

# A DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR (UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO)

Rodrigo C.S. Benevides<sup>a</sup> [física@rodrigobenevides.com.br]  
Penha M.C. Dias<sup>b</sup> [penha@if.ufrj.br]  
Wilma M.S. Santos<sup>c</sup> [wilma@if.ufrj.br]  
Octávio F. Filho<sup>d</sup> [octaviocp2@yahoo.com.br]

<sup>a</sup> Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Iguazu

<sup>b</sup> Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>c</sup> Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>d</sup> Colégio Pedro II – Unidade Escolar Humaitá II

## RESUMO

O estudo do movimento circular no ensino médio é feito usualmente no âmbito da cinemática vetorial, como um caso específico do movimento curvilíneo. Essa prática, em geral, não revela alguns de seus aspectos fundamentais, relacionados com a dinâmica do movimento e com a sua importância no desenvolvimento da Mecânica de Newton. O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de material instrucional que, inserido em uma proposta didática, sirva de base para o professor abordar o tema, dando mais ênfase aos fundamentos dinâmicos do movimento circular. Esse material é composto de duas partes distintas. A primeira, composta de experimentos simples (um deles pode ser montado e realizado pelo próprio aluno, e repetido quantas vezes se desejar), fornece situações práticas onde o aluno tem a chance de refletir sobre o tema. A outra parte do material, segue a linha de pesquisa desenvolvida que resultou em trabalhos anteriores publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física e no próprio Simpósio de Ensino de Física: foram elaborados textos didáticos onde a História da Física é utilizada como um organizador prévio da Teoria da Aprendizagem Significativa da David Ausubel. Na metodologia utilizada, foram levantados os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema, através de questionários e atividades em sala de aula. As respostas foram então agrupadas em categorias e analisadas estatisticamente. Esses resultados permitiram uma visão geral da base conceitual do grupo e deram suporte à elaboração dos textos, dos experimentos, das questões conclusivas e dos planos de aula que constituem a proposta do trabalho.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho foi motivado por dois aspectos relativos ao ensino do movimento circular em um plano, sendo um de caráter geral e outro relativo às dificuldades do estudante do Ensino Médio com o tema.

O primeiro diz respeito ao fato de que, ao se ensinar o movimento circular, algumas características importantes do fenômeno não são, em geral, bem desenvolvidas:

1. Apresentação clara do relacionamento entre o movimento circular uniforme e as leis de Newton, chamando a atenção para o fato de que se trata de um movimento acelerado cuja causa tem a mesma natureza de um movimento retilíneo acelerado, a saber, uma força.
2. A consideração da noção de tendência centrífuga, que muitos alunos já trazem consigo, como conhecimento prévio relevante, inclusive do ponto de vista histórico, para se chegar ao conceito de força centrípeta.
3. Um desenvolvimento mais claro, tanto do ponto de vista conceitual quanto da origem histórica da lei  $V^2/R$ . Tradicionalmente a lei é introduzida por considerações cinemáticas.
4. A importância do movimento circular no desenvolvimento do conhecimento das leis da Dinâmica.

As dificuldades encontradas no ensino médio constituem a segunda motivação deste trabalho:

1. Deficiência na estruturação de diversos conceitos anteriores de Dinâmica:
  - a. Conhecimentos básicos de cinemática escalar: velocidade e aceleração como taxas de variação de outras grandezas.
  - b. Conhecimentos básicos de cinemática vetorial: conceituação e operação com grandezas vetoriais; velocidade e aceleração como taxas de variação (módulo, direção e sentido) de outras grandezas vetoriais.
2. Conceitos básicos relacionados à 1ª e 2ª leis de Newton, tais como inércia no movimento retilíneo; correta identificação das forças atuantes nos corpos, condições de equilíbrio e aplicação da relação  $F=ma$ .
3. Confusão entre tendência centrífuga, força centrípeta e forças em referenciais não-inerciais.
4. Dificuldade em identificar situações concretas do cotidiano, envolvendo movimento circular tal como apresentado em sala de aula.
5. Dificuldade em abstrair, nessas ocorrências do cotidiano, a situação teórica desenvolvida, em função das simplificações usuais feitas na abordagem do conteúdo (modelo de ponto material, ausência de resistência dos meios e aproximações de condições de equilíbrio).

Para fazer face a essas dificuldades, apresentamos uma introdução ao movimento circular, para ser usada em sala de aula, no Ensino Médio. Um material didático consiste de experimentos simples, motivadores do conhecimento. Outro material didático consiste de textos de História da Física; a História da Física é proposta como um elemento da metodologia da teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, a saber, ela funciona como um organizador prévio dessa teoria; a característica da História, que é enfatizada, é a análise de questões e soluções de problemas que levaram à formação da Física.

## **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA X TÉCNICAS DE ENSINO**

Na década de 1960, David Ausubel (1980, 2003) propôs a Teoria da Aprendizagem Significativa. Trata-se de uma teoria da psicologia da aprendizagem. Uma aprendizagem diz-se significativa em oposição a uma aprendizagem memorística; na aprendizagem significativa, os conceitos adquirem significado para o aprendiz, daí o nome.

Na teoria de Ausubel, a aprendizagem significativa dá-se pela interação entre o novo conhecimento e um conhecimento prévio. Nesse processo, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados e adquire mais estabilidade. Segundo Ausubel, o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem, como ele mesmo enfatiza [ 1]:

*Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Determine isso e ensine de acordo.*

Na aprendizagem significativa, o aprendiz não é um receptor passivo. Ele deve fazer uso dos significados que já internalizou para poder captar os significados dos materiais educativos. Nesse processo, ao mesmo tempo que está progressivamente diferenciando sua estrutura cognitiva, está, também, fazendo a reconciliação integradora de modo a identificar semelhanças e diferenças e reorganizar seu conhecimento. Quer dizer, o aprendiz constrói seu conhecimento, produz seu conhecimento. Além da disposição do aprendiz, existem outros requisitos essenciais para a aprendizagem significativa: A oferta de um novo conhecimento estruturado de maneira lógica e a existência de conhecimentos na estrutura cognitiva que possibilite a sua conexão com o novo conhecimento. Esses conhecimentos prévios pertinentes ao assunto a ser aprendido são, também, chamados de conceitos subsunçores ou conceitos âncora. Quando se dá a aprendizagem significativa, o aprendiz transforma o significado lógico do material pedagógico em significado psicológico, na medida que esse conteúdo se insere de modo peculiar na sua estrutura cognitiva e cada pessoa tem um modo específico de fazer essa inserção, o que torna essa atitude um processo idiossincrático [1]. Ausubel propôs a utilização de organizadores prévios como pontes cognitivas entre o que o aprendiz já sabe e o que pretende saber. É construído com um elevado grau de abstração e inclusividade, de modo a poder se apoiar nos pilares fundamentais da estrutura cognitiva do aprendiz e, desse modo, facilitar a apreensão de conhecimentos mais específicos com os quais ele está se deparando. A implementação dos organizadores prévios se dá através de materiais introdutórios, apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o novo material a ser aprendido, para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade do novo conhecimento com conhecimento prévio pertinente.

## **PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO**

### **METODOLOGIA**

O primeiro passo, após o delineamento do tema a ser abordado e dos fatores que levaram à sua escolha, é o planejamento e a preparação de um questionário a ser submetido aos alunos para levantamento de conhecimentos prévios. A partir dos conhecimentos prévios, uma ou várias aulas são preparadas, nas quais esse conhecimento é integrado ao assunto principal. Depois, o tema

principal é ensinado, nos moldes usuais. Após, o mesmo questionário é repassado e as respostas comparadas com as respostas iniciais.

## ESTRUTURA E APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

Os tópicos principais cobertos, foram:

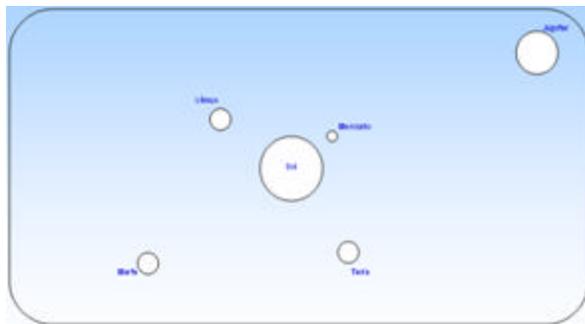
- 1.A trajetória e as forças envolvidas no movimento dos planetas do Sistema Solar.
- 2.As grandezas vetoriais envolvidas em um movimento curvilíneo de um veículo.
- 3.O conceito de inércia no movimento retilíneo.
- 4.O efeito da velocidade na força centrípeta.

Para cada um desses tópicos foram elaboradas pelo menos duas questões, ficando o questionário final da seguinte forma:

Questão 1a: Qual a trajetória dos planetas?

Questão 1b: Qual a força responsável pela trajetória de um planeta ?

Questão 1c: Indique, na figura abaixo, a força sobre cada planeta:



Questão 2: Quando você está dentro de um veículo (carro, ônibus, metrô), fazendo uma curva para a direita, em que direção você é "empurrado"? Por que isso acontece?

Situação. Considere uma bola de boliche muito nova e lisa, lançada em uma pista bem longa e encerada:

Questão 3a: O que acontece, se a pista estiver no vácuo?

Questão 3b: O que acontece, se a pista estiver em um ambiente com ar?

Situação. Faça a seguinte experiência: Pegue um barbante e amarre uma borracha escolar em uma das extremidades. Segurando a outra extremidade com o dedo indicador e o polegar, comece a girar o barbante e o objeto no mesmo plano. Responda:

Questão 4a: O que você sente nos dedos, enquanto o barbante gira?

Questão 4b: Se o barbante for girado mais rapidamente, o que você sente (em comparação com a resposta da Questão 4a)?

Questão 4c: E se o barbante for girado mais vagorosamente, o que você sente (em comparação com a resposta da Questão 4 a)?

Cabe, aqui, uma observação sobre as questões relacionadas ao último tópico. Estas questões foram elaboradas de uma forma inovadora em relação às questões tradicionais para levantamento de conhecimentos prévios: A idéia foi usar um experimento simples, que pudesse ser rapidamente montado e executado em sala de aula, por todos os alunos da turma. Busca-se, dessa forma, o maior envolvimento possível do aluno com a questão, uma vez que cada um irá descrever algo inteiramente executado (e preparado) por ele, sem influência do professor.

Os questionários foram aplicados em três turmas da primeira série do Ensino Médio de uma escola da rede pública federal do Rio de Janeiro. Isto ocorreu alguns meses após o início das aulas, que seguiam o programa introdutório de Mecânica.

Houve uma resposta muito boa das três turmas no preenchimento dos questionário. Mesmo sabendo que a atividade não receberia um nota, os alunos foram aplicados nas respostas, não tendo sido deixada nenhuma delas em branco. A execução do experimento certamente contribuiu muito no empenho dos alunos, além do fato de cada um ter recebido "de presente" um pequeno pedaço de barbante.

## **PROPOSTA DIDÁTICA**

Esta etapa tem por objetivo a estruturação de material didático, composto de experimentos simples e textos relativos à História da Física, a serem utilizados no Ensino Médio, como agente motivador para o aprendizado do movimento circular.

Foram elaborados planos de aulas que buscam utilizar este material, de forma coerente com os Parâmetros Curriculares Nacionais; segundo os PCN's, para que, de fato, possa haver uma apropriação dos conhecimentos de Física, as leis e princípios gerais precisam ser desenvolvidos passo a passo, a partir dos elementos práticos e vivenciais. Esse conhecimento deve estar, também, na medida do possível, contextualizado e integrado à vida de cada jovem, devendo-se apresentar uma Física que explique o comportamento da Natureza ao redor do estudante e não apenas para resolver exercícios [2]. No presente trabalho, isso foi feito através da abordagem do movimento circular, da queda dos corpos e o movimento dos astros no céu .

## **MATERIAL DIDÁTICO I: EXPERIMENTOS**

### **EXPERIMENTO 1: BORRACHA GIRATÓRIA**

O objetivo do experimento é esclarecer a existência da força centrípeta no movimento circular em uma plano. O experimento consiste em uma montagem simples, realizada e executada pelo próprio

aluno, na sala de aula, que busca esclarecer a existência da força centrípeta no movimento circular em um plano. Pode ser montado e repetido pelo aluno, quantas vezes desejar, em qualquer lugar.

O material utilizado foi uma borracha escolar e um barbante fino de, aproximadamente, 40 cm de comprimento

Procedimento e análise experimental:

Montagem e descrição: Amarre o barbante no meio da borracha. O barbante precisa estar firme, mas caso permaneça uma pequena folga, não há problema, pois o atrito com a borracha impede que ela se solte. O experimento consiste em girar a borracha (figura 1), presa ao barbante, em velocidades diferentes, observando-se o que ocorre nos dedos que estão segurando o barbante e o que acontece com a borracha

Questões conclusivas.

1. O que você sente nos dedos, enquanto o barbante gira?
2. E se o barbante for girado mais rapidamente, o que você sente nos seus dedos (em comparação com a resposta do item 1)?
3. E se o barbante for girado mais vagarosamente, o que você sente nos seus dedos (em comparação com a resposta do item 1)?

## **EXPERIMENTO 2: GARRAFA FLUTUADORA**

O objetivo do experimento é esclarecer a existência e a necessidade da força centrípeta, no movimento circular em um plano. O experimento é montado de modo a ser factível em sala de aula; ele busca esclarecer a necessidade da força centrípeta, no movimento circular em um plano, através da compensação por uma outra força (peso).

O Material utilizado foi uma garrafa plástica de 500ml com água, um fio de nylon (aproximadamente, 2,5m de comprimento), uma embalagem plástica pequena (200ml) de iogurte, algumas folhas de jornal, um saco plástico pequeno de supermercado, um arame de embalagem de pão-de-forma.

Procedimento e análise experimental.

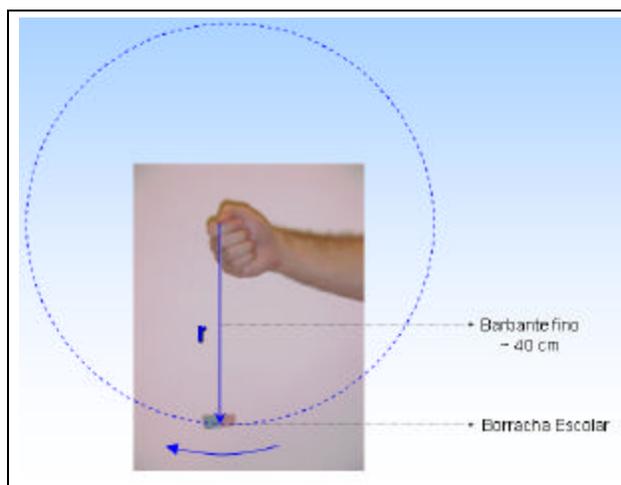
Amasse duas folhas de jornal de forma bem compacta, molhando com um pouco de água, caso necessário. Coloque a paçoca dentro do saco plástico, amarrando-o firmemente com o arame e cortando o excesso de plástico. Amarre uma extremidade do fio de nylon no arame, passando-o pelo orifício do copo de iogurte, que pode ser feito com uma tesoura ou faca. Amarre esta outra extremidade do fio de nylon na boca da garrafa, enchendo-a com cerca de 300ml de água.

O experimento consiste em girar a bola de jornal em um plano sobre a cabeça, através do fio de nylon, que está amarrado à garrafa plástica. Isto é feito, segurando-se o conjunto pela embalagem de iogurte, que permitirá girar a bola, ao mesmo tempo que o fio de nylon suba ou desça pelo orifício.

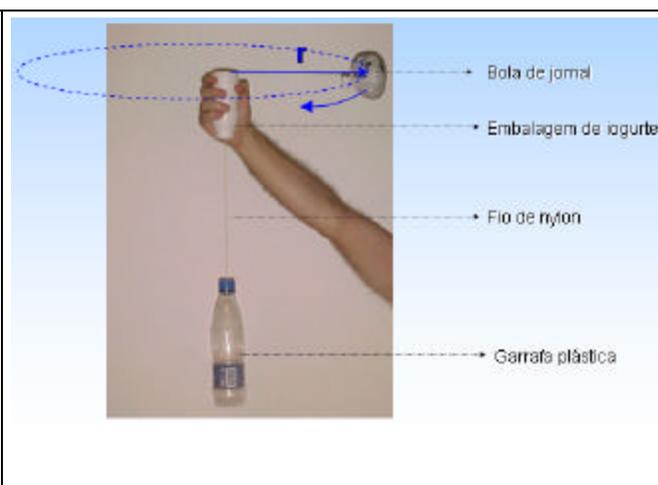
Questões conclusivas.

1. Por que a garrafa não cai?
2. O que ocorre com o peso da garrafa?
3. O que acontece, se o movimento de rotação for interrompido? Por que?
4. O que ocorre quando a velocidade de rotação da bola aumentar?

**Figura 1: Borracha giratória**



**Figura 2: Garrafa Flutuadora**



## **MATERIAL DIDÁTICO II: HISTÓRIA DA FÍSICA COMO ORGANIZADOR PRÉVIO**

O uso da História da Física como organizador prévio segue as idéias apresentadas em [3]:

O pressuposto é que a História da Física é um excelente auxiliar no ensino de Física, mas que só é valiosa ao entendimento da ciência, na medida em que apresenta os problemas que levaram à formulação de um particular conceito e revela os ingredientes lógicos ou empíricos que foram realmente importantes nesse processo de criação intelectual. Busca-se na História da Física, o 'como' e o 'porque' um dado tema e seus conceitos pertinentes foram propostos: Esse tipo de História da Física mostra o que é preciso saber para fundamentar um tema e seus conceitos pertinentes. A ênfase em problemas, no modo como foram colocados e como vieram a ser solucionados é o diferencial que torna a História adequada como organizador prévio potencial.

Dois textos de História são, então, preparados, no qual conceitos subsunçores dos aprendizes dão seqüência à formação do conceito correto. O objetivo desses textos na sala de aula é servir como base para a apresentação e discussão desses conceitos.

## **TEXTO 1: OBSERVANDO (PACIENTEMENTE) O MOVIMENTO DAS ESTRELAS**

Esse texto mostra como a busca pela compreensão do movimento dos astros construiu a “reputação” histórica do movimento circular, servindo como ponto de partida para os pensadores dos séculos XVI e XVII. O texto foi dividido em três partes distintas.

Na parte inicial é feita uma introdução ao estudo do movimento das estrelas, chamando atenção para a importância dessa atividade na Antigüidade em relação à época atual [4]. Na descrição do deslocamento das estrelas no céu noturno é feita a distinção entre o movimento (diário) de estrelas fixas e o movimento das cinco “estrelas móveis” (planetas visíveis a olho nu).

Em seguida é apresentada uma breve descrição das regiões sublunar e supralunar, de Aristóteles. Essa divisão permite a compreensão da grande importância atribuída ao movimento circular uniforme: este era o movimento da região supralunar, local da perfeição do mundo celeste, sem falhas e eterno (em oposição à região sublunar, na qual o homem vive, local de imperfeição, variedade, nascimento e morte).

A parte final do texto descreve que mesmo nos modelos que procuravam descrever o movimento dos astros, posteriores ao de Aristóteles, houve sempre uma intensa aplicação do movimento circular uniforme. Mencionando as “anomalias” observadas no movimento dos planetas (movimento retrógrado) são apresentadas breves descrições de como os modelos buscam resolver a questão através da utilização epiciclos e deferentes, em movimentos circulares e uniformes. Embora a explicação seja feita usando o modelo Ptolomaico, o texto chama a atenção para o fato de que outros pensadores (incluindo Copérnico, famoso pela crítica à hipótese geocêntrica) também seguiram a “doutrina do círculo”, só rompida por Kepler.

## **TEXTO 2: O DESENVOLVIMENTO DA MECÂNICA**

Nesse texto são abordados dois aspectos do desenvolvimento da dinâmica do movimento circular. O primeiro aspecto diz respeito ao fato de como a construção dos conceitos fundamentais da Mecânica se relacionam com esse desenvolvimento. O segundo aspecto destaca a importância central da análise do movimento circular para a Mecânica que, nas palavras do historiador da ciência I. Bernard Cohen, constitui “o mais fundamental dos ingredientes para a compreensão do sistema do mundo de Newton” [5]. Foram escolhidos então cinco tópicos para dar forma ao texto.

No primeiro tópico retorna-se intencionalmente à cosmologia Aristotélica, abordando agora a sua “dinâmica”: são introduzidos os elementos básicos da região sublunar (*terra, água, ar e fogo*) que definem para qual *lugar natural* eles vão se deslocar em seus movimentos naturais, em linha reta, para cima ou para baixo (nesse caso, com velocidade proporcional ao seu “peso” e inversamente proporcional à “resistência”).

Em seguida, é feito um resumo das descobertas de Galileu de 1609 (satélites de Júpiter, fases de Vênus e as montanhas da Lua) que consolidaram a realidade do sistema copernicano, tornando urgente solucionar-se os problemas de uma Física do movimento na Terra [5]. Dentre os conceitos desenvolvidos por Galileu, nessa perspectiva, destaca-se o Teorema da Velocidade Média (usado para resolver o problema da queda livre) e a formulação do princípio da inércia, essencial no tratamento do movimento circular. A abordagem desse tema inclui o trecho do texto original dos “Diálogos” [6], que tem o atrativo adicional de poder ser introduzido através de uma pequena representação, realizada pelos próprios alunos, nos papéis dos personagens criados por Galileu.

No t3pico seguinte s3o apresentadas as contribui33es de Descartes para a Din4mica e para o movimento circular. A formula33o cartesiana da lei da in3rcia (atrav3s das suas duas “leis da natureza”) e o seu tratamento do movimento circular [7] (mesmo colocadas de forma resumida), fornecem uma vis3o mais abrangente do desenvolvimento desses conceitos, atrav3s de contribui33es (pouco conhecidas) de um grande pensador, que geralmente n3o 3 associado 3 esse tema.

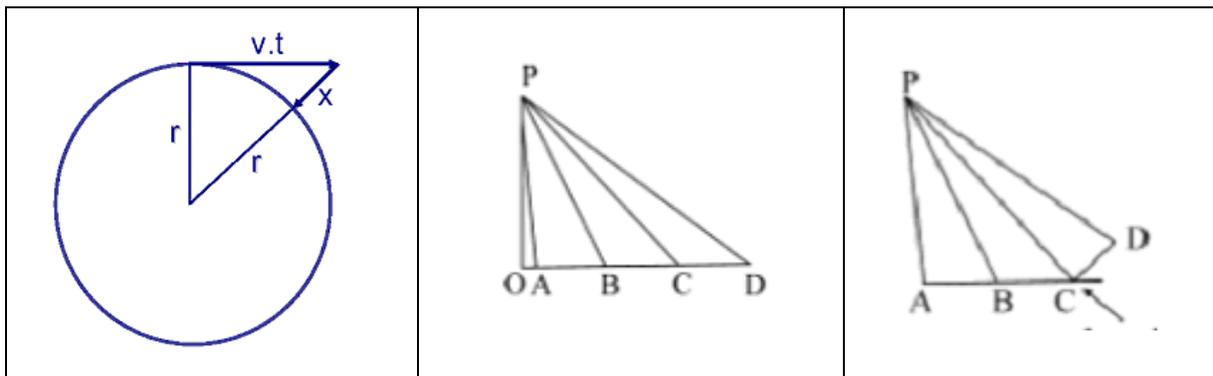
Encerrando o texto est3 uma discuss3o mais detalhada da formula33o da “lei  $v^2/R$ ” que, al3m de deixar claro (mais uma vez) que Newton n3o foi o 3nico personagem desse importante cap3tulo da Mec4nica, mostra um modo conceitualmente rico de conceber essa lei, publicado pelo pensador holand3s Christiaan Huygens, em 1673 em seu “Horologium Oscillatorium”, ilustrado na figura 3. Atrav3s do c3lculo da dist4ncia com que o corpo se afasta do c3rculo, pela linha que o liga at3 ao centro, como na figura 3, ele mostra que para dist4ncias  $x$  muito pequenas, em notaa3o moderna,  $x \sim \frac{1}{2} \cdot (v^2/R) \cdot t^2$  e cria a express3o “for3a centr3fuga” [3]. Ou seja, esse m3todo indica que, para um corpo se manter em movimento circular, ele tem que “cair” em cada instante, de volta para o c3rculo e o faz, com um movimento uniformemente acelerado (no caso do movimento circular uniforme), com acelera33o  $v^2/R$ .

Em seguida 3 mostrado que o entendimento de que esta seria uma for3a voltada para dentro e n3o para fora, entretanto, s3o foi desenvolvido por Newton, ap3s uma troca de correspond3ncia com o c3ebre cientista ingl3s, Robert Hooke. Newton passou ent3o a utilizar um m3todo para tratar trajet3rias curvas, de autoria de Hooke que consistia em separar um movimento em torno de um centro em duas componentes: uma componente inercial, respons3vel pelo movimento que o corpo teria, se continuasse a se mover com a velocidade instant4nea, uniformemente (sem atua33o de for3as - figura 4); um “soco” em dire33o ao centro, em torno do qual o corpo gira (isto 3, o que n3s chamar3amos de “impulso ins tant4neo”, radial, na dire33o do centro (figura 5).

**Figura 3: C3lculo de Huygens**

**Figura 4: Movimento puramente inercial**

**Figura : In3cio do movimento curvil3neo**



## PROPOSTA DE APLICA33O - PLANOS DE AULAS

A proposta para aplica33o do material descrito acima 3 de tr3s aulas, organizadas da seguinte forma: na primeira aula 3 distribuído o texto 1, cuja leitura pode ser feita atrav3s de uma atividade individual ou em grupo, dependendo das condi33es de sala de aula. Ap3s uma breve explica33o sobre o movimento dos astros, pode-se solicitar um resumo das principais id3ias do texto junto com a experi3ncia individual de cada aluno, relacionada ao tema (viagens, visitas ao planet3rio ou

simples observações). É feita então uma explanação dos modelos planetários, relacionando a aplicação do movimento circular uniforme com as idéias de cada época. Nesse ponto é interessante utilizar uma carta celeste giratória [8] que consegue ilustrar bem essas idéias, de uma forma mais concreta. É recomendável encerrar a aula distribuindo o texto 2, para leitura como trabalho de casa, para a aula seguinte.

A segunda aula pode iniciar-se com uma revisão da última aula, para retornar ao tema da cosmologia de Aristóteles, mencionando agora a distinção entre as regiões sublunares e supralunares. Em seguida é executada a leitura, na forma de uma pequena representação, do trecho sobre inércia dos “Diálogos” para, então, distribuir barbantes para os alunos executarem o experimento da borracha girante e responderem as questões conclusivas individualmente, com uma breve discussão dos resultados, sem muito detalhamento. Relacionando o conceito de inércia ao tratamento da queda livre de Galileu, pode-se discutir os resultados das questões, mencionando a tendência da borracha sair da trajetória e a diferença na força necessária (peso da borracha) para mantê-la girando no ponto mais alto e no ponto mais baixo (“peso” da borracha).

A terceira aula pode iniciar-se com uma revisão dos dois últimos tópicos do texto 2 seguida da discussão do tratamento de Descartes (tendência centrífuga) e Huygens, fazendo-se a dedução da lei  $v^2/R$  no quadro e associando-a ao comportamento do fio que prende a borracha na trajetória (maior velocidade de rotação = maior tensão). Nesse ponto é recomendável colocar a pergunta: a tendência é centrífuga ou centrípeta? Sem responder imediatamente, executa-se o experimento da garrafa, seguido das questões correspondentes. Após as respostas deve-se enfatizar o peso da garrafa como a força necessária para manter o movimento, relacionando com o trecho do texto no qual Newton conclui que essa força precisa estar voltada para o centro (claramente indicado pelo experimento).

## REFERÊNCIAS

- [1] Moreira, M.A., Uma Abordagem Cognitivista ao Ensino de Física, Editora da Universidade, Porto Alegre, 1983.
- [2] Menezes, L.C. (coordenador), Parâmetros Curriculares Nacionais. Parte III --- Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, CNE, 1998.
- [3] Dias, P.M.C.; Santos, W.S.; Souza, M.T.M., " A Gravitação Universal (Um texto para o Ensino Médio)", Revista Brasileira de Ensino de Física, 26 (2004), 257-271.
- [4] Kuhn, T.S., A Revolução Copernicana – A Astronomia Planetária no Desenvolvimento do pensamento Ocidentais, Edições 70 Ltda. Traduzido por Fontes M.C., 1990.
- [5] Cohen, I. Bernard, O Nascimento de uma Nova Física, Gradiva Publicações, 1988.
- [6] Galilei, G., Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano. Traduzido por Mariconda, P.R., Discurso Editorial, 2001.
- [7] Dias, P.M.C., "O Desafio do círculo: Descartes e o 'Demônio da Desilusão' ", in: Saul Fuks (editor), Descartes: um legado Científico e Filosófico, Relume Dumará, 1997.
- [8] Mourão, R.R.F., Carta Celeste do Brasil, Francisco Alves, 1990.