

Pesquisa em Ensino de Física

Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial

(The rotational dynamic analysis of an artificial satellite: a pedagogical experiment in space education)

Norma Teresinha Oliveira Reis¹, Nilson Marcos Dias Garcia²,
Petrônio Noronha de Souza³ e Pedro Sérgio Baldessar⁴

¹Secretaria de Educação Básica, Ministério da Educação, Brasília, DF, Brasil

²Departamento de Física e Programa de Pós Graduação em Tecnologia,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

⁴Departamento de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

Recebido em 28/8/2007; Revisado em 29/12/2007; Aceito em 3/1/2008

Este artigo apresenta e explora potencialidades pedagógicas de uma oficina em educação espacial que simula o movimento de rotação de um satélite artificial no espaço. Para representar o satélite, constrói-se um dispositivo simples formado basicamente por uma lata vazia de refrigerante e outros materiais de baixo custo e fácil aquisição. O professor pode utilizar esse experimento para abordar conteúdos relacionados à terceira lei de Newton, à pressão, ao movimento rotacional de um corpo no espaço, dentre outros. Ademais, pode fomentar o debate sobre aspectos relacionados à exploração espacial por satélites discutindo com os alunos a definição de satélites; a distinção entre satélite natural e artificial; os tipos de satélites artificiais e suas órbitas; os benefícios oriundos da tecnologia de satélites; os principais satélites internacionais e brasileiros, contribuindo assim para disseminar o Programa Espacial Brasileiro como elemento relevante das realizações nacionais, bem como o uso de conhecimentos e terminologia espaciais para motivar as aulas de física.

Palavras-chave: ensino de física, educação espacial, experimentação, satélites artificiais.

This article presents and explores the pedagogical possibilities of an experiment in space education which simulates the rotational movement of an artificial satellite in space. In order to simulate the satellite, a simple apparatus made of an empty soft drink can and other low-cost and easy-to-find materials is built. The teacher may use this experiment to present contents related to Newton's third law of motion, pressure; the rotational movement of a celestial body, and so forth. Moreover, the teacher can stimulate the debate on aspects associated to space exploration conducted by artificial satellites, discussing with students the definition of satellites; the distinction between natural and artificial satellites; the types of artificial satellites and their corresponding orbits; the benefits brought forward by satellite technology; the major international and Brazilian satellites, contributing to disseminate the Brazilian space program as a relevant element of national accomplishments as well as the use of space knowledge and terminology to motivate physics classes.

Keywords: physics teaching, space education, experimentation, artificial satellites.

1. Introdução

Pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentável [1] de uma nação, a ciência e tecnologia contribuem para impulsionar a qualidade de vida e o crescimento econômico dos países. Desde a Revolução Mercantil e, de forma mais acentuada, a Revolução Industrial, o progresso científico e tecnológico têm contribuído para determinar patamares diferenciados de desenvolvimento entre as nações [2]. A título de ilus-

tração, o investimento em setores estratégicos como o aeroespacial assegura o domínio de processos, produtos e serviços de alto valor agregado, gerando divisas que impulsionam o crescimento socioeconômico. No entanto, o capital científico¹ se encontra desigualmente distribuído no planeta. Precisamos, assim, construir uma ciência a serviço das demandas da sociedade brasileira, comprometida com a inclusão social e com o acesso efetivo aos bens tecnológicos, na perspectiva de assegurar bem-estar social e cidadania plena a todos.

²E-mail: nilson@utfpr.edu.br.

¹Categoria utilizada por Bourdieu em sua abordagem dos usos sociais da ciência. A esse respeito, consultar a Ref. [3].

Nesse panorama, a educação científica, além de contribuir para consubstanciar a cultura científica que almejamos, assume papel relevante no processo de formação dos cidadãos, considerando-se o fato de que a sociedade, sobretudo a partir do século XX, encontra-se permeada por processos, produtos e serviços que requerem de todos os sujeitos determinado grau de alfabetização científica² para uma inserção social digna. Não obstante, resultados recentes do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes – PISA³ demonstram que um número significativo de alunos de ensino fundamental e médio em todo o mundo não têm aprendido ciências como deveriam. No que se refere ao ensino de física, Campbell comenta que essa disciplina é usualmente abordada de forma a-histórica, sem conexão com suas raízes na sociedade e com seu uso presente ou futuro [6].

Esse cenário demanda a revisão de concepções, currículo e metodologias para essas áreas. Um dos fatores que contribuem para o sucesso do ensino de ciências, e por derivação, da física, consiste na adequação da linguagem ao público a que se destina. Segundo Monteiro [7], alguns fatores críticos no ensino de ciências, em maior ou menor grau relacionados à linguagem, precisam ser superados, quais sejam: a) enfoque eminentemente teórico; b) temas e problemas descontextualizados e a-históricos; c) atividades práticas como apêndices de aulas teóricas; d) programas demasiadamente lineares; e) resistência ao trabalho interdisciplinar.

No que se refere ao ensino de física, uma educação comprometida com a formação humana integral e para a vida passa pelo repensar de suas práticas pedagógicas. Tendo em vista que a finalidade precípua do ensino dessa disciplina na educação básica não consiste em formar físicos, dois aspectos devem ser considerados: a física como cultura e como possibilidade de compreensão do mundo [8]. Isso significa que precisamos de um novo desenho para o ensino dessa disciplina tanto em âmbito teórico-conceitual quanto metodológico. Os avanços dessa ciência, sobretudo nos dois últimos séculos, devem ser considerados em sua prática pedagógica. Da mesma forma, a abordagem experimental dessa ciência deve ser valorizada, na medida em que possibilita a participação ativa do estudante na construção do conhecimento, contribuindo para que a aprendizagem se efetive e seja significativa, de modo a acompanhá-lo ao longo da vida.

As atividades experimentais despertam a curiosidade e o espírito crítico, suscitam discussões, demandam reflexão, elaboração de hipóteses, ensinam a analisar os resultados e favorecem uma melhor percepção

da relação ciência e tecnologia [9]. Com efeito, a experimentação tem se revelado uma estratégia capaz de transformar práticas de ensino de física em experiências pedagógicas aprazíveis, na medida em que possibilita ao estudante o contato com objetos, fatos e fenômenos tangíveis e/ou observáveis presentes em seu cotidiano, facilitando a efetiva compreensão de princípios, conceitos e fenômenos desse campo do conhecimento. Segundo Ramos e Ferreira [10], o uso de experimentos conduz o aluno a tentar reproduzi-los e, a partir de seu interesse em entender o que aconteceu, a teorização pode ocorrer com maior profundidade. Ainda segundo os autores, o emprego desse recurso possibilita distinguir aprendizagem de memorização – situação em que o aluno domina o discurso, mas não a compreensão do fenômeno observado.

É fundamental, todavia, que o professor compreenda que o experimento cumpre uma função, possui um significado e uma especificidade pedagógica na formação do estudante, não se tratando de mero apêndice. De acordo com Soussan [11], ainda, é necessário distinguir que experimentos os alunos são capazes de realizar. E essa constatação deve considerar as experiências significativas vivenciadas por esses estudantes, seus conhecimentos prévios, sua historicidade, bem como seus meios de acesso ao mundo do conhecimento em um dado momento de seu desenvolvimento biopsicossocial.

Por outro lado, considerando-se que a temática espacial tem a potencialidade de estimular a curiosidade nos jovens e seu interesse pelos conteúdos científicos, deve ser levada em alta consideração o uso de experimentos relacionados à essa temática nas disciplinas científicas.

Tal abordagem contribui também para o resgate cultural e histórico das atividades espaciais como elemento da cultura nacional, principalmente porque o Brasil é um dos principais países em desenvolvimento a buscar o desenvolvimento de todos os elementos constituintes de um programa espacial, quais sejam, satélites, plataformas de lançamento, foguetes e veículo lançador de satélites, centros para as aplicações de satélites, como as de observação da Terra e de meteorologia, centros de formação de pessoal de alta qualidade, reconhecidos nacional e internacionalmente, como o Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, bem como um complexo industrial voltado às demandas do setor, concentrado no Vale do Paraíba, interior do Estado de São Paulo.

Importante ainda para atualizar alunos e professores no que se refere às recentes realizações e perspectivas do

²Shamos emprega a categoria *alfabetização científica* para definir a compreensão das principais estruturas conceituais que formam as fundações da ciência, o papel que elas desempenham no empreendimento científico e a razão pela qual elas são amplamente aceitas, assim como o entendimento dos elementos do método científico, do pensamento analítico e dedutivo, do processo de pensamento lógico, da confiança na evidência objetiva e o papel da experimentação na ciência (ver Ref. [4]).

³Exame realizado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) (ver Ref. [5]).

setor espacial, a abordagem dessas questões contribui para conscientizar sobre assuntos como o incremento nas pesquisas desenvolvidas pelas agências espaciais de diversos países visando à exploração do espaço exterior, principalmente pela NASA, que objetiva para as próximas décadas o retorno à Lua, com o estabelecimento de uma base permanente naquele satélite; o envio de missões tripuladas para Marte e a exploração do espaço distante, ou seja, dar continuidade e amplificar sua estratégia de exploração, estendendo a presença humana no espaço [12], estabelecendo para tal, mecanismos de cooperação internacional, dada a envergadura e complexidade do empreendimento.

Tomando essas considerações como premissas, apresentamos e discutimos neste artigo algumas potencialidades educativas de uma oficina em educação espacial⁴ denominada *Como girar um satélite*. Essa atividade experimental contribui para a compreensão do Princípio da Ação e Reação (Terceira Lei de Newton) e apresenta alguns elementos da dinâmica orbital de um satélite artificial.

Desenvolvida originalmente pela NASA⁵ e adaptada ao âmbito do Programa AEB Escola,⁶ da Agência Espacial Brasileira (AEB),⁷ essa oficina foi utilizada no curso de formação continuada de professores denominado *Sensoriamento Remoto como Recurso Didático no Ensino Médio*, promovido pelo Departamento de Políticas de Ensino Médio do Ministério da Educação em parceria com a AEB, por três anos consecutivos.⁸

Sua realização é fácil e demanda materiais acessíveis e de baixo custo. Ela pode ser utilizada tanto na forma de demonstração quanto de experimento prático, com ampla participação dos alunos, que montam e discutem coletivamente o experimento.

O uso da oficina aqui apresentada estimula o debate acerca dos satélites artificiais – tipos, órbitas, características e seus benefícios socioeconômicos, bem como sobre aspectos relacionados à exploração espacial brasileira e mundial. Assim, torna-se relevante utilizar essa estratégia em sala de aula, de modo a contribuir para motivar uma aprendizagem que seja efetivamente in-

terdisciplinar, significativa e comprometida com uma educação científica para todos e, ao mesmo tempo, disseminar o Programa Espacial Brasileiro como elemento relevante das realizações nacionais e apresentar o empreendimento espacial como uma atividade humana que cumpre determinadas funções sociais, contribuindo assim para sua desmistificação.

2. Satélites artificiais

Conceitualmente, um satélite consiste em um corpo de menor massa que orbita um corpo de maior massa, como a Terra. Podem ser categorizados como satélites artificiais os artefatos colocados pelo homem em órbita da Terra ou de outros corpos celestes, tais como a Lua, o Sol ou outros planetas. Dentre eles, encontramos sondas interplanetárias, telescópios espaciais e o próprio ônibus espacial.

O primeiro satélite construído na história da humanidade foi o Sputnik I, lançado ao espaço em 1957, pela ex-União Soviética. Em 1958, o Explorer 1 foi lançado pelos Estados Unidos, como uma resposta ao lançamento do Sputnik I, no contexto da “corrida espacial” entre as duas nações. Nesse panorama, outros satélites, também categorizados como naves espaciais tripuladas, foram colocados em órbita de nosso planeta e de outros corpos celestes, como a série de naves da missão Apollo, responsável pelo pouso de seres humanos na Lua, pela primeira vez na história.⁹ Outras sondas têm sido enviadas para investigação científica do universo próximo – o Sistema Solar, incluindo o Sol, os planetas e pequenos corpos celestes (cometas e asteróides) [17].

No escopo de um novo desenho dos programas espaciais, pautado na cooperação internacional e no atendimento a demandas sociais e econômicas, inúmeros satélites têm sido projetados, integrados e colocados em órbita terrestre por cerca de 40 países, com finalidades variadas. Um dos satélites artificiais (também classificado como nave espacial tripulada) de maior visibilidade atualmente é a Estação Espacial Internacional,¹⁰ empreendimento emblemático da política da supraci-

⁴A educação espacial contribui para despertar a curiosidade e o interesse dos alunos por processos, produtos e serviços oriundos da exploração do ambiente espacial, propiciando uma compreensão interdisciplinar da ciência e tecnologia e da forma como elas afetam o cotidiano. A exploração espacial e seus desdobramentos podem se tornar um dos eixos a partir dos quais são abordados conteúdos em disciplinas como Física, Ciências e Matemática. Podem ser o ponto de partida e o ponto de chegada a partir do qual o trabalho pedagógico é desenvolvido. Ela é capaz de propiciar ao estudante uma compreensão integrada de fatos e fenômenos científicos e tecnológicos [13].

⁵Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (EUA). Sítio: <http://www.nasa.gov/> (ver Ref. [14]).

⁶Criado em 2003 e voltado ao ensino médio e fundamental, os principais objetivos do AEB Escola consistem em divulgar o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) e contribuir para despertar nos estudantes o interesse pela ciência e tecnologia voltados à área espacial [15].

⁷Sítio: <http://www.aeb.gov.br>

⁸O curso foi realizado em 2004, 2005 e 2006, por ocasião da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, e ainda no ano de 2005, durante a 57ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Os Estados beneficiados foram: Paraná, Amapá, Ceará, Espírito Santo, Rio Grande do Norte, Santa Catarina e Amazonas.

⁹A importância da Missão Apollo no avanço da planetologia é evidente. De fato, um único pouso tripulado com a coleta de amostras de outro corpo celeste do Sistema Solar seria suficiente para fazer de tal missão um marco na história da ciência [16].

¹⁰Em inglês – International Space Station (ISS). A aparente ausência de gravidade encontrada em tal ambiente permite realizar pesquisas médicas, em materiais e processos que seriam inexecutáveis na Terra. A par disso, a ISS contribui para as perspectivas futuras da NASA de envio de missões de longa duração à Lua, a Marte e além, no escopo de sua *Visão para a Exploração Espacial*, que por sua vez delinea estratégias para novas metas de exploração espacial [18, 19].

tada cooperação internacional no setor espacial. Sua finalidade primordial consiste na realização de pesquisas científicas favorecidas pelo ambiente de microgravidade. Em 2006, o primeiro astronauta brasileiro foi enviado a esse laboratório orbital.¹¹

Satélites artificiais possuem uma vasta gama de aplicações. A título de ilustração, podemos citar os satélites científicos, que fotografam objetos espaciais distantes¹² ou transportam experimentos a serem desenvolvidos em ambiente de imponderabilidade, também conhecido como microgravidade. Os de comunicação, responsáveis pela transmissão de grande parte dos programas de televisão, pela realização também de larga parcela das ligações telefônicas de longa distância, além de contribuir para a teleducação e a telemedicina. Os meteorológicos, que contribuem para a realização de previsões climáticas e meteorológicas com maior precisão. Os de observação da Terra, notadamente os de sensoriamento remoto, responsáveis pelo imageamento da superfície terrestre, o monitoramento de recursos florestais, minerais, e de safras agrícolas, cartografia, geologia e recursos hídricos. Também devem ser mencionados os satélites de posicionamento, que auxiliam no controle de tráfego aéreo, terrestre e marítimo, bem como outras aplicações de substancial importância socioeconômica [20, 21].

As órbitas dos satélites artificiais ao redor da Terra são calculadas matematicamente antes de seu lançamento. Um dos aspectos considerados na fase de planejamento é o risco de colisão com outros artefatos colocados em órbita, ou mesmo com micrometeoritos. Neste ponto há que se considerar um problema notório no cenário espacial contemporâneo: o lixo espacial derivado de missões anteriores, que permanece circulando ao redor do planeta e, de certa forma, oferecendo perigo às missões em curso. Existem atualmente cerca de 10 mil fragmentos de foguetes ou satélites ao redor da Terra [22].

Os satélites artificiais coletam informações por meio de sensores¹³ e a trajetória por eles percorrida corresponde à sua órbita. Dentre outros parâmetros, tais artefatos podem ser classificados conforme o tipo de órbita que descrevem. Duas dentre as infinitas

órbitas possíveis para os satélites artificiais se destacam pela sua utilidade, quais sejam, as equatoriais geoestacionárias e as polares.

a) *Satélites de órbita equatorial*: apresentam um plano de órbita com inclinação próxima à do equador terrestre. Dentre estes, existem os que apresentam órbita no plano do equador terrestre e têm um período igual ao da rotação terrestre, de modo a acompanhar seu movimento de rotação, mantendo sempre a mesma posição para um observador na superfície terrestre, parecendo, portanto, estacionados em um determinado ponto do espaço. Estes satélites situam-se em uma órbita conhecida por *geoestacionária*. Eles têm por característica varrer sempre a mesma porção da superfície da Terra [23]. O satélite, em seu movimento de translação, permanece apontado para um único ponto ou região da superfície terrestre. Seu período de rotação é de 24 horas e sua órbita se situa em torno de 36 mil km de altitude. Exemplos: satélites meteorológicos da série GOES¹⁴ e satélites de telecomunicações.

b) *Satélites de órbita polar*: sua trajetória encontra-se orientada perpendicularmente ao equador terrestre, passando assim pelos pólos terrestres. Isso permite a eles maior varredura de superfície. Os satélites de sensoriamento remoto, em geral, têm uma órbita denominada quase polar e se situam a uma altitude entre 700 e 1000 km. Exemplos: CBERS¹⁵ e LANDSAT.¹⁶

Conforme considerado anteriormente, uma das possíveis missões dos satélites artificiais consiste na coleta de informações da superfície terrestre, que por sua vez são transmitidas a estações de recepção na Terra, onde são processadas, convertidas em imagens, gráficos, tabelas [25], posteriormente analisados e disponibilizados aos usuários.

Praticamente todos os países em desenvolvimento têm se beneficiado das facilidades do uso de satélites em setores como comunicações, tanto pelo uso de sistemas internacionais quanto pelo desenvolvimento de seus próprios satélites nacionais [26].

País de vasto território e riquezas naturais, o Brasil logo se conscientizou da necessidade de projetar e construir seus próprios satélites, bem como de controlá-los em órbita e desenvolver capacidade técnica para inter-

¹¹O Ten. Cel. Av. Marcos Cesar Pontes realizou viagem espacial e experimentos científicos e educativos na ISS, em março de 2006, pela Missão Centenário, da Agência Espacial Brasileira. Seu treinamento foi realizado no Centro Espacial Houston, da NASA, e complementado na Agência Espacial Russa, Roskosmos, na Cidade das Estrelas, para adaptação aos sistemas espaciais específicos do programa espacial russo.

¹²Um exemplo notável é o telescópio espacial Hubble, que, em 17 anos de funcionamento, já produziu mais de 500 mil imagens de mais de 25 mil objetos espaciais http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/news/17anniversary.html. Sua importância para a Astronomia consiste no fato de ele estar posicionado fora da atmosfera terrestre, de modo que suas câmeras podem observar objetos espaciais próximos ou distantes sem as interferências que prejudicam os telescópios colocados na superfície terrestre.

¹³*Sensores* são equipamentos que medem e registram grandezas físicas. Um tipo muito comum são as câmeras de imageamento da superfície da Terra, a bordo dos satélites de sensoriamento remoto. Este tipo de sensor é sensível à energia eletromagnética refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre [23, 24]. Eles podem ser *passivos*, ou seja: dependem de uma fonte externa de energia, geralmente a solar, apenas registrando a radiação recebida, ou podem ser *ativos*, por possuírem sua própria fonte de energia, como o radar. Esses sensores enviam um sinal e medem a energia refletida. Assim, eles são mais controláveis, pois não dependem de variações de condições de luminosidade [24].

¹⁴Satélite Ambiental Operacional Geoestacionário (Geostationary Operational Environmental Satellite).

¹⁵Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (China-Brazil Earth Resources Satellite).

¹⁶Satélite de Sensoriamento Remoto Terrestre (Land Remote Sensing Satellite - Landsat Program).

pretar e gerenciar as informações coletadas. Isso se traduziu em autonomia e soberania para o País em vários segmentos da atividade espacial.

Assim, no ano de 1993, foi lançado ao espaço, pelo foguete norte-americano Pegasus, o primeiro satélite artificial brasileiro, o Satélite de Coleta de Dados - SCD-1 [27] (ver Apêndice 1). Em julho de 1988, o Brasil firmou com a China um acordo de cooperação para o desenvolvimento da série de satélites de sensoriamento remoto, denominados CBERS-1 e 2.

Atualmente, o Brasil distribui gratuitamente as imagens CBERS de seu próprio território e de nações vizinhas, tendo com esta política se transformado no maior distribuidor de imagens de satélite do mundo. Com o sucesso alcançado com os dois primeiros satélites da série, foi dada continuidade a essa parceria com o lançamento do CBERS 2B em 2007 e o projeto de desenvolvimento dos CBERS-3 e 4, com lançamentos previstos para o final desta década e início da próxima [28].

3. A dinâmica orbital de um satélite artificial

O movimento dos satélites em órbita da Terra obedece às Leis de Kepler. Eles descrevem trajetórias circulares ou elípticas com o centro da Terra em um de seus focos. A velocidade do satélite, sua direção e distância em relação à Terra no instante em que eles são colocados em órbita determinam o tamanho, a forma e a orientação dessa órbita. Desse instante em diante, já nas regiões onde o ar é extremamente rarefeito, praticamente a única força externa atuante é a da gravidade e, uma vez colocado em órbita, o satélite irá seguir sua órbita circular ou elíptica, retornando periodicamente para o ponto de onde o artefato foi colocado em órbita [29].

Esse movimento é normalmente caracterizado por dois conjuntos de parâmetros. O primeiro caracteriza o movimento orbital propriamente dito, também denominado movimento de translação do satélite. Por meio dele, é possível determinar a geometria da órbita e o ponto exato no qual o satélite se encontra a cada instante. O segundo conjunto caracteriza sua orientação espacial ou atitude, ou seja, o movimento em torno de seu centro de massa. O movimento de atitude deve ser controlado de modo que ele atenda aos propósitos da missão para a qual foi projetado. Assim, se a missão requer uma antena apontada para determinado ponto na superfície terrestre, sua atitude deve ser controlada de modo que a antena permaneça sempre apontada para tal ponto. A atitude de um satélite é caracterizada por três ângulos, conforme mostrado na Fig. 1, e suas velocidades de rotação (angulares), medidas em relação a um referencial dado, que pode ser a Terra, a Lua ou o Sol [29].

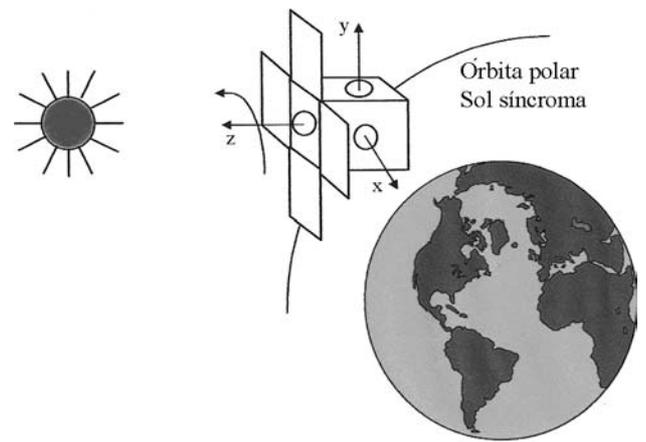


Figura 1 - Atitude de um satélite no espaço. Fonte: INPE.

A força gravitacional da Terra atuante no satélite está sempre voltada para o centro da Terra, de modo que, se a trajetória é circular (pode ser elíptica), a força será normal à trajetória e pode ser calculada pela expressão $F = mv^2/R$. Como a lei da gravitação universal é dada pela expressão $F = GMm/R^2$, deduz-se que $v = (GM/R)^{1/2}$, onde R é a distância tomada desde o centro da Terra ao satélite, G é a Constante Universal da Gravitação, M é a massa terrestre, m é a massa do veículo, F é a força da gravidade e v a velocidade orbital. Esta expressão nos permite afirmar que em torno de 300 km de altitude um satélite terá uma velocidade próxima de 7,7 km/s ou cerca de 27 mil km/h.

O satélite permanece em órbita ao redor da Terra em movimento semelhante ao obtido com o lançamento de projéteis. Ele poderia, assim, permanecer em órbita por um período indeterminado, executando sempre esse movimento, sem consumo de combustível, caso não houvesse qualquer tipo de atrito ou de perturbações, somente a da atração gravitacional. No entanto, um satélite artificial está sujeito a perturbações causadas, dentre outras, pela gravidade de outros corpos celestes, pelas irregularidades da gravidade da Terra e pelo atrito com a atmosfera terrestre remanescente, que tendem a tirá-lo de sua posição e atitude nominais (aquelas para as quais foi projetado).

Assim, a manutenção de um satélite em uma dada órbita envolve manobras orbitais realizadas por meio da expulsão de massa, normalmente na forma de jatos gasosos produzidos por motores foguete¹⁷ acionados para modificar sua velocidade [30]. Por outro lado, para que a atitude seja controlada, basta que um torque seja aplicado no satélite. Este torque pode ter várias origens. Uma delas é devida aos motores foguete que, quando convenientemente posicionados e acionados, expulsam massa e induzem os torques desejados, alterando apenas o estado de movimento de rotação do engenho, como será visto no experimento a seguir.

¹⁷ Motores foguete são equipamentos instalados em satélites e foguetes lançadores capazes de expulsar gases aquecidos a grande velocidade. Os gases são produzidos a partir de combustíveis líquidos ou sólidos que, após uma reação química, liberam grande quantidade de calor, aquecem-se e vazam através de um bocal. Pelo princípio da ação e reação é aplicada uma força no satélite na mesma direção e em sentido contrário do jato de gases.

4. Construindo e girando um satélite artificial: materiais e métodos

Como visto anteriormente, para que um satélite possa cumprir sua missão, ele sempre precisa estar apontado para uma dada direção. Para que ele possa ser apontado na direção desejada, é necessário que existam a bordo meios de imprimir uma rotação no satélite. Finalmente, para que um corpo qualquer possa ser girado, é necessário que lhe seja aplicado um torque.

Pelo princípio da ação e reação, o torque aplicado no satélite deve ser suportado por alguém, ou por um apoio externo (o Princípio da Ação e Reação foi estabelecido pela terceira lei do movimento de Newton, segundo a qual “A toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade, de mesma direção e em sentido contrário”).

No caso de um automóvel, o apoio é o solo. O torque é aplicado ao girar os pneus, o que provoca um deslocamento do veículo. No caso de um barco, o apoio é a água. O torque é aplicado ao girar o leme, o que provoca uma rotação do barco. No caso de um avião, o apoio é o ar. O torque é aplicado ao girar as bordas das asas, o que provoca uma rotação do avião [31].

Como, então, girar um satélite se ele não tem qualquer ponto de apoio externo no espaço?

A Fig. 2 mostra um satélite com seu instrumento de direcionamento apontado para uma direção inicial. Mostra também o satélite apontado para a direção final, já observando o alvo.

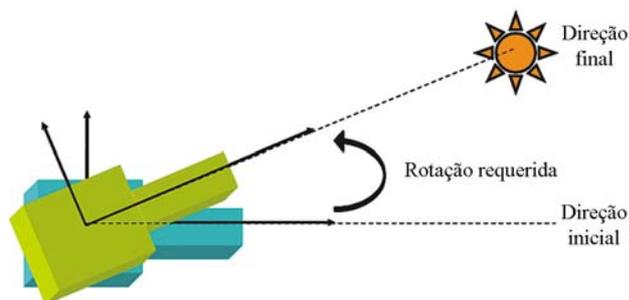


Figura 2 - Satélite com instrumento apontado para uma direção inicial. Fonte: INPE.

A Fig. 3 mostra as forças F que devem ser aplicadas para movimentar o satélite. O par de forças F gera um torque que provoca uma rotação.

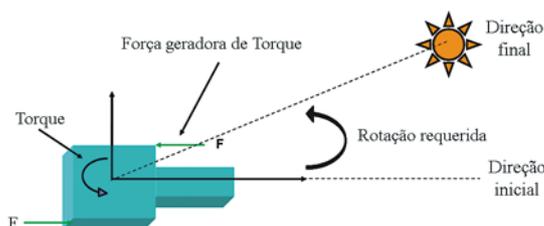


Figura 3 - Forças aplicadas para movimentar o satélite. Fonte: INPE.

Uma das formas possíveis para aplicar a força F é por meio de propulsores, que são motores foguete que expulsam gases em alta velocidade. A Fig. 4 mostra a direção para onde os gases são expulsos.

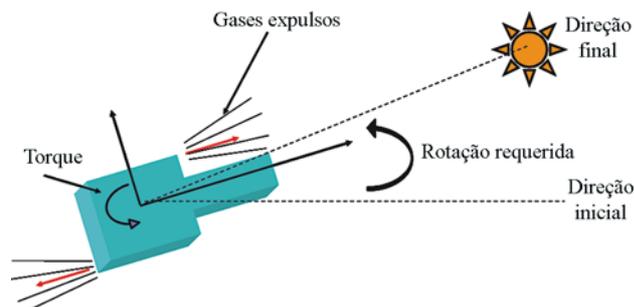


Figura 4 - Satélite apontado para a direção final. Fonte: INPE.

O objetivo da oficina *Como girar um satélite* consiste em, de maneira simples, barata e eficaz, demonstrar qualitativamente como, no espaço sideral, os satélites descrevem seu movimento de rotação. É possível aumentar a frequência de rotação, diminuí-la (podendo cessá-la ou mesmo inverter a rotação), ou alterar a direção do eixo de rotação, manipulando a atitude de um satélite artificial por meio da ejeção adequada de jatos gasosos. Para isso, estamos propondo um experimento em que é estabelecido um paralelo do supracitado movimento de rotação do satélite com o giro de latas vazias de refrigerante.

Esta oficina pretende, assim, reconstruir e discutir com os alunos aplicações da terceira lei de Newton, envolvida na expulsão de massa, que, por meio de torques adequados, imprime ou altera o movimento de rotação de um satélite artificial. Ao invés dos gases expelidos pelos satélites reais, essa oficina utiliza a água impulsionada pela gravidade.

4.1. Material utilizado no experimento

Latas de alumínio de refrigerante vazias, com o anel de abertura mantido (para a reprodução da oficina, recomenda-se, no mínimo, 3 latas para cada equipe de 3 ou 4 alunos);

Linha de pesca bem fina ou barbante fino, em quantidade suficiente para atender a todos os grupos;

Tesouras, em quantidade suficiente para atender a todos os grupos;

3 pregos de diferentes diâmetros (designados pequeno, médio e grande), sendo 3 de cada por equipe;

Balde com água, na quantidade de 1 por equipe;

Fita crepe e caneta vermelha, de modo a atender a todas as equipes.

4.2. Procedimento de montagem

A Fig. 5 a seguir ilustra o procedimento de montagem do experimento.

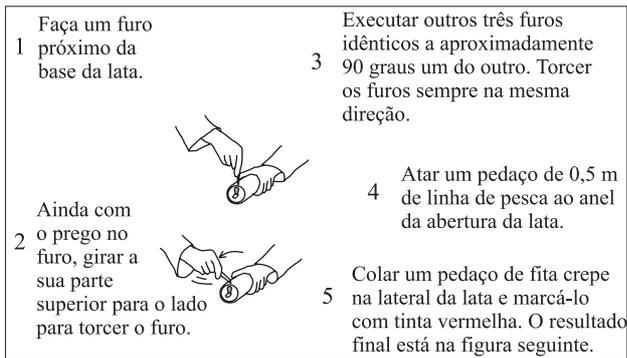


Figura 5 - Passos para a montagem do experimento. Fonte: NASA.

Os furos precisam ser torcidos para o lado, para evitar que a lata funcione como um “chafariz”, jorrando água radialmente, sem imprimir um torque que provocará alteração do estado de movimento de rotação ou de repouso da latinha.

O jato de água acelera a lata durante um certo intervalo de tempo e, dependendo do tempo e da intensidade do jato, a lata dará um número maior ou menor de voltas até que a água se esgote. A faixa vermelha auxilia na contagem do número de voltas da lata que são completadas até o momento em que a água se esgota. Essa contagem, por sua vez, confere um caráter também quantitativo ao experimento.

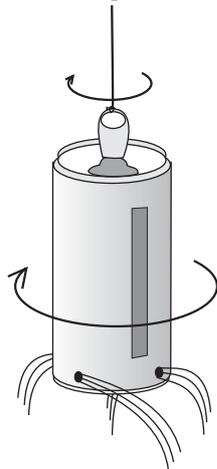


Figura 6 - A latinha ao final da montagem. Fonte: NASA.

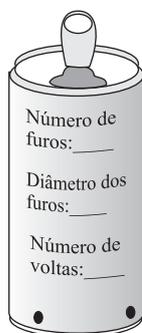


Figura 7 - Parâmetros para a montagem. Fonte: NASA.

4.3. Realização do experimento

Uma vez montado o “satélite”, os alunos deverão executar os seguintes procedimentos:

1. Mergulhar a lata no balde com água até que ela fique cheia do líquido.
2. Suspender a lata pela linha de pesca ou barbante, acima da superfície da água do balde (Fotos 1 e 2)
3. Observar e registrar o que acontece com a lata e com a água nela contida.



Foto 1 - Demonstração do experimento. Crédito: Nilson Garcia e Pedro Baldessar.



Foto 2 - Latinha gira devido a água que jorra por seus furos. Crédito: Nilson Garcia e Pedro Baldessar.

Essa oficina pode ser realizada em grupos pequenos, de cerca de três ou quatro alunos, cada um dispondo de um balde, uma ou mais latinhas, os pregos e o restante do material. Na medida em que o professor explica e demonstra a oficina, os alunos reproduzem os procedimentos do professor, tomam nota do que ocorre e discutem entre si o que observam.

4.4. Discussão do experimento

O professor deve conduzir a discussão no sentido de que seja perceptível que a latinha entra em rotação pela expulsão da água, o que é justificado pelo princípio da ação e reação.

Podem ser realizados experimentos adicionais, modificando-se a posição e o diâmetro dos furos (ver atividades adicionais, na seqüência), verificando-se e discutindo o que acontece e estabelecendo-se relações entre número e dimensão dos furos e a velocidade de rotação da latinha.

Além desses detalhes, pode ser realizada uma comparação entre o movimento de rotação da latinha e o de um satélite artificial em torno de seu centro de massa, aproveitando para chamar a atenção para elementos da dinâmica de um satélite artificial em órbita da Terra, tipos de satélite e de órbita, e suas respectivas aplicações.

5. Atividades adicionais

5.1. Elementos de metodologia científica

Este experimento também pode ser utilizado para abordar elementos da metodologia científica, como o cuidadoso controle dos parâmetros envolvidos no experimento e o fato de não se poder confiar plenamente no resultado de um experimento realizado uma única vez, pois é sempre necessário repeti-lo várias vezes e tratar os resultados estatisticamente para obter os valores médios resultantes e suas incertezas. Para isso, os seguintes passos devem ser seguidos:

1. Criar um universo de experimentos, explorando a variação no número de furos (2° a 180° , 3° a 120° e 4° a 90°) e a variação no diâmetro dos pregos (pequeno, médio e grande). Com isso, seriam preparados 9 dispositivos. É recomendável que as latas sejam da mesma marca de refrigerante, caso contrário, pequenas variações de formato e massa poderão induzir erros no experimento. Também é necessário cuidar para que o fio utilizado seja sempre o mesmo, assim como o seu comprimento.

2. Estabelecer um número de repetições de cada teste de contagem de voltas, para que possam ser calculadas as médias de cada experimento (sugerimos um mínimo de três repetições). Se houver a disponibilidade, os alunos poderiam filmar cada um dos testes e

contar o número de voltas, repassando posteriormente a filmagem em câmera lenta.

3. Fazer cada um dos nove testes, repetindo três vezes cada um deles, e calcular as médias do número de voltas.

4. Dispor os resultados em uma matriz de três linhas por três colunas, conforme abaixo. Cada linha deve corresponder a um número diferente de furos e cada coluna a um diâmetro diferente de furos.

Diâmetro	Prego fino	Prego médio	Prego grosso
Furos			
2			
3			
4			

5. Discutir os resultados obtidos e analisar as tendências de aumento ou diminuição do número de voltas em função do número de furos e de seu diâmetro. Os resultados também deverão ser organizados em um gráfico, no qual o eixo das abscissas (x) indicaria o número de furos, o eixo das ordenadas (y) indicaria o número de voltas. Os pontos seriam distribuídos no plano do gráfico e unidos em três linhas, cada uma delas correspondendo a um diâmetro diferente do furo. Esta é uma outra maneira de analisar os resultados.

6. Imprimir à latinha uma rotação inicial (contrária ao torque causado pelos jatos de água) e mostrar que a rotação pode ser reduzida até cessar a rotação.

7. Discutir o fato de que o experimento mostra que o torque aplicado à latinha pelos jatos de água é a grandeza associada às alterações dos estados de movimento de rotação ou de repouso dos corpos.

5.2. Conexão espacial

O experimento aqui apresentado permite estabelecer relação com alguns elementos da atividade espacial. Para tanto, devem ser explorados aspectos relacionados a tal atividade, como as características e grandezas físicas envolvidas no lançamento e na manutenção de satélites em órbita. Alguns exemplos de provocações que podem ser feitas (indicações das respostas podem ser encontradas no Apêndice 2):

1. Discutir o que aconteceria a um satélite artificial se não fosse possível controlar (aumentar, diminuir ou cessar) o seu movimento rotacional.

2. O que acontece aos satélites que são desativados, ou seja, cuja vida útil chega ao fim? Quais os riscos do lixo espacial? Ele pode representar um risco real ao trabalho dos astronautas em suas atividades extraveiculares¹⁸ (EVAs) no espaço?

3. Que tipos de órbita os satélites artificiais descrevem ao redor da Terra?

4. Qual a utilidade dos satélites artificiais para a vida humana? O que aconteceria em uma situação hipotética em que todos os satélites artificiais fossem repentinamente “desligados”?

¹⁸ Atividades que os astronautas executam fora da nave espacial, utilizando traje de proteção.

6. Conclusões

A temática espacial, a despeito de todos os avanços no setor espacial e do papel exercido pela mídia em sua divulgação, ainda parece à primeira vista um assunto distante do cotidiano, pois é, no mais das vezes, abordada de forma pontual e mistificada em sala de aula, e as pessoas tendem a apresentar resistência ao que não compreendem. Assim, se pretendemos que os estudantes compreendam esse empreendimento como uma atividade social com fins específicos, ou mesmo considerem carreiras no setor espacial como uma possibilidade concreta no escopo de suas escolhas profissionais, é importante que a temática espacial se faça presente em sala de aula e que seja tratada de forma realística.

Abordada em sala de aula por meio de experimentos, tal temática, por estar longe de ser um fim em si mesmo, torna-se um recurso didático que contribui para elevar a proficiência científica dos estudantes e possibilita uma abordagem integrada de saberes de áreas diversas. O uso de experimentos práticos em educação espacial contribui não somente para que o aluno visualize e reconstrua conceitos científicos abstratos, mas para atribuir um novo significado às práticas pedagógicas em ensino de física, de modo que o estudante assuma um papel mais ativo no processo ensino-aprendizagem dessa disciplina.

Nesse sentido, a oficina *Como girar um satélite* estimula uma rica discussão em torno de elementos físicos e espaciais, além de incentivar um trabalho pautado por princípios da metodologia científica. Os alunos interagem com seus pares e com o experimento em si, e sua participação ativa facilita a compreensão da Terceira Lei de Newton e assuntos relacionados.

Além disso, contribui para uma educação em física comprometida com uma educação com qualidade social, exigências duma sociedade cada vez mais complexa e permeada por processos, produtos e serviços que demandam de todo cidadão um certo domínio de saberes científicos e tecnológicos.

Apêndices

1. Informações adicionais sobre satélites artificiais

Uma missão utilizando satélites envolve diversas partes, dentre as quais se destaca aquela que é colocada em órbita. Cada parte é denominada *segmento*, dos quais podemos destacar:

- a) *Segmento Espacial*: parte colocada em órbita, também designada satélite;
- b) *Segmento Lançador*: parte utilizada para colocar o satélite em órbita; também designada foguete ou lançador;
- c) *Segmento Solo*: parte responsável pela supervisão do funcionamento do satélite, de seu controle e da recepção

dos dados de suas cargas úteis [32].

Usualmente, o segmento espacial – ou satélite – é dividido em duas grandes partes, sendo que a primeira delas é designada *plataforma* e contém todos os equipamentos necessários para o funcionamento do satélite e a segunda é denominada *carga útil* e constitui-se de equipamentos requeridos para o cumprimento da missão do satélite.

2. Respostas

1. Em pouco tempo o satélite deixaria de apontar para a direção desejada, comprometendo assim a sua missão. De forma concreta, podemos citar como exemplo os painéis solares que coletam a energia que permite o funcionamento do satélite. Se eles deixarem de apontar para o Sol, o satélite para de funcionar. Também podem ser citadas as antenas de um satélite de comunicações. Se elas deixarem de apontar para um ponto correto sobre a superfície da Terra, o contato com o solo é perdido. Finalmente, também podemos citar o caso dos telescópios espaciais. Sem este controle, não seria possível observar os alvos designados para estudo, como estrelas, constelações, planetas, etc.

2. Na prática a maioria dos satélites atuais é abandonada em órbita ao final de sua vida útil. Isto é um problema, pois o acúmulo destes objetos, com o conseqüente aumento da probabilidade de colisão entre eles, o que produziria um número ainda maior de objetos e fragmentos, constitui uma ameaça às atividades presentes e futuras mantidas no espaço, tripuladas ou não. Para tentar minimizar o problema, as nações que desenvolvem satélites estão criando procedimentos que reduzem o problema. Dentre eles podem ser citados a remoção de órbita dos satélites mais próximos da Terra, fazendo com que eles se queimem reentrando na sua atmosfera. Para os que estão muito distantes, a idéia é removê-los para órbitas “cemitério”, distantes da Terra e sem interesse científico ou econômico.

3. Há muitos tipos, mas as mais utilizadas são as circulares polares e equatoriais. As polares são utilizadas pelos satélites de observação da Terra, a uma altitude média em torno de 800 km. As equatoriais são adotadas pelos satélites de comunicações, a uma altitude de aproximadamente 36.000 km.

4. Os elementos que respondem a essa pergunta são muitos e variados. Por isso, indicamos alguns sites, em português, nos quais podem ser encontrados esclarecimentos a respeito da questão:

- <http://www.aeroespacial.org.br/educacao/>
- http://www.cbets.inpe.br/pt/index_pt.htm
- <http://www.inpe.br/ete/>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial
- <http://www.aeb.gov.br/conteudo.php?ida=28&idc=114>

<http://www.aeb.gov.br/conteudo.php?ida=24&idc=218>

Referências

- [1] R.S. Waack e S. Amoroso, in *Parcerias Estratégicas: Seminários Temáticos para a 3ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação* (Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2005), p. 451
- [2] R. Amaral, *Ciência e Tecnologia: Desenvolvimento e Inclusão Social* (UNESCO/Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2003).
- [3] P. Bordieu, *Os Usos Sociais da Ciência: Por Uma Sociologia Clínica do Campo Científico* (Editora Unesp, São Paulo, 2004).
- [4] M.H. Shamos, *Science Education at the Crossroads: A Symposium on K-12 Science Curricula* (Indiana Academy of Science, Indianapolis, 1989).
- [5] OECD, *Learning for Tomorrow's World: First Results from PISA* (OECD Publishing, Paris, 2003).
- [6] P. Campbell, *Physics Education* **41**, 514 (2006).
- [7] M.I. Monteiro, *Poiésis: Revista Científica em Educação* **1**, 131 (1999).
- [8] Brasil, *Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (Secretaria de Educação Básica, Brasília, 2006).
- [9] J. Carrascosa et al., *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **23**, 157 (2006).
- [10] E.M.F. Ramos e N.C. Ferreira, *Pesquisas em Ensino de Física – Educação para a Ciência* (Escrituras, São Paulo, 2004), 3ª ed.
- [11] G. Soussan, *Didática e Formação* (UNESCO Brasil/OREALC/MEC-MCT, Brasília, 2003).
- [12] B. Iannotta. Happy landings on Mars. In *Aerospace America*, April (2004), p. 30.
- [13] N.T.O. Reis e N.M.D. Garcia, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 361 (2006).
- [14] NASA, *Rockets: An Educator's Guide with Activities in Science, Mathematics and Technology* (NASA Office of Human Resources and Education, Washington, 1995).
- [15] Brasil, *Diário de Bordo: Ações do Programa AEB Escola até 2006* (MCT/AEB, Brasília, s/a).
- [16] W.D. Compton, *Where no Man has Gone Before: A History of Apollo Lunar Exploration Mission*. (NASA, Washington, 1989).
- [17] R.M. Hord, *Handbook of NASA Future Missions and Payloads* (CRC, Boca Raton, 1986).
- [18] NASA, *The International Space Station: A Critical Investment in America's Future* (NASA, 1995).
- [19] NASA, *International Space Station: State-of-the-Art Orbiting Laboratory Complex* (NASA Johnson Space Center, Houston, 2005).
- [20] Brasil, *Programa Nacional de Atividades Espaciais* (MCT/AEB, Brasília, 2005).
- [21] E.B. Teracine, *Parcerias Estratégicas* **7**, 43 (1999).
- [22] NASA, *Orbital Debris Quarterly News* **11**, 1 (2007).
- [23] R. Sanderson, *Introduction to Remote Sensing*. (New Mexico State University, Las Cruces, s/a).
- [24] T.G. Florenzano, *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais* (Oficina de Textos, São Paulo, 2002).
- [25] INPE, *Sensoriamento Remoto* (INPE, São José dos Campos, s/a).
- [26] U.R. Rao, *Space Technology for Sustainable Development* (Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1996).
- [27] F. Oliveira, *O Brasil Chega ao Espaço: SCD-1 Satélite de Coleta de Dados* (Proposta Editorial, São Paulo, 1996).
- [28] INPE, *Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*. Notícias. <http://www.cbbers.inpe.br>. Acesso em 12/5/2008.
- [29] W.S. Schulz e M.L.O. Souza, *Terceira Escola do Espaço* (INPE, São José dos Campos, 2002).
- [30] T.D. Damon, *Introduction to Space: The Science of Spaceflight* (Orbit, Malabar, 1989).
- [31] P.N. Souza, *Formação Continuada de Professores: Curso Astronáutica e Ciências do Espaço: Satélites e Plataformas Orbitais* (AEB, Brasília, 2006).
- [32] P.N. Souza, *Formação Continuada de Professores, Curso Astronáutica e Ciências do Espaço: Programas Espaciais e a Tecnologia de Foguetes* (AEB/Brasília, s/a).