diminui ao se afastar do mesmo, em concordância com a lei das áreas de Kepler.

12. *Por que a velocidade de translação da Terra aumenta ao aproximar-se do Sol?*

Resposta: Devido ao princípio da conservação do momento angular da Terra.

13. *Quais são as estações do ano? Qual é a duração de cada estação?*

Resposta: Primavera, Verão, Outono e Inverno e tempo de duração das mesmas é 3 meses. Em países da zona tropical da Terra, como o Brasil, apenas duas estações são bem definidas, verão e inverno.

14. *Qual é a causa das estações do ano?*

Resposta: O movimento de translação da Terra e sua inclinação.

15. Qual é a inclinação da Terra?

Resposta: A Terra possui $23,5^\circ$ entre o seu eixo de rotação e a reta normal ao plano de sua órbita elíptica.

16. Os dias e as noites sempre têm a mesma duração? O que são solstícios e equinócios?

Resposta: Não, estes variam durante o ano. Os solstícios ocorrem no primeiro dia de verão e de inverno. No Solstício de Verão o dia é mais longo e no Solstício de Inverno a noite é mais longa. Os equinócios ocorrem no primeiro dia da primavera e do outono. Nos Equinócios de primavera e outono, os dias e as noites têm a mesma duração.

17. Por que vemos sempre a mesma face da Lua? Qual é o período de translação da Lua? Qual é o período de rotação da Lua?

Resposta: Porque a Lua apresenta períodos de translação e rotação coincidentes, de aproximadamente 28 dias.

18. Quais são as fases da Lua?

Resposta: Nova, Crescente, Cheia e Minguante.

19. O que são as marés? Quais os tipos de marés que existem?

Resposta: Estas são observadas pelo fluxo e refluxo das águas do mar devido aos efeitos combinados da rotação da Terra com as forças gravitacionais exercidas pela Lua e pelo Sol em nosso planeta. As marés podem ser classificadas em semidiurna, diurna e mista.

20. Quantos períodos de marés ocorrem ao longo do dia?

Resposta: Para a maré mais comum, a semidiurna, são quatro períodos de marés, dois de maré alta e dois de maré baixa. Para a maré diurna são dois períodos de marés, alta e baixa, e para a maré mista são quatro períodos de marés, com dois de maré alta e dois de maré baixa. Porém, neste caso a diferença de altura entre as marés é maior.

21. O que são marés de Sizígia? Quando ocorrem as marés de Sizígia?

Resposta: São as maiores marés altas e as menores marés baixas que existem e ocorrem quando o Sol, a Terra e a Lua estão alinhados.

22. O que são eclipses solar e lunar?

Resposta: No eclipse solar o Sol desaparece parcial ou totalmente quando a Lua encontra-se entre o Sol e a Terra. No eclipse lunar a Lua desaparece parcial ou totalmente quando a Terra encontra-se entre o Sol e a Lua.

23. Por que os eclipses não ocorrem em todas as Luas cheias e novas?

Resposta: Por causa da inclinação do plano da órbita da Lua em relação à órbita da Terra, fazendo com que os três astros, Sol, Terra e Lua, não fiquem alinhados em todas as Luas cheias e novas.

24. Qual é a inclinação do plano da órbita da Lua em relação à órbita da Terra?

Resposta: Em torno de $5,2^\circ$.

Estas perguntas e respostas, além de fornecerem vários dos conceitos científicos abordados na peça teatral “Sistema Maluco”, podem ajudar o professor nos ensaios das esquetes.

REFERÊNCIAS

- ARONS, A. B. Basic physics of the semidiurnal lunar tide. American Journal of Physics, v. 47, n. 11, p. 934-937, 1979.
- BARTHES, R. O óbvio e o obtuso: ensaios críticos III. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1990.
- BERTHOLD, M. História Mundial do Teatro. 4 ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.
- BUTIKOV, E. I. A Dynamical Picture of the Oceanic Tides. American Journal of Physics, Petersburg, v. 70, n. 10, p. 1001-1011, oct. 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) – Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.
- _____. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Segunda versão revista. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2016. “Disponível em:” <http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- BRECHT, B. H. Estudos Sobre Teatro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978.
- CAMPANINI, B. D. e ROCHA, M. B. Ciência e Arte: contribuições do teatro científico para o ensino de ciências em atas do ENPEC. *In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. 11., 2017, Florianópolis. Anais [...], Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2017, p. 1-10.
- CARVALHO, S. Um certo conceito de teatro. REVISTA USP, São Paulo, n. 49, p. 169-175, mar./maio, 2001.
- CECATTO, J. R. O Sol. *In: MILONE, A. C. et al. Introdução à Astronomia e Astrofísica*. São José dos Campos: INPE, 2010. p. 4-9-41.
- CHAISSON, E. e MCMILLAN, S. Charting the Heavens: The Foundations of Astronomy. *In: CHAISSON, E. e MCMILLAN, S. Astronomy Today*. 8th. ed. San Francisco: Pearson Education, 2013. p. 4-31.
- _____. The Copernican Revolution: The Birth of Modern Science. *In: CHAISSON, E. e MCMILLAN, S. Astronomy Today*. 8th. ed. San Francisco: Pearson Education, 2013. p. 32-57.
- _____. Earth: Our Home in Space. *In: CHAISSON, E. e MCMILLAN, S. Astronomy Today*. 8th. ed. San Francisco: Pearson Education, 2013. p. 160-187.
- _____. The Moon and Mercury: Scorched and Battered Worlds. *In: CHAISSON, E. e MCMILLAN, S. Astronomy Today*. 8th. ed. San Francisco: Pearson Education, 2013. p. 188-

15.

DOLCI, L. N. Teatro na Educação: Desenvolvendo no Aluno a Capacidade de Integração nos Grupos Sociais. Revista Electrónica Diálogos Educativos, ISSN 0718-1310, ano 4, n. 8, p. 68-90, 2004.

DRAGONI, M. Gravity in Earth's Interior. The Physics Teacher, v. 58, p. 97-100, January 2020.

GALILI and LEHAVI. The importance of weightlessness and tides in teaching gravitation. American Journal of Physics, v. 71, n. 11, 1127-1135, 2003.

GRÜTZMANN, T. P. A Formação dos Professores de Matemática por Meio dos Jogos Teatrais. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

JÚDICE, R. e DUTRA, G. Física e Teatro: Uma parceria que deu certo! Física na Escola, v. 2, n. 1, p. 7-9, 2001.

LAY, T. and WALLACE, T. C. Modern Global Seismology. Academic Press, London, 1995.

LIMA, L. G. e CORRALLO, M. V. Trinta Anos de Física Também é Cultura: Apresentação de Estratégias Didáticas para o Ensino da Interface Física-Literatura por Meio de Indicadores. In: XXIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, Salvador, 2019. Anais [...], Salvador: Ed. Universitária UFBA, 2019. p. 1-8.

MARTINS, R. A. Introdução: A História das Ciências e seus Usos na Educação. In: SILVA, C. C. S. (Org.). Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. xxi-xxiv.

MEDINA, M. e BRAGA, M. O Teatro como Ferramenta de Aprendizagem da Física e de Problematização da Natureza da Ciência. Cad. Bras. Ens. Fís., Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 313-333, ago. 2010.

MELO, E. G. S. A Natureza da Ciência na Formação Inicial de Professores de Física: contribuições do teatro científico-experimental. 2016. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

MILONE, A. C. A. Astronomia no dia a dia. In: MILONE, A. C. *et al.* Introdução à Astronomia e Astrofísica. São José dos Campos: INPE, 2010. p. 5-55.

OLIVEIRA, M. A.; ALBRECHT, E. Ensino de Astronomia e Formação em Astronomia, um recorte dos últimos três anos. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. 2017, Florianópolis. Anais [...], Florianópolis: Ed. Universitária UFSC, 2017. p. 1-9.

OLIVEIRA, N. R. A Presença do Teatro no Ensino de Física. 2004. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RODRIGUES, C. V. O Sistema Solar. *In*: MILONE, A. C. *et al.* Introdução à Astronomia e Astrofísica. São José dos Campos: INPE, 2010. p. 3-5-44.

SILVEIRA, J. R. A. Arte e Ciência: uma reconexão entre as áreas. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 70, n. 2, p. 24-25, abr./jun. 2018.

SNYDER, R. Two-density model of the Earth. American Journal of Physics v. 54, p. 511–513, June 1986.

SPOLIN, V. Improvisação para o teatro. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

_____. O jogo teatral no livro do diretor. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2004.

TIPLER, P. A. e MOSCA, G. Gravitação. *In*: TIPLER, P. A. e MOSCA, G. Física para Cientistas e Engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. p. 373-404.

TONIATO, J. D. De Newton a Einstein: A Geometrização da Gravitação. Cadernos de Astronomia, Espírito Santo, v. 1, n. 1, p. 17-29, jul. 2020.

ZANETIC, J. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. Pro-Posições, v. 17, n. 1, p. 39-57, jan./abr. 2006.