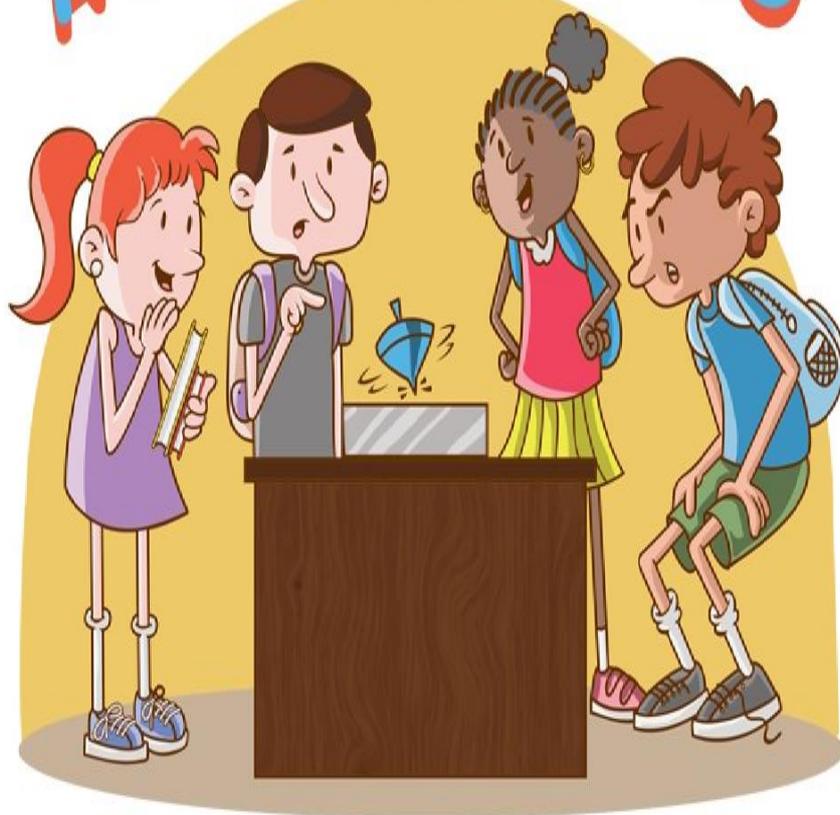


UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Roteiro didático



A FÍSICA DO PIÃO



Thauany Barreto Barros

Orientador:

Prof. Dr. Antônio José Silva Oliveira

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Professor:

Caro professor, sabemos que ao trabalhar a física do movimento circular, temos muitos elementos norteadores do nosso dia a dia que podem exemplificar sua vasta aplicação. Porém, mesmo contextualizando as aplicabilidades físicas por meio deles, podemos encontrar dificuldades na compreensão do alunado. É nesse tocante, que pensamos como elemento mediador de aprendizado a utilização do pião como objeto pedagógico. Pois, mesmo sendo um brinquedo aparentemente simplório, exhibe inúmeras contextualizações físicas como: centro de massa, movimento rotacional, torque e entre outros. Deste modo, elaboramos um roteiro que traz uma sequência didática com demonstrações experimentais, no intuito de colocar em prática, passo a passo a visualização de cada conteúdo abordado, visando ao aluno buscar uma ressignificação dos conceitos que antes se baseavam no "achismo", mas que agora será sedimentado com os conceitos científicos, colocando – os para pensarem por complexo a medida que se eleva a aplicação de cada experimento.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

SUMÁRIO

A PROPOSTA DO PRODUTO EDUCACIONAL	5
QUADRO DE OBJETIVOS	6
A FÍSICA DO PIÃO: ABORDAGEM SUCINTA NO NÍVEL DO ENSINO MÉDIO.	7
CONHECENDO O PIÃO	7
1.1. CENTRO DE MASSA	9
1.2. MOVIMENTO ROTACIONAL	14
1.3. INÉRCIA (I)	20
1.4. TORQUE (τ)	24
1.5. MOMENTO ANGULAR (L)	29
O PIÃO E O ELETROMAGNETISMO	34
2.1 ELETRICIDADE	35
2.2 CAMPO ELÉTRICO	36
2.3 CORRENTE ELÉTRICA	38
2.4 O MAGNETISMO	41
2.5 O ÁTOMO	43
2.6 CAMPO MAGNÉTICO	44
2.7 PROPRIEDADE MAGNÉTICA DOS MATERIAIS	46
2.8 ELETROMAGNETISMO	49
2.9 CORRENTES DE FOUCAULT	56
CONHECENDO O EXPERIMENTO: PIÃO COM TRANSMISSÃO ELETROMAGNÉTICA	58
3.2 COMO FUNCIONA?	61
DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL NA ESCOLA	63
APÊNDICEB	69

**Roteiro didático para ensinar movimento rotacional
com uso do pião**

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

A PROPOSTA DO PRODUTO EDUCACIONAL

O trabalho é resultado da dissertação que tem como título “BRINCADEIRA DE CRIANÇA: O pião como objeto pedagógico no processo de ensino - aprendizagem de física no terceiro ano do ensino médio”, sob a orientação do professor Dr. Antônio José Silva Oliveira, que é docente vinculado ao Mestrado Profissional em Ensino de Física na Universidade Federal do Maranhão. No qual, teve como objetivo a elaboração de um roteiro didático, pautado em uma sequência de demonstrações experimentais.

O roteiro está segmentado em três etapas, divididos quanto a utilização do experimento paralelo ao crescimento gradual da compreensão dos assuntos que estão sendo abordados. Cada etapa, traz o experimento como atividade lúdica, ou seja, o brinquedo e a brincadeira, visando a melhor internalização da física. Tal metodologia pedagógica é defendida pelo teórico Vygotsky (1998), quando esboçou em seus trabalhos a importância de ter o brinquedo como objeto motivador no âmbito da Educação.

A 1ª etapa faz-se o uso do pião de brinquedo, com o objetivo de sondar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o movimento. Nesta etapa o professor deve estar atendo as concepções obtidas, pois será através delas que serão planejadas as aulas. Pensando nisso, para auxiliar o trabalho do professor na transmissão dos conteúdos, pode-se trazer parte da física da dinâmica pião, em um texto de simples compreensão a qualquer aluno do 3º ano do Ensino Médio. Esse texto, faz uma abordagem sucinta e bem ilustrada não só com o pião, mas relaciona também os mesmos princípios físicos a outros exemplos do cotidiano. E ao fim de cada conteúdo tem-se quadrinhos que trazem diálogos entre o aluno e o professor exemplificando todo o capítulo.

A 2ª etapa trabalha-se a sedimentação desses conteúdos, colocando em prática todo o aprendizado adquirido. Nesta atividade deve-se propor aos alunos que criem seus próprios experimentos “o *beyblade*”, para desta forma fazer um novo teste, colocando em prova os conhecimentos científicos. Nessa etapa traz-se novas questões problematizadoras, a partir da brincadeira “guerra do *beyblade*” é possível colocar os alunos para pensarem de forma mais complexa.

A 3ª etapa podemos trabalhar com a reafirmação de todos os conceitos mencionados durante o roteiro, pois trazemos a demonstração do “pião com transmissão eletromagnética”. Pois, é importante ressaltar o quanto é interessante trabalhar com esse pião, porque ele mostra o que realmente acontece quando temos um movimento rotacional mais duradouro, pois nesse experimento diminuimos a dissipação do movimento, que antes cessava devido a interrupção de agentes externos. No roteiro didático é descrito como ocorre toda a montagem desse pião, caso o professor tente reproduzir em sala de aula, para também observar a aplicação da física, quando se trata de fenômenos elétricos e magnéticos.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

QUADRO DE OBJETIVOS

Objetivo Geral: Contextualizar os fenômenos físicos que estão presentes no pião comum e no pião com transmissão eletromagnética com outros exemplos do nosso cotidiano.	
1ª ETAPA	<p>Objetivos específicos: desenvolver a compreensão acerca da dinâmica rotacional, trazendo como parte desse processo os conteúdos de Centro de Massa, Movimento rotacional, Inércia, Torque, Momento angular.</p> <p>Estratégias didáticas utilizadas: exercícios práticos e teóricos trabalhados em grupos, aulas expositivas dialogadas, também utilização de vídeos.</p> <p>Recursos utilizados: pião de brinquedo, projetor, celular, <i>watsapp</i>, <i>Adobe Acrobat</i>, roteiro das aulas de física.</p>
2ª ETAPA	<p>Objetivos específicos: colocar em prática todo o conteúdo aprendido na 1ª etapa.</p> <p>Estratégias didáticas utilizadas: exercícios práticos com a brincadeira de <i>beyblade</i> trabalhados em grupo e questões problematizadoras.</p> <p>Recursos utilizados: <i>beyblade</i> (confeccionado com materiais alternativos)</p>
3ª ETAPA	<p>Objetivos específicos: desenvolver a compreensão dos fenômenos elétricos e magnéticos, trazendo como parte do processo os conteúdos de Eletricidade, Campo elétrico, Corrente elétrica, magnetismo, átomo, Campo magnético, Propriedade magnética dos materiais, Eletromagnetismo, Correntes de Foucault.</p> <p>Estratégias didáticas utilizadas: exercícios práticos e teóricos desenvolvidos em grupos, aulas expositivas dialogadas, <i>Quiz</i> online e questões problematizadoras.</p> <p>Recursos utilizados: o experimento do pião com transmissão eletromagnética, plataforma online do <i>socrative</i> e tacômetro óptico (modelo P4740 da <i>Cussons</i>).</p>

Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

A FÍSICA DO PIÃO: ABORDAGEM SUCINTA NO NÍVEL DO ENSINO MÉDIO.



CONHECENDO O PIÃO

O pião é um objeto que pertence a períodos históricos bem antigos, de acordo com a literatura sua existência é observada desde antes de Cristo através de vestígios arqueológicos e produções literárias.

Segundo Cascudo (op. cit.), esse brinquedo tem sua origem na Antiguidade Clássica, onde na Grécia era conhecido por *strombos* e em Roma por *turbo*. O historiador Manson (2002, p.27) relata que o pião era um dos brinquedos de destreza utilizados pelas crianças da Antiguidade. Na *Ilíada*, esse brinquedo é narrado quando Ajax lança uma pedra em Hector, “fazendo-o rodopiar como um pião (*strombos*); o outro corria girando à toa”.

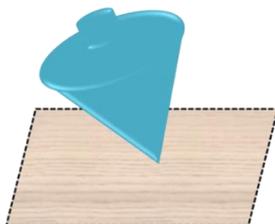
O pião foi disseminado pelo mundo e em todas as épocas fez parte do processo histórico cultural abrangendo as gerações de adultos e crianças. Esse brinquedo se tornou um jogo popular pela fácil acessibilidade em diferentes classes sociais por ser confeccionado simploriamente. Hoje a produção do pião é realizada com diferentes materiais, tais como, madeiras, metais, polímeros sintéticos e entre outros.

A destreza para realizar o movimento do pião passou igualmente por transformações, sejam elas mecânicas ou como discutiremos no trabalho por transmissões eletromagnéticas.

Mediante isso o trabalho desenvolvido trouxe o pião visto na Figura 1, como tema central. De modo a fazer uma análise física do seu movimento para através da brincadeira fomentar a **ciência** e a tecnologia na faixa etária juvenil.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 1. O pião.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

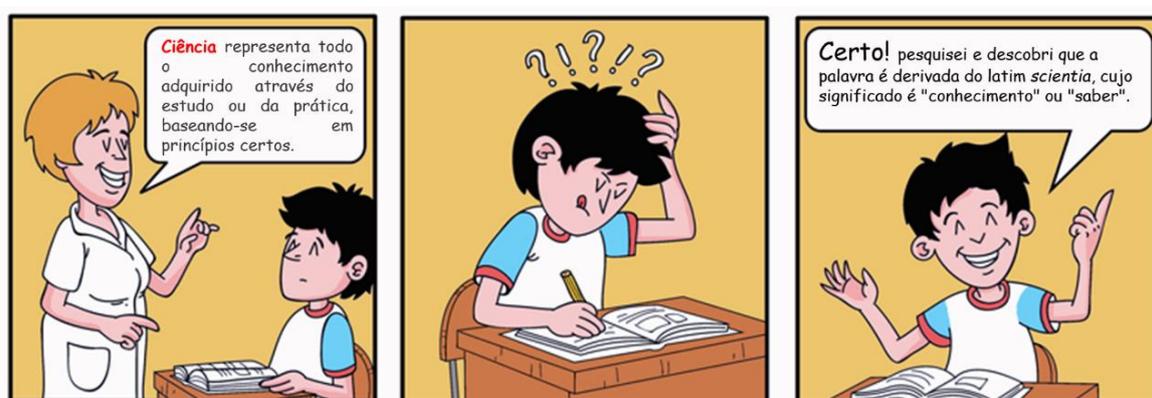


Ilustração – Flávio Coelho

ENTENDENDO O GIRO

Extra! Extra! Observações inéditas sobre a dinâmica do movimento do pião.

É fácil opinar hoje sobre como ocorrem os movimentos das coisas em nossa volta, mas nem sempre foi assim, para serem entendidos e assimilados houveram muitos cientistas ao longo da história que estiveram por trás insistentemente dessa investigação. Compreender as leis dos movimentos que regem o universo foi uma busca sensacional.

O desenvolvimento das teorias envolvidas no movimento do pião exigirá alguns conhecimentos de física aprendidos até o momento, para podermos extrair uma melhor compreensão. Neste livro iremos nos preocupar com o movimento do pião e nos questionar **como o pião não cai? Porque ele fica equilibrado? Porque ele fica "balançando"?** Desta forma perceberemos que são tantos os conceitos físicos que ocorrem durante uma brincadeira, mas que agora receberão uma ressignificação.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

SEJA UM CIENTISTA E FIQUE POR DENTRO DO MOVIMENTO!

1.1. CENTRO DE MASSA

Ao brincar durante a infância inconscientemente abordamos o centro de massa, basta lembrar aquelas simples brincadeiras de tentar equilibrar-se em um pé só ao pular amarelinha. Na adolescência à fase adulta as brincadeiras aumentam o grau de dificuldade, como o *slackline*¹ que consiste em equilibrar o corpo em uma fita. Estas formas de entretenimento podem ser analisadas a partir do conhecimento adquirido durante as aulas de mecânica no primeiro ano escolar do ensino médio e suas técnicas podem ser melhoradas a partir do estudo da dinâmica dos corpos.

Com isso iremos compreender que para trabalhar na mecânica do movimento dos corpos sejam eles de dimensões desprezíveis ou não, é muito importante determinar o centro de massa.

Como ponto de partida, afirmamos que qualquer corpo é constituído por partículas² que estão distribuídas ao longo de sua estrutura. Todas essas partículas podem ser representadas em um único ponto fictício ao qual responderá as ações das forças externas.

Para aprendermos identificar o CM de um sistema de partículas, devemos considerar primeiramente um sistema que tenha poucas partículas, para posteriormente considerar sistema que possuam inúmeras partículas, como no caso de corpos com tamanhos maiores.

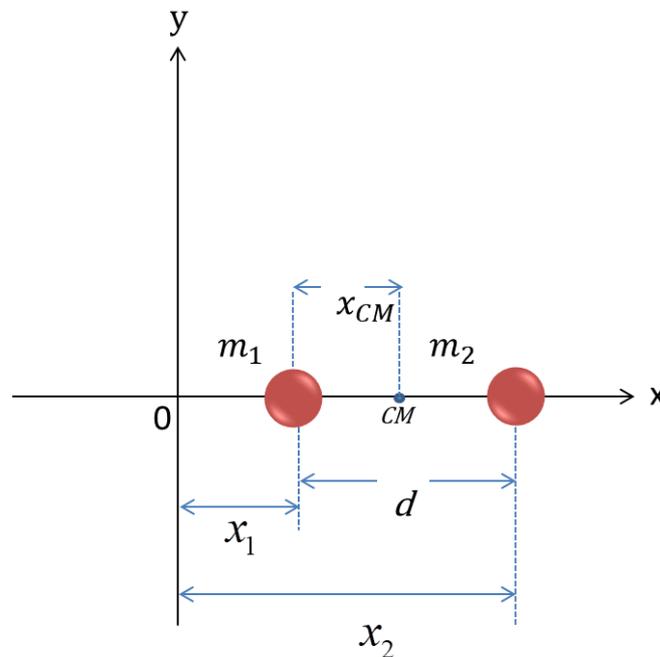
Para tanto, iniciaremos demonstrando um sistema que possui somente duas partículas localizadas na dimensão x do plano cartesiano como na Figura 2.

¹ É um esporte de equilíbrio sobre uma fita elástica esticada entre dois pontos fixos, o que permite ao praticante andar e fazer manobras por cima.

² Partícula, é um conceito que admite várias acepções. Em geral, é usado para designar uma porção de dimensões muito reduzidas de matéria.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 2. Representação gráfica de duas partículas no sistema em que o centro de massa foi encontrado a partir da Eq. 1.2.



Logo, poderemos aplicar a definição matemática que descreve perfeitamente a região do CM, através da média aritmética ponderada das massas, com relação as suas respectivas posições. Dado pela expressão 1.1:

$$x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{M} \quad (1.1)$$

Sendo $x_2 - x_1 = d$; e as massas por serem iguais ($m_1 = m_2$), como observado na Figura 4, teremos:

$$x_{CM} = \frac{d}{2} \quad (1.2)$$

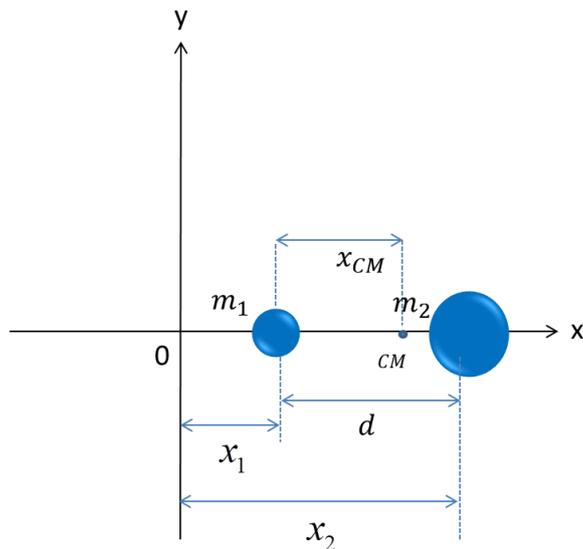
Em que m_1 e m_2 são as massas das partículas, M é o somatório de todas as massas e d é a distância correspondente entre as duas partículas situadas no eixo x.

Verificamos com o resultado da equação que o centro de massa está localizado entre duas partículas idênticas, isso ocorre unicamente para casos específicos. Esse tipo de sistema é perfeitamente verificado em corpos que possuem distribuição uniforme, visto que cada elemento de massa possui outro igual na posição simétrica em relação ao ponto de sua localização. Porém, nem sempre encontraremos corpos que possuem

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

formas regulares, neste caso, as partículas distribuídas por ele, irão possuir volume e densidades diferentes a exemplo da Figura 3.

Figura 3. Representação gráfica de duas partículas diferentes em que o centro de massa foi encontrado a partir da Eq.1.1.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

Em que a $m_2 > m_1$, ao aplicar a Eq. 1.1, teremos que o CM ficará mais próximo do corpo que tiver maior massa. (HALLIDAY, 2008, p. 219).

Mostramos como encontrar o centro de massa com apenas duas partículas de tamanhos iguais e também diferentes, e como mencionamos no início da seção, poderemos determinar o centro de massa para sistemas que possuem várias partículas ainda em uma única dimensão x. Portanto, teremos a equação 1.3:

$$x_{CM} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots + m_nx_n}{M} \tag{1.3}$$

Em que M é o Somatório de todas as massas, e suas posições podem assumir valores que variam de 1 a n , assim como as massas.

Vale ressaltar que nem sempre o CM deve existir massa (a exemplo, corpos que possuem formas de anel), sendo apenas um ponto fictício que servirá para descrever ação do corpo a partir das forças aplicadas sobre ele. Esse corpo pode estar em movimento ou em equilíbrio, por isso, a importância de conhecer as forças que estão agindo sobre ele.

É com base nas definições do centro de massa, que podemos brincar de amarelinha ou no *slackline*, buscando sempre o princípio de equilíbrio do corpo, que pode ser obtido exatamente por este ponto fictício no qual identificamos as forças que estão sendo projetadas.

No caso, para um corpo ser considerado em condição de equilíbrio, todas as forças que estão atuando em seu centro de massa devem ser nulas, ou também, esse corpo se move com velocidade constante.

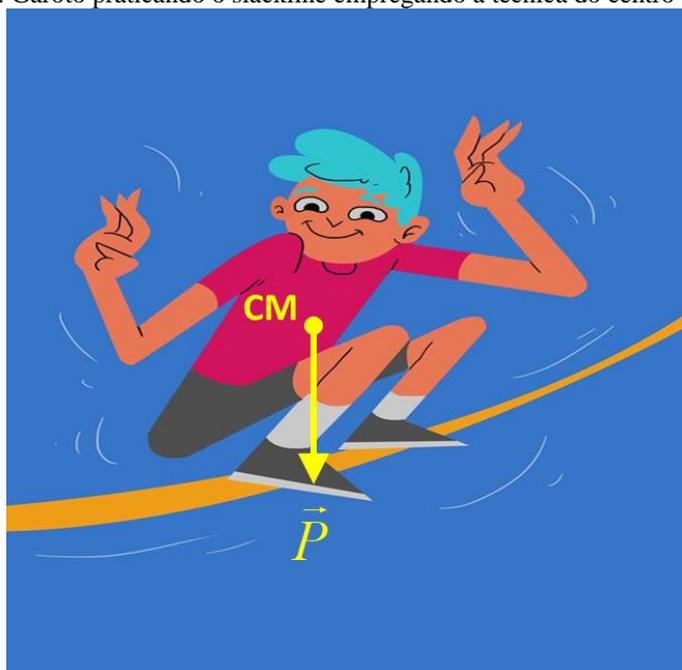
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Já para movimentos de rotação, todos os momentos de força devem ser nulos, ou também, esse corpo deve mover-se com velocidade angular constante.

Podemos apontar ainda na condição de equilíbrio se há instabilidade ou estabilidade, pois se traçarmos uma linha reta para baixo, a partir do centro de gravidade de um objeto com forma geométrica qualquer, e ela incidir num ponto do interior da base do objeto, então o objeto está em equilíbrio estável; ele se equilibra. Se a linha incidir num ponto exterior à base do objeto, o equilíbrio é instável. (HEWITT, 2002. p.41)

A figura 4 mostra um garoto buscando equilíbrio do corpo, quando abre os braços para deslocar seu centro de massa para a região do abdômen que se localiza na mesma direção da sua base, que nesse caso são os pés apoiados na linha.

Figura 4. Garoto praticando o slackline empregando a técnica do centro de massa.



Fonte: Ilustrador Luís Flávio Coelho Gonçalves

O pião que é o tema de discussão do trabalho possui um centro de massa que é determinante para compreendermos todo o seu movimento, e por se tratar de um corpo simétrico com distribuição contínua de massa, ao aplicarmos a definição de localização do CM que fizemos para corpos de densidade diferentes, podemos pré-estabelecer que o centro de massa do pião esteja mais próximo da região em que haverá um maior volume de massa. Mas, se precisarmos saber com exatidão a localização devemos utilizar os sistema coordenadas (x,y e z), pois as partículas que compõem a massa do pião assumem posições nas três dimensões. Então teremos as equações:

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

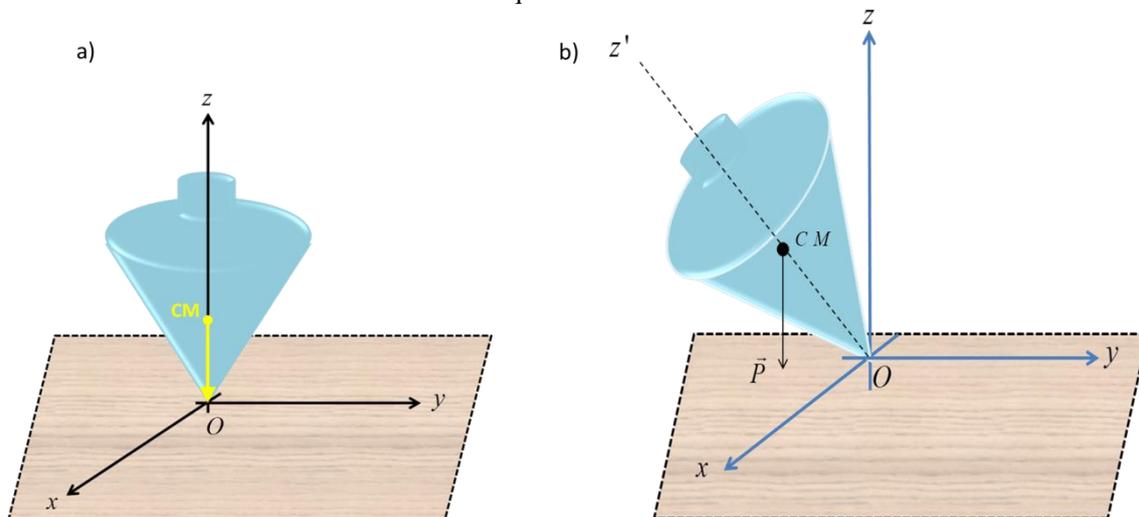
$$x_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (1.4)$$

$$y_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i y_i \quad (1.5)$$

$$z_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i z_i \quad (1.6)$$

Em que x_{CM} é o centro de massa na dimensão do eixo x, y_{CM} é o centro de massa na dimensão do eixo y e z_{CM} é o centro de massa na dimensão do eixo z. Como o pião é composto de inúmeras partículas comumente chamadas de átomos, isso termina nos dando a possibilidade de trata-los como uma distribuição contínua de massa. Desta maneira as partículas se tornam elementos infinitesimais de massa que podemos expressar por meio de integrais que podem ser visualizadas com mais detalhes no livro do Halliday (HALLIDAY 2008, p. 220). são a partir das aplicações dessas integrais que encontraremos o centro de massa visualizado na Figura 5.

Figura 5. Esquema da componente vetorial peso, atuando sobre o centro de massa do pião. a) pião em equilíbrio estável; b) Pião em equilíbrio instável.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

A partir dessas definições será possível traçar o conjunto de forças que estará atuando no pião, bem como seu movimento rotacional, inércia, momento angular, torque e entre outros.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião



1.2. MOVIMENTO ROTACIONAL

Para trabalhar com a física do pião é preciso conhecer todas as forças responsáveis pelas causas dos seus movimentos, somente assim poderemos destacar algumas variáveis físicas como posição, velocidade e aceleração.

Discutimos no início do item 1.1 que todas as forças aplicadas no pião estariam atuando em um único ponto, e esse ponto recebeu o nome de centro de massa. Por isso, ressaltamos a importância de encontrar o centro de massa para um corpo que possui várias partículas distribuídas uniformemente em todo seu volume. Para esse tipo de corpo uniforme com dimensões não desprezíveis denominados de rígidos. Desse modo, Pesce (2001, p.7) define o corpo rígido em seu livro, como:

Do ponto de vista cinemático, um Corpo Rígido (C.R.) pode ser definido como um corpo material que guarda a propriedade de invariância de distância relativa entre quaisquer pontos que o constituam. Esta é a propriedade fundamental de um C.R.. Trata-se, obviamente, de uma idealização, um modelo da realidade, porquanto inexitem, senso estrito, corpos materiais totalmente indeformáveis.

Os corpos rígidos podem possuir movimentos combinados de translação e rotação, porém o nosso trabalho é voltado para a dinâmica do pião, e o foco consistirá no movimento de rotação, pois o de translação (linear) é impreciso devido à ação de diversos fatores externos associados ao sistema.

O pião possui a dinâmica rotacional que ocorre em consequência da ação de forças externas, portanto para descrever esse movimento no espaço é preciso que sejam definidas as coordenadas cartesianas e polares necessárias, para posteriormente traçar as componentes que farão parte do movimento. É desta maneira que poderemos conhecer as variáveis físicas que são de fundamental importância para a dinâmica rotacional como posição angular, deslocamento angular, velocidade e aceleração angular. Cada uma dessas

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

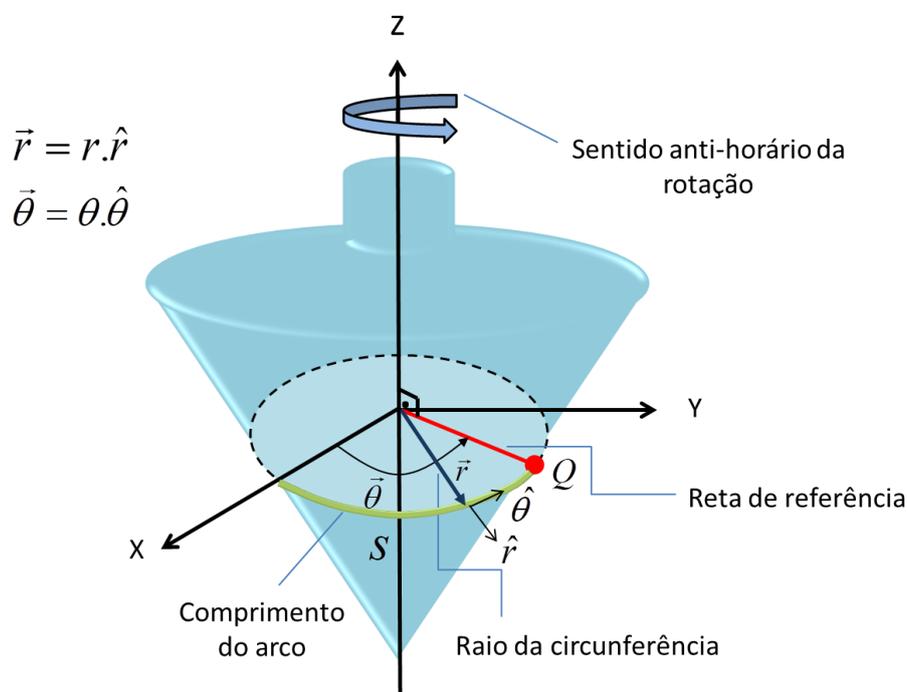
variáveis será discutida nas próximas seções com a finalidade de demonstrar como elas atuam no caso específico do pião.

✓ Posição angular (θ)

Para estabelecer as coordenadas em um corpo rígido, é preciso definir um eixo fixo, conhecido como eixo de rotação, ele é traçado em qualquer região do corpo. Por conveniência foi adotado o eixo z , levando em consideração a simetria do pião.

Em frente é posto a linha de referência, situada perpendicular ao eixo fixo z , essa linha tem a função de definir as variáveis angulares, a começar pela posição angular θ que se dista da reta referencial x fixa (reta de origem do movimento), como é visto na Figura 6. É verificado na imagem que há um sentido adotado para a rotação, isso se deve ao fato das grandezas angulares também serem vetoriais. Deste modo, adota-se o anti-horário como o positivo e o sentido horário como negativo.

Figura 6. Ilustração do pião com o eixo de rotação juntamente com as coordenadas polares e cartesianas do movimento.



Em qualquer lugar do corpo rígido há pontos (no caso da Figura 6, temos o ponto Q) que percorrem trajetórias circulares de raio r em torno do eixo z . As distâncias percorridas por esses pontos são definidas por:

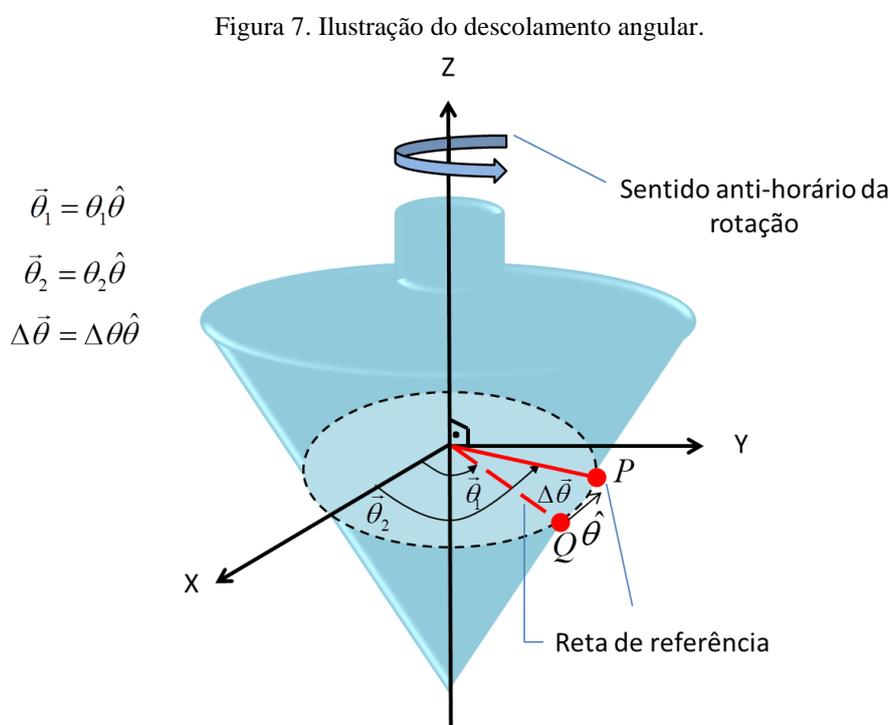
$$S = r \cdot \theta \quad (1.7)$$

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Em que θ é dado em radianos e S é o comprimento de um arco da circunferência. Se isolarmos o θ teremos a posição angular:

$$\theta = \frac{S}{r} \quad (1.8)$$

Observando a Figura 7 verificamos que há a marcação de dois pontos Q e P no comprimento da circunferência.



A marcação desses pontos serve para identificar a posição da reta de referência após colocar o pião para rotacionar, por isso se desloca do ponto Q ao ponto P , a essa variação de posição denominamos de deslocamento angular. Logo, pode ser expresso por:

$$\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (1.9)$$

Em que, $\Delta \theta$ é a variação das posições, ela pode assumir o sentido positivo ou negativo dependendo do sentido da rotação como mencionado anteriormente. A reta de referência quando se desloca assume uma nova posição ao decorrer do tempo, isto significa que na posição Q temos o tempo t_1 e na posição P teremos o tempo transcorrido de t_2 . Dado pela definição matemática:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (1.9)$$

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Em que Δt é a variação do tempo transcorrido dado em segundos (s). Podemos perceber que o ponto escolhido como referência foi o ponto Q e ao colocá-lo em movimento até o ponto P , significa que utilizou certa velocidade para se deslocar em relação ao ângulo.

✓ Velocidade angular (ω)

A velocidade angular serve para sabermos com qual “rapidez” o corpo está girando. Com isso é observado na seção anterior que escolhemos um ponto como referência para analisar as posições assumidas ao longo do trajeto da circunferência do pião, analogamente será feito o mesmo procedimento para encontrar a velocidade angular desse ponto (chamaremos esse ponto de partícula).

Esta partícula descreverá o movimento circular que poderá ser expressa pelas equações similares aos do movimento linear, mas com algumas modificações, pois as grandezas em questão são angulares. Mediante isto, o corpo assume posições diferentes com o decorrer do tempo, havendo uma velocidade angular média associada a essa partícula, daí teremos a partir da Eq. 1.9.

$$\omega_{méd} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1.9)$$

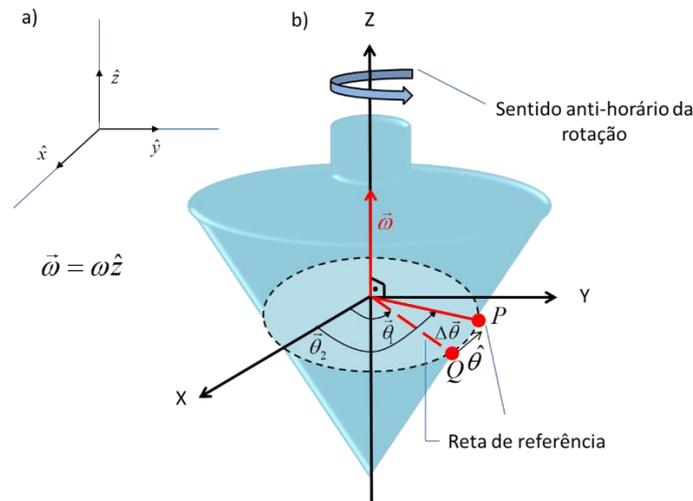
Em que $\omega_{méd}$ é dada pelas unidades de medida radianos por segundo ($\frac{rad}{s}$). Lembrando que o parâmetro para a conversão de radianos é:

$$2\pi rad \longrightarrow 360^\circ \quad (1.10)$$

Esta equação define a velocidade angular para o corpo rígido como um todo, pois as partículas possuem distâncias fixas, como foi comentado na definição de um corpo rígido no início do item 4.2. A velocidade angular vetorial paralela e na direção do eixo fixo (\hat{z}), positiva no sentido anti-horário, negativa no sentido horário, de acordo com a Figura 8.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 8. a) Identificação da direção dos vetores unitários no plano cartesiano; b) Apresenta a direção da velocidade angular do pião.



Percebe que essa partícula ao girar poderá descrever um círculo completo, imagine que também podemos calcular o tempo (período) de revolução dessa partícula que é a mesma de todo o corpo rígido, que no nosso caso é do pião. Basta usar a simples relação:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1.11)$$

Em que T é o período de revolução de todo o corpo rígido e é dado em segundos (s), esse tempo ocorre em uma volta completa de 2π e é medido em radianos (rad), dividido pela velocidade angular medido em radiano por segundo (rad/s).

✓ Aceleração angular (α)

A velocidade angular do corpo rígido pode ser constante ou variar com o passar do tempo, isso significa que teremos uma aceleração angular média que é definida pela Eq. 1.12.

$$\alpha_{méd} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1.12)$$

Esta equação indica que a partícula possui uma velocidade ω_1 no tempo t_1 e à medida que se movimenta assumi outra velocidade angular ω_2 no tempo transcorrido t_2 .

Além disso, podemos associar a aceleração angular com a aceleração linear, que será expressa por:

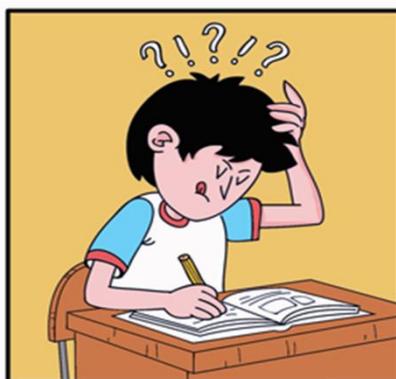
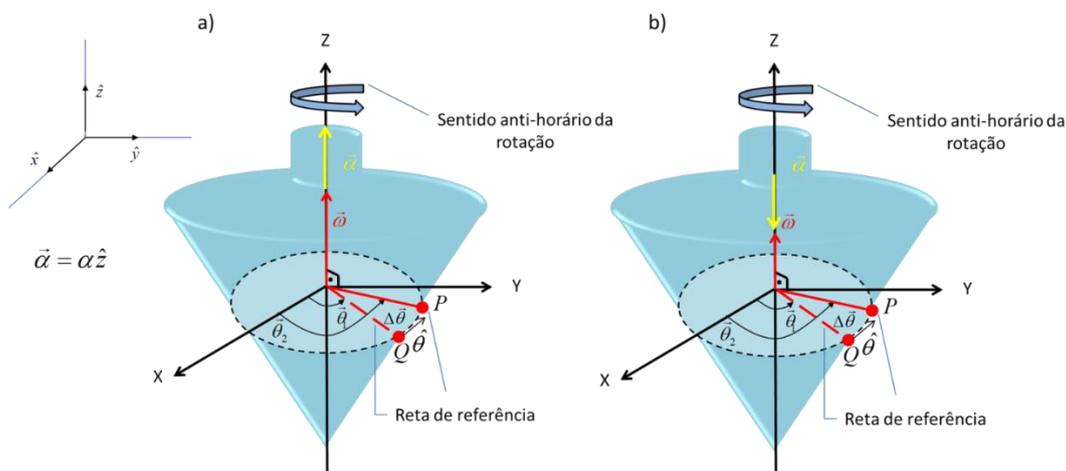
$$a_{tg} = \alpha \cdot r \quad (1.13)$$

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Em que a_{tg} é a aceleração tangencial a circunferência dada em (m/s^2) , α é a velocidade angular dada em radianos (rad/s^2) e r é à distância dessa partícula até o eixo de rotação (\hat{z}) .

Convém ressaltar que o vetor da aceleração angular terá orientação paralela de mesma direção do eixo fixo (\hat{z}) , caso a velocidade angular (sentido anti-horário) estiver aumentando Figura 9 (a), e sentido oposto quando a rotação diminui com o passar do tempo, Figura 9 (b). Esta aceleração é mesma para qualquer ponto ao se tratar do movimento rotacional de um corpo rígido, a exemplo o pião.

Figura 9. Em a) temos o vetor aceleração angular no sentido positivo; em b) temos o vetor aceleração angular no sentido negativo.



Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

1.3. INÉRCIA (I)

Uma vez conhecidas as variáveis associadas ao movimento rotacional como posição, deslocamento, velocidade e aceleração, torna-se possível inferir sobre outros fenômenos físicos associados a cada termo.

Se encontrarmos um corpo em movimento rotacional, imaginamos que houve a ação de alguma força externa que promoveu esse movimento. Por isso, a partir desse item iniciaremos o estudo sobre a compreensão dessa dinâmica, através das explicações sobre como é ocasionada? E porque se conserva com o passar do tempo?

A capacidade que o corpo tem de resistir a qualquer mudança de movimento, seja ele de repouso ou movimento, é o que conceitua a inércia, assunto de física estudado nos primeiros anos do ensino médio, quando é aprendido as Leis de Newton. Essa condição da inércia se adequava aos movimentos lineares, e é essa mesma explicação será aplicada para a dinâmica rotacional, pois uma vez que o corpo é posto em rotação ele continuará em rotação até que as forças externas causem interferência em seu movimento.

A utilização da inércia na dinâmica rotacional ocorre nas mais variadas atividades, sendo uma delas um complexo passo de balé o *fouettés* (Figura 10), que consiste no movimento de piruetas no ar através de pequenos impulsos ao solo ocasionando o torque (assunto do item 1.4) para a rotação. Essas piruetas são contínuas e duradouras uma vez que o centro de massa da bailarina se mantém no eixo vertical promovendo o equilíbrio e aproveitando a velocidade angular.

Agora, a inércia rotacional para esse passo de balé pode ser entendida como a resistência de um corpo ao movimento de rotação. Ela aumenta quando mais massa é distribuída, distante do eixo de rotação, e diminui quando a massa é distribuída mais próxima ao eixo de rotação. Então, ao trazer seus braços mais próximos ao corpo, a sua inércia de rotação encolhe. Para conservar o momento angular (será discutido no item 1.5), sua velocidade angular, a velocidade de sua pirueta, tem que aumentar, permitindo a mesma quantidade de impulso armazenado, para que ela gire continuamente³.

³ [Informação obtida em <https://modaballet.wordpress.com/2016/04/13/fouette-a-fisica-explica/> acessado 12 de mar 2018]

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 10. Ilustração de uma bailarina utilizando técnicas de física para o rodopio.



Fonte: Pâmella Ferreira (2018)

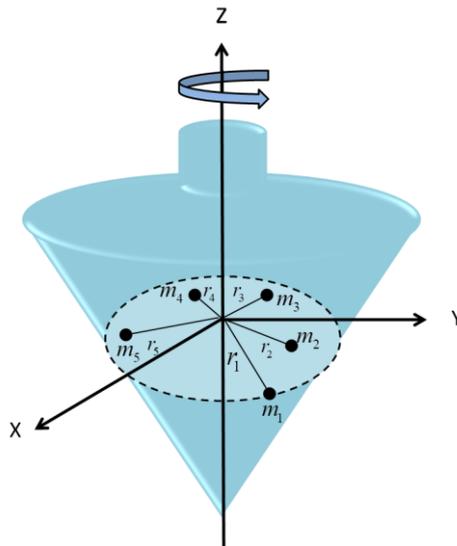
Sobre isso, voltamos ao caso do pião que sem a ação de qualquer força externa ele permanecerá parado sem nenhum movimento, mas a partir do instante que lhe é aplicado uma força, entrará em rotação. Esse movimento executado pelo pião estará exposto a interferências de forças externas, sejam elas o atrito da superfície em que está girando, como também a ação da gravidade e entre outros. Todos têm relações diretas com a massa do pião e sua distribuição, o que remete a condição do centro de gravidade visto no item 1.1.

Por isso, iniciaremos os estudos aprendendo a calcular o momento de inércia para poucas partículas e posteriormente demonstraremos como encontrar o momento de inércia para um número muito maior de partículas (o pião é um corpo de massa contínua).

Observando a Figura 11, percebemos a marcação das partículas, que vão de m_1 à m_5 , estas são fixas e estão localizadas na seção transversal que passa pelo centro de massa do pião que também é o eixo de rotação.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 11. Posições das partículas em um corpo rígido com o raio associando cada partícula ao eixo de rotação.



Fonte: *Elaboração da pesquisadora (2018).*

Para encontrar o momento de inércia referente a esse sistema de poucas partículas, basta usar a seguinte relação:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 \quad (1.14)$$

Em que o momento de inércia é dado pelo somatório de todos os momentos que vai da primeira partícula até a quinta partícula do sistema escolhido.

Deste modo, teremos:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2 \quad (1.15)$$

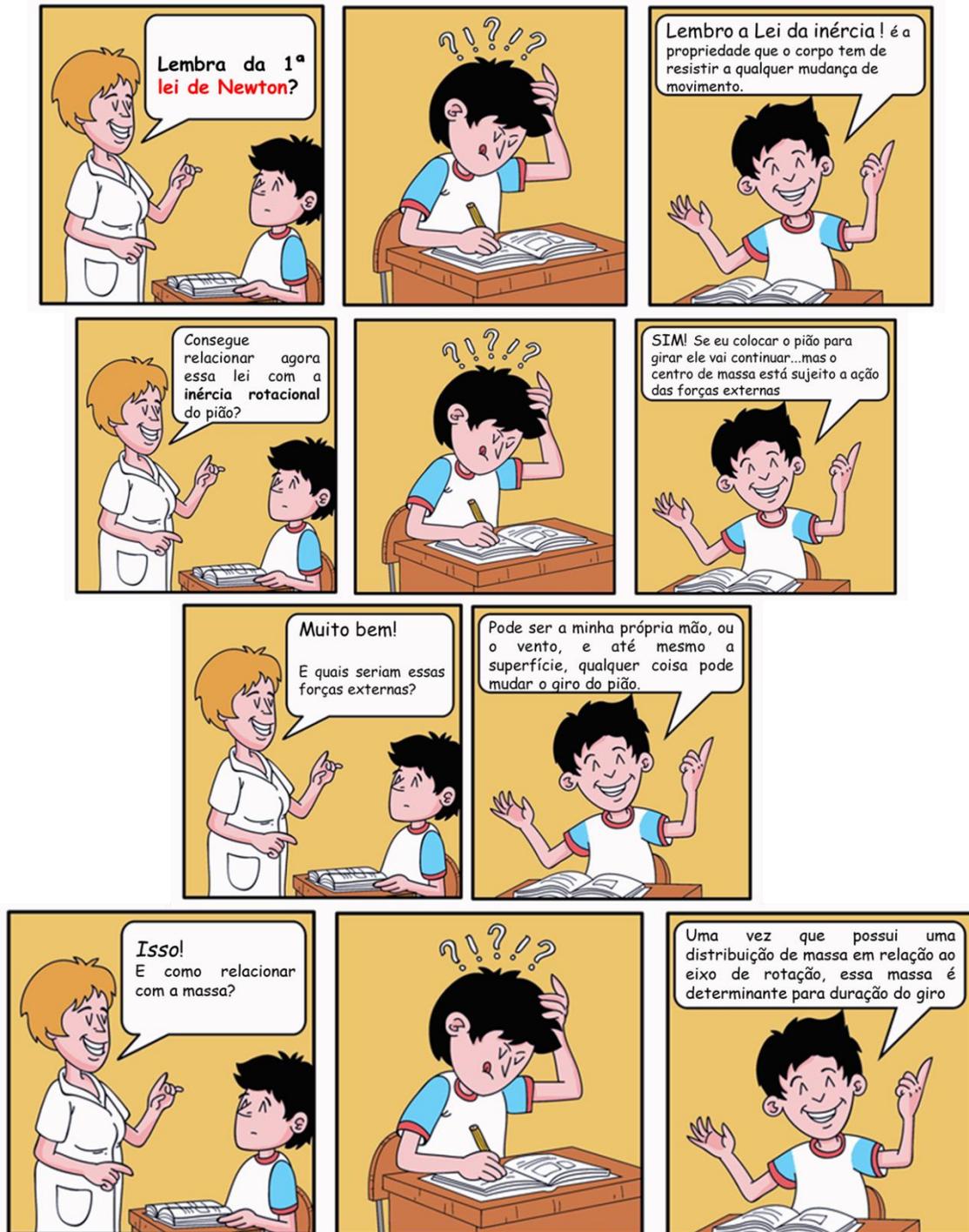
$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (1.1)$$

O momento de inércia das cinco partículas é dado pelo somatório do produto das massas m_i pelas distâncias r_i que se encontram do eixo de rotação (\hat{z}). A unidade de medida do momento de inércia pelo Sistema Internacional é dada por quilogramas metros quadrados ($kg \cdot m^2$).

Este cálculo é válido apenas para quantidade discreta de massa (poucas partículas), no caso do pião temos um corpo rígido de distribuição contínua de massa (muitas partículas), o que faz necessário a aplicação de uma integral que pode ser encontrada no livro (HALLIDAY 2008, p. 271)

Sendo assim, para determinar o momento de inercia devemos saber em qual eixo está sendo adotado para rotacionar e como a massa está distribuída ao longo do corpo. Para assim, verificamos que quanto maior o momento de inércia maior será a força aplicada para pôr em movimentação e conseqüentemente maior será a resistência desse corpo para mudar seu estado de movimento.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

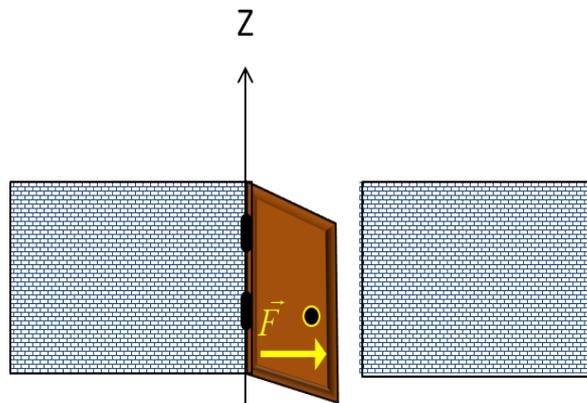


Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

1.4. Torque (τ)

Nas secções anteriores sempre houve a menção de que existi a necessidade de aplicar uma força para provocar a rotação em um corpo, como foi mencionado na pirueta da bailarina e no giro do pião. Essa prática recebe o nome de torque que é em latim e significa “torcer”, ou seja, ser posto em movimento de giro como a Figura 12.

Figura 12. A aplicação da força perpendicular à porta permite faze-la rotacionar.



Existem muitas atividades no dia a dia que há aplicabilidade do torque, temos como exemplo o simples abrir de uma porta (Figura 12) quando aplicamos à força perpendicular à superfície na maçaneta, a troca do pneu do carro quando usamos a chave de roda, girar uma moeda no chão e entre outros.

Ação do torque não se vincula em apenas colocar um corpo para girar, ele também pode alterar o sentido de rotação de um corpo que já esteja no movimento circular.

Nos esportes há inúmeras modalidades que conseguem o aperfeiçoamento de suas práticas através da aplicação física dos torques, por exemplo, os praticantes de judô têm um golpe conhecido como *Osoto-gari*. Este golpe consiste no lutador aplicar uma força no oponente com um puxão (torque) provocando o giro do adversário para que ele venha ao chão como na Figura 13.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 13. Aplicação do torque em um golpe de judô.



Fonte: Ilustrador Luís Flávio Coelho Gonçalves.

Percebe-se na Figura 13, que o lutador de azul realiza torque no adversário, pois, aplica uma força para puxa-lo com o objetivo de fazer girar colocando-o ao chão. Desse modo, para rotacionar ele utiliza uma determinada aceleração angular. Podemos lembrar que esse conceito é análogo ao da Primeira Lei de Newton (a força aplicada a um corpo produz aceleração linear).

No caso do pião ele também é posto para rotacionar, e o torque promovido nele advém da força aplicada no barbante do pião, exemplificado na Figura 14.

Figura 14. Garoto ao brincar com o pião transmite o movimento através do torque produzido pelo barbante.



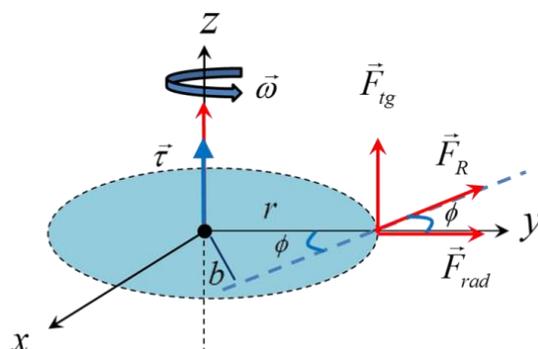
Observamos na Figura 14, que o garoto enrola o pião com barbante, com objetivo de lançar liberando o comprimento do fio, que provocará o giro. Por senso comum é percebido que quanto mais

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

enrolado maior será a durabilidade do movimento. Verifica-se que ao aplicar o torque através do barbante é provocado à dinâmica circular com o intuito de que velocidade angular do pião dure por mais tempo, mas devido a existências de outras forças externas como a do atrito, que é uma resultante do contato de rotação dele com a superfície, essa velocidade angular vai diminuindo ocasionando a desaceleração do pião.

Podemos explicar a duração da rotação através do torque, pois existe uma relação entre a distância do ponto de aplicação da força com o eixo de rotação. Essa relação pode ser verificada no movimento do pião, quando consideramos que o fio é a força de tração que provoca a rotação. Mas existem algumas restrições para atingir as rotações, para entendê-las é preciso conhecer como funciona cada componente física que citamos em termos da matemática. De acordo com a Figura 15 pode ser observada o conjunto de forças e os elementos desse sistema.

Figura 15. Imagem transversal do pião com os respectivos componentes do sistema.



Em que r é o raio do pião, b é o braço de alavanca da força projetado perpendicularmente à linha de ação da força que liga esta ao centro de rotação, $\vec{\omega}$ é a velocidade angular, \vec{F}_{tg} é a força tangencial ao plano (x, y) da circunferência, \vec{F}_R é a força resultante e \vec{F}_{Rad} é a força radial.

Todos os componentes são definidos pela relação matemática que descreve como o torque $\vec{\tau}$ (letra grega tau) implica na dinâmica rotacional do corpo.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}_R \quad (1.15)$$

Pela Eq. 1.15 é definido que o torque é uma grandeza vetorial que depende do ponto de aplicação e da distância que esse ponto está do eixo de rotação. Dentro do estudo de vetores sabemos que F_R é força resultante das componentes de força radial e força tangencial do corpo. Essa força radial não provoca alterações no estado do corpo, pois é aplicada na direção da componente radial que passa pelo eixo. Logo a componente que melhor produz o movimento é a força tangente ao raio. Então reformulamos a Eq. 1.15 que será dada com as seguintes implicações. Torque é uma grandeza vetorial e tem seu módulo dado por:

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

$$\tau = r.F_R \sin \phi \quad (1.16)$$

Ou ainda podemos reescrever como:

$$\tau = rF_{tg} \quad (1.17)$$

Deste modo é possível analisar a intensidade do torque e sua direção que será sempre perpendicular ao raio e a força de aplicação, ou seja, “para cima” fazendo o corpo girar no sentido anti-horário, sendo conveniente com a velocidade angular e a aceleração angular do pião. Se o ponto de aplicação da força é próximo ao eixo de rotação $\left(\frac{r}{2}\right)$ o torque produzido será mínimo, mas se a força é aplicada a uma distância r do eixo de rotação (como na Figura 15) o torque produzido será maior.

Outra maneira de expressar o torque é pela Segunda Lei de Newton em que temos $\phi = 90^\circ$ devido à força tangente, então substituímos a Eq.1.17, por:

$$\tau = m.a_{tg}.r \quad (1.18)$$

Que a_{tg} é a aceleração tangencial linear do movimento. Como vimos na Eq. 1.13, a relação entre a aceleração linear e angular, daí temos que a Eq. 1.19, fica:

$$\tau = m.\alpha.r.r \quad (1.19)$$

$$\tau = m.\alpha.r^2 \quad (1.20)$$

Reorganizando a equação:

$$\tau = m.r^2.\alpha \quad (1.21)$$

Em que mr^2 foi definido na Eq. 1.14, como momento de inercia e pode ser reescrito como:

$$\vec{\tau} = I.\vec{\alpha} \quad (1.22)$$

Desta forma é compreendido que o torque é o causador da aceleração angular e é análogo à segunda Lei de Newton em que força e aceleração têm a mesma direção e sentido. O torque total do corpo será definido pela soma de todos os torques que estão atuando em cada ponto desse corpo rígido na direção do eixo de rotação (\hat{z}) . Deste modo:

$$\sum_{i=1}^n \vec{\tau}_i = \sum I_i \vec{\alpha} \quad (1.23)$$

A unidade de medida do torque é definida pelo Sistema Internacional de Newton metro ($N.m$).

Até o momento foi discutido que o pião tem seu torque inicial gerado pelo barbante, mas observa-se que depois de um tempo, mesmo quando passa a inclinar seu corpo, ele continua a girar. Isso ocorre devido à existência de outra força que está atuando no pião e é responsável pela continuidade do rodopio.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Essa força é atuante no centro de gravidade e é conhecida como força peso, é por causa dela que teremos mais torques produzidos no pião.

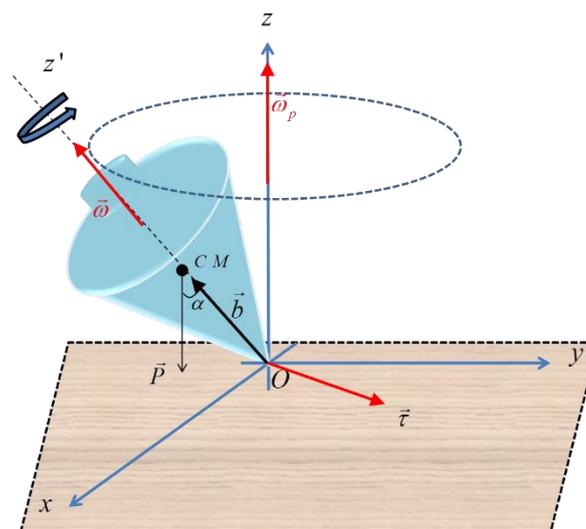
No início do capítulo, foi definido como encontrar o centro de massa do corpo rígido e a partir dele ficou definido o centro de gravidade do pião. É a partir desse ponto traçamos a componente da força peso que também é uma das forças que atuam no pião e é dada por:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (1.24)$$

Em que \vec{P} é o peso do corpo, m é a massa do corpo e \vec{g} é a gravidade da Terra que está agindo sobre o corpo. Mas vale ressaltar que a força da gravidade não promove torque em quanto estiver atuando verticalmente no eixo de rotação, pois como vimos pela definição da Eq. 1.16 o ângulo formado entre as duas componentes seria zero, logo não haverá torque.

O pião depois que inicia a rotação na vertical começa a inclinar (rotacionando no z'), essa perda da verticalidade ocorre devido à ação da força de atrito com a superfície e prontamente a força da gravidade \vec{P} passa a atuar no braço de alavanca \vec{b} do pião produzindo torque em relação ao ponto de contato. Na Figura 16, observamos os componentes presentes no movimento.

Figura 16. Componentes das forças que atuam no corpo gerando o torque.



O torque terá a direção perpendicular ao plano formado pela força peso e o braço, e paralelo ao solo definido pela forma vetorial:

$$\vec{\tau} = \vec{b} \times \vec{P} \quad (1.25)$$

Que em módulo, temos:

$$\tau = P b \sin \alpha \quad (1.26)$$

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Quando esse torque é aplicado no momento que o pião começa a inclinar levemente ele terá direção para dentro no sentido do centro com o intuito de tentar mantê-lo em pé e fazer girar em torno de outro eixo (\hat{z}) como definido na Figura 16.

Quando a Segunda Lei de Newton é aplicada para o movimento rotacional o torque terá relação com momento angular que será discutido no próximo Capítulo.

1.5. MOMENTO ANGULAR (L)

Para iniciarmos a compreensão sobre o momento angular, podemos fazer um pequeno resumo sobre o momento linear, pois para todo rotacional existe um análogo linear. Sabe-se que o momento linear é definido pela quantidade de movimento que um corpo possui, a partir do conhecimento sobre sua massa e velocidade. No momento angular, também é possível determinar a “quantidade de rotação que um corpo possui”, basta conhecer seu momento de inércia e sua velocidade angular.

Como observamos no torque há uma transferência de movimento para que seja possível o pião rotacionar. Deste modo essa quantidade de movimento transferida pode ser conservada ou não, isso dependerá do sistema em que está inserido. No caso do pião ele perde seu movimento devido às forças externas, pois o sistema não é conservativo (existe a presença de forças dissipativas).

Todo corpo quando gira tende a perder o movimento aos poucos, mas sempre tentando manter a velocidade e direção no sentido do eixo de rotação. Essa quantidade de movimento adquirida pelo corpo é dada pela relação:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega} \quad (1.27)$$

Em que \vec{L} é o momento angular e sua unidade de medida é dada em $\left(\frac{kgm^2}{s}\right)$, $\vec{\omega}$ é a velocidade angular e deve estar em $\left(\frac{rad}{s}\right)$ e I é o momento de inércia do corpo, ambos já foram trabalhados nas seções 4.2 e 4.3.

A variação do momento angular de um corpo é igual à soma de todos os torques externos que estão agindo sobre ele, dado pela relação:

$$\frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} = \sum \vec{\tau}_{ext} \quad (1.28)$$

Sendo definida como a Lei fundamental da dinâmica das rotações na qual diz que $\Delta \vec{L}$ é a variação do momento angular, Δt é a variação do tempo e $\vec{\tau}_{ext}$ é o somatório de todos os torques externos que estão

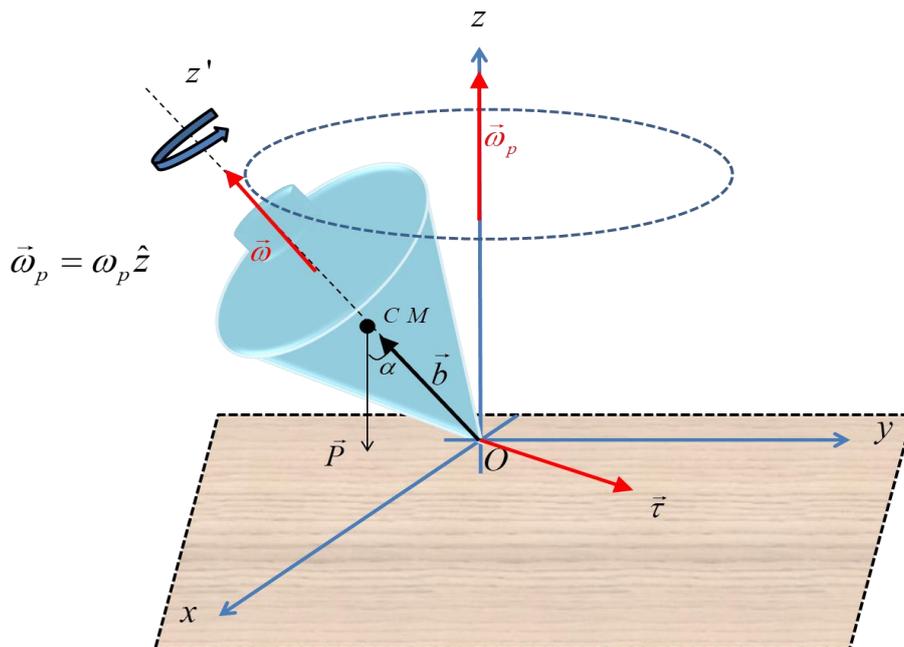
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

atuando no corpo do pião. E se tivermos a soma de todos os torques externos resultantes em zero, teremos a conservação do momento angular.

A relação entre o torque e o momento angular é definida pela perpendicularidade que apresentam entre si, desta maneira o torque sempre altera o sentido e a direção do momento angular. Essa mudança do momento angular produzida pelo torque descreve um círculo em torno do eixo (z), este movimento é conhecido como precessão do pião.

Voltando a condição que ele perde o movimento gradativamente isso direcionará a outras análises. Observa-se que no instante que o pião passa a sofrer ação das forças externas ele perde o sentido total da verticalidade e passa a inclinar o seu eixo de rotação de acordo com a Figura 17.

Figura 17. O pião em rotação perde aos poucos o a verticalidade e passa a inclinar devido à ação das forças externas do sistema.



Temos que O é o ponto de contato da ponta do pião com a superfície em que está girando, \vec{b} (braço de alavanca) é a distância que liga a ponta de contato a superfície até o centro de massa CM , \vec{P} é o peso do pião, $\vec{\omega}$ é a velocidade angular do pião girando em torno do seu próprio eixo (z') e $\vec{\omega}_p$ é a velocidade angular em que o pião gira em torno do eixo (z).

É percebido que pela ação da gravidade há uma inclinação do eixo de rotação, isto é, fica sob a ação do torque gravitacional que vai o direcionando aos poucos para baixo fazendo variar o momento angular.

Daí basta retornar à relação torque da força peso da Eq. 1.26:

$$\tau = P b \sin \alpha$$

Substituindo na Eq. (1.28) teremos:

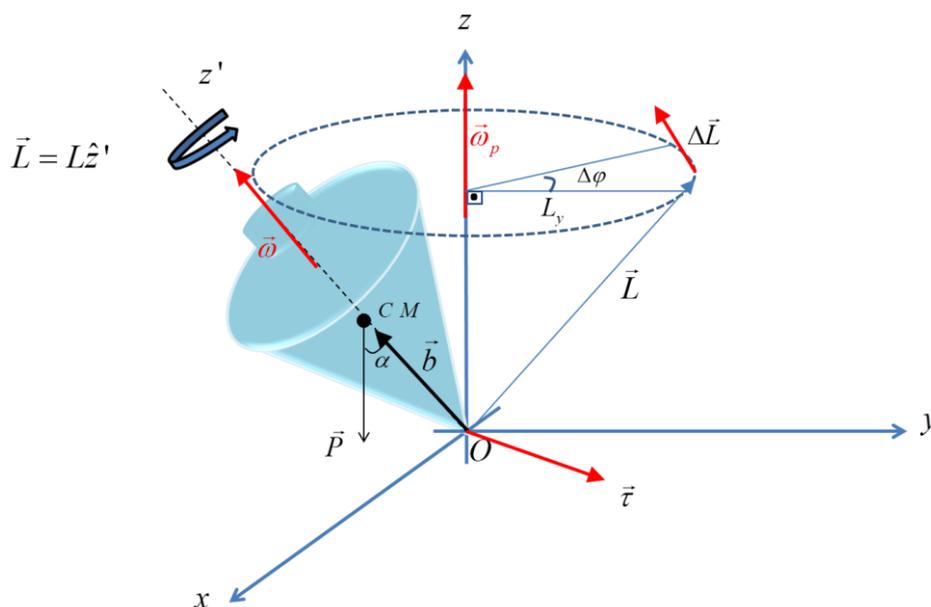
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = Pb \sin \alpha \quad (1.29)$$

$$\Delta L = Pb \sin \alpha \Delta t \quad (1.30)$$

Terminamos de definir o torque em relação ao momento angular, agora é preciso definir o momento angular em relação ao giro que faz em torno do eixo (z) se observar a Figura 17 quando o pião realiza uma volta ele projeta a imagem de um cone que pode ser visto novamente na Figura 18.

Figura 18. O movimento de giro que o pião faz em torno do eixo projetando a forma de um cone.



Voltamos para a condição da Eq. 1.8 a qual descreve o comprimento da circunferência do deslocamento angular, mas com as condições atuais, fazendo apenas as mudanças das variáveis em questão. Em que:

$$L_y = L \sin \alpha \quad (1.31)$$

$\Delta L = L_y \cdot \Delta \varphi$, substituindo:

$$\Delta L = L \sin \alpha \Delta \varphi \quad (1.32)$$

Agora basta substituir na Eq. 1.34 a 1.32 e teremos:

$$L \sin \alpha \Delta \varphi = Pb \sin \alpha \Delta t \quad (1.33)$$

Reorganizando:

$$\omega_p = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{Pb}{L} = \frac{mgb}{L} \quad (1.34)$$

Lembrando que L foi definido na Eq. 1.28.

$$\omega_p = \frac{mgb}{I\omega} \quad (1.35)$$

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Que é conhecido fisicamente como velocidade angular de precessão. Fica claro que o movimento de precessão só ocorre devido à existência da gravidade, ou seja, quanto mais rápida for a rotação menor será a precessão do pião, e quanto menor a rotação, maior será a precessão realizada pelo pião.

A essa velocidade consiste no movimento que o pião gira em torno do seu eixo fixo (z') e também continua a rotacionar simultaneamente em torno da coordenada (z), desse modo seu centro de massa adquire uma aceleração centrípeta por realizar o movimento circular ao formar o cone. Evidenciando que durante esse processo o pião sofre não apenas a interação da gravidade mais também a da força de atrito com a superfície como mencionado anteriormente. Posto isso a força de atrito pião-piso gera a aceleração direcionada ao centro do cone:

$$F_{at} = F_{cp} \quad (1.36)$$

$$\frac{v^2}{b} = \mu N \quad (1.37)$$

Sendo que v é a velocidade linear e deve ser reescrito em termos da velocidade angular, ficando:

$$\frac{b^2 \sin^2 \alpha \omega_p^2}{b \sin \alpha} = \mu N \quad (1.38)$$

Pela definição da Terceira Lei de Newton N é a normal e tem o par de forças oposta conhecida como peso P definido pela Eq.1.24.

$$\frac{b^2 \sin^2 \alpha \omega_p^2}{b \sin \alpha} = \mu mg \quad (1.39)$$

$$b \sin \alpha \omega_p^2 = \mu mg \quad (1.40)$$

Sendo assim:

$$\sin \alpha = \frac{\mu mg}{b \omega_p^2} \quad (1.41)$$

Esta é a relação para que a ponta do pião fique fixa, promovendo o movimento de rotação.

No item 1.1 falamos sobre o centro de massa no qual definimos que através dele podemos determinar a estabilidade dos corpos. Demonstramos como encontrar o centro de massa para um corpo de massa contínua, com isso determinamos a localização do CM do pião. No entanto, é notável que sua base é muito pequena em relação ao corpo, isso torna claro que é um objeto instável de acordo com os conceitos vistos anteriormente. Mas, devido toda dinâmica que envolve os elementos físicos de rotação, torna possível um rodopio prolongado.

Posto isso a Terra também realiza o movimento de precessão análogo ao pião, mas ela não chega a “cair” porque não existe uma superfície de atrito para dissipar o movimento. O movimento rotacional da

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Terra ocorre devido ser alargada na zona equatorial o que permiti receber torques promovidos pelas foças gravitacionais do sol e da lua, deste modo tende a uma pequena inclinação em relação à elíptica que é o plano da sua trajetória em torno do sol, a partir daí seu eixo de rotação muda descrevendo similarmente como um pião a forma do cone, porém em um tempo muito maior equivalente a vinte e seis mil anos e é conhecido como precessão dos equinócios.

Outro exemplo que usa os mesmos princípios físicos que envolve a mecânica do pião é a sonda de gravidade B (sonda *Gravity Probe B*), que foi uma experiencia que ocorreu em 2004. Essa experiencia consistiu em uma missão da NASA⁴, em que usou quatro giroscópios ultra-precisos para medir a hipótese do efeito geodésico, a distorção do espaço e tempo em torno de um corpo gravitacional, e o arrasto de referenciais, o total que um objeto rodopiante puxa o espaço e o tempo à medida que roda⁵.

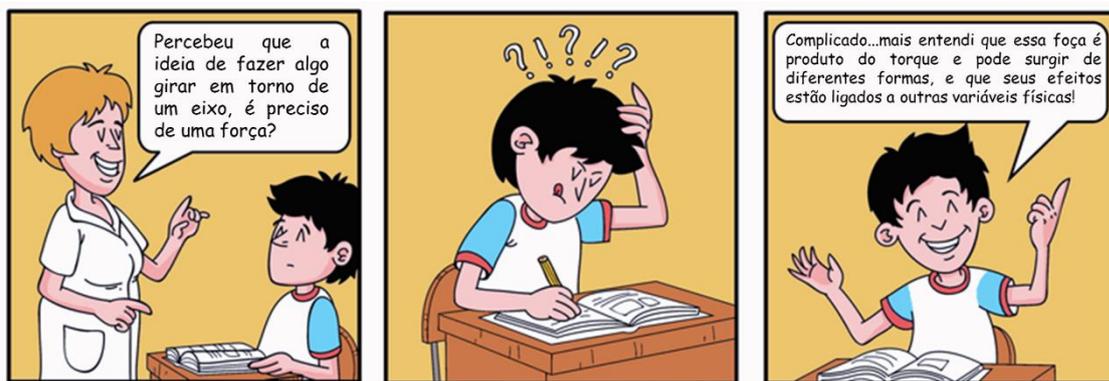


Ilustração – Flávio Coelho

⁴ Significa Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica, (*National Aeronautics and Space Administration*) é uma Agência Espacial Americana, que responde pela pesquisa, e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial e tem como missão incrementar o futuro na pesquisa, a descoberta e a exploração espacial.

⁵ [Informação obtida em http://www.ccvalg.pt/astrofomia/noticias/2011/05/6_gravity_probe_b.htm acessado em 20 de mar 2018]

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

O PIÃO E O ELETROMAGNETISMO

Com o objetivo de compreendermos o mecanismo do pião com transmissão de movimento mecânico utilizando campos eletromagnéticos faz – se necessário uma breve apresentação dos assuntos que envolvem a eletricidade, magnetismo e o eletromagnetismo. E para isso iremos abordar conceitos simples dos fenômenos associados a cada conteúdo, dentre eles as propriedades magnéticas dos materiais, forças eletromagnéticas, transmissão de movimento usando a ideia de campo.

Com isso iremos dar início aos capítulos tratando dos fenômenos que envolvem a eletricidade contextualizando um pouco sobre o momento histórico do surgimento ressaltando a importância para ao nosso contexto social atualmente, para assim descrever fisicamente os conceitos simples como carga, campo elétrico e a resultante corrente elétrica que serão demonstrados de maneira simples matematicamente. Vale lembrar que todos esses episódios envolvendo a eletricidade surgiram em época comum ao magnetismo, mas em regiões diferentes por isso se desenvolveram independentemente. Porém, por tratarem inicialmente de efeitos semelhantes foram confundidos, o que levou os pesquisadores experimentais e teóricos aprofundarem os conhecimentos até dissociarem os dois fenômenos.

É por esse comportamento diferenciado que também trataremos nos capítulos seguintes os estudos sobre o magnetismo destacando o processo histórico e suas primeiras utilidades, bem como os aspectos físicos que envolvem as polaridades resultando em campos magnéticos no qual ajudarão a compreender as propriedades dos materiais que nos norteiam. Contudo buscaremos conhecer a história da unificação entre esses dois fenômenos que viabilizaram a eclosão do eletromagnetismo.

Desta maneira faz-se necessário incluir em nosso texto uma breve apresentação dos trabalhos envolvidos nesse processo com ênfase nos cientistas fundamentais para esse desenvolvimento. Trataremos dos principais experimentos responsáveis pelas observações que relacionaram os dois fenômenos, bem como os aspectos físicos e matemáticos que os descrevem, para assim termos um arcabouço de informações que propiciarão uma assimilação sobre o experimento em questão “pião com transmissão eletromagnética”.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

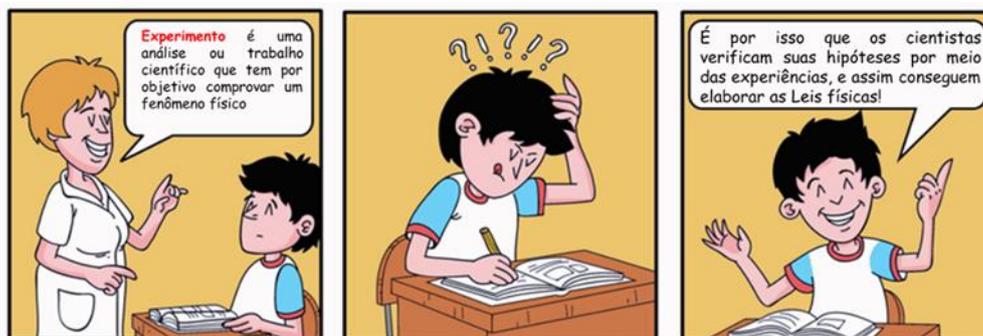


Ilustração – Flávio Coelho

2.1 ELETRICIDADE

A eletricidade assim como o magnetismo surgiu desde os tempos antigos e seus primeiros relatos ocorreram na civilização grega com a observação do filósofo Tales de Mileto⁶ (624 a.C.-558 a.C.) segundo relatos históricos ao esfregar uma resina fóssil conhecida como âmbar (*elektron* em grego) em um pedaço de lã permitiu adquirir o “poder” de atrair a palha seca, essa propriedade foi facilmente confundida com o magnetismo mais recebeu outras atribuições como ser chamada de eletricidade (BLAIDI, 2010 ,p210).

A partir dessa experiência o desenvolvimento da investigação em torno da eletricidade fora evoluindo com ajuda dos intelectuais pertencentes a cada época. Em destaque nos anos de 1600 o físico experimental e médico William Gilbert⁷ (1540-1603) publicou “De magnete” uma obra dividida em seis livros, cada um com seis capítulos, nos quais há uma abordagem sobre a eletricidade e o magnetismo, é nesse momento que ele funda a ciência da eletricidade, pois se baseia em diversas experimentações acerca da propriedade dos materiais quanto à eletrização por atrito. Entretanto as explicações se tornaram aceitáveis e melhor assimiladas a partir da compreensão atômica no século XIX. (Revista Ciências Hoje, p. 75, dez.2000)

Com base nos fenômenos elétricos pode se dividir o estudo entre **eletricidade estática** que é a mesma observada nos primórdios por tales de mileto quando averiguou o âmbar, e a **eletricidade dinâmica** responsável pela transformação do meio através do desenvolvimento mundial das tecnologias implantadas em nossa era digital.

Sabemos que a eletricidade é comumente presente no nosso cotidiano, pois quase tudo que nos norteia é dependente dela, porém considerar como ela funciona não é entendimento de todos. Por isso, neste capítulo iremos concentrar nossos estudos na eletricidade dinâmica, em que estuda os efeitos causados pelas

⁶ Tales de Mileto foi um importante pensador, filósofo e matemático grego pré-socrático. Considerado, por alguns, o "Pai da Ciência" e da "Filosofia Ocidental". Suas principais ideias ou contribuições expandiram os horizontes teóricos nas áreas da matemática, filosofia e astronomia. Para ele, a água era o principal elemento, a essência de todas as coisas.

⁷ William Gilbert era físico, pesquisador e médico inglês. Tornou-se importante por seus trabalhos sobre magnetismo e eletricidade.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

cargas elétricas em movimento e para entendermos melhor sobre o movimento dessas cargas elétricas é necessária uma pequena leitura do item 2.5 que fala sobre a estrutura atômica.

Durante a leitura sobre a estrutura do átomo verificamos que há a presença de um núcleo constituído por prótons e nêutrons, ao redor camadas de energia que comportam os elétrons. Todo material é constituído de átomos, e de acordo com a distribuição eletrônica de cada elemento é possível determinar quando um corpo pode se tornar carregado. Devido a isso na eletricidade teremos corpos carregados positivamente, ou seja, quando há perda de elétrons, os prótons ficam sendo a maioria, e os corpos carregados negativamente quando teremos um ganho de elétrons. É a partir desse princípio simples que ocorre toda a fundamentação da eletricidade e a explicação sobre atração e repulsão de alguns corpos quando eletrizados que são efeitos provenientes de campos elétricos.

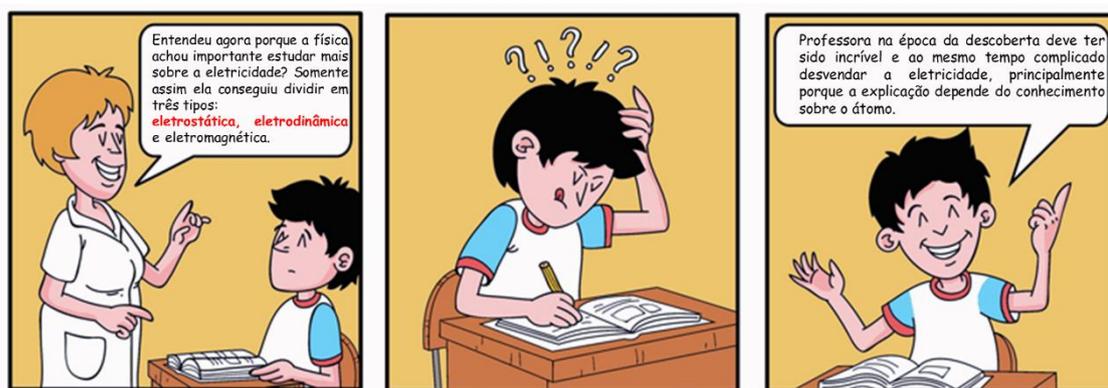


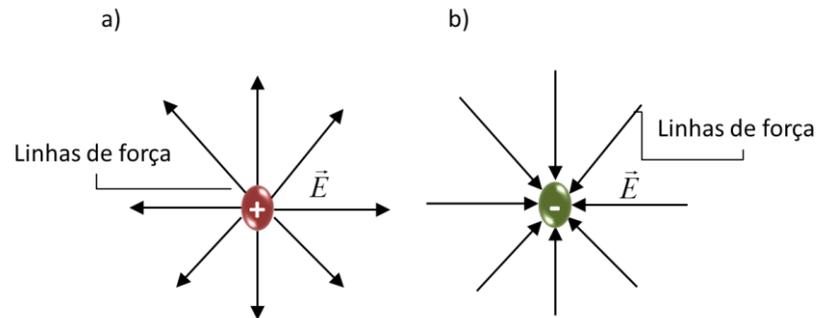
Ilustração – Flávio Coelho

2.2 CAMPO ELÉTRICO

Os corpos que estiverem carregados eletricamente irão gerar no espaço ao seu redor, um campo elétrico que possui intensidade, direção e sentido, por se tratar de uma grandeza vetorial, esse campo também pode ser representado por linhas de forças e se comportam de maneiras diferentes que dependem da carga geradora, como podemos observar na Figura 19.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

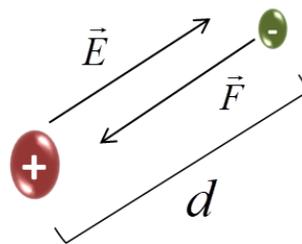
Figura 19. a) Comportamento das linhas de campo de uma carga positiva;
b) Comportamento das linhas de campo de uma carga negativa.



Para cargas positivas as linhas de força terão a direção saindo (repulsão) do objeto carregado, já as negativas o contrário (atração). Isso explica que ao colocar duas cargas de sinais diferentes próximas, as linhas de campo sairão da positiva e entrarão na negativa. Se colocar duas cargas carregadas positivamente às linhas de campo irão ocasionar a repulsão de ambas, analogamente será observado se forem colocadas duas negativas.

A atuação do campo ocorre quando temos uma carga fonte Q que dará origem a um campo elétrico ao seu redor, se colocarmos outra carga q conhecida como carga de prova na região próxima a esse campo ela responderá sendo atraída ou repelida com certa força de acordo com a ilustração da Figura 20.

Figura 20. Interação entre a carga fonte e a carga de prova.



Essa relação pode ser expressa matematicamente pela Eq. 2.1:

$$F = k_0 \frac{Q \times q}{d^2} \quad (2.1)$$

Em que \vec{F} é a força elétrica dada em Newton (N), Q é a carga fonte dada em Coulomb (C), q é a carga de prova dada em Coulomb Q , d é a distância entre essas duas cargas dada em metros (m) e k_0 é a constante que depende do meio, usualmente usamos a do vácuo $9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$. Essa relação matemática é conhecida como Lei de Coulomb e mostra a força em relação às duas cargas.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Continuando a observar a mesma Figura 20 poderemos ver como ocorre a contribuição desse campo continuando a relação matemática:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{elétrica}}{q} \quad (2.2)$$

Em que \vec{E} é o campo elétrico dado em (N/C) e \vec{F} é a força elétrica dada em Newton (N) , q é a carga de prova dada em Coulomb (C) . Dessa relação podemos concluir que uma carga de prova está sujeita a ação do campo elétrico gerado por uma carga fonte que no caso da ilustração é positiva, logo essa carga de prova será atraída com uma força por ser negativa. Analogamente de acordo as leis da atração e repulsão as cargas fonte e de prova terão comportamentos diferentes.

É importante sabermos como comportam as cargas em termos dos campos elétricos, pois será essencial para o entendimento sobre o funcionamento das correntes elétricas.

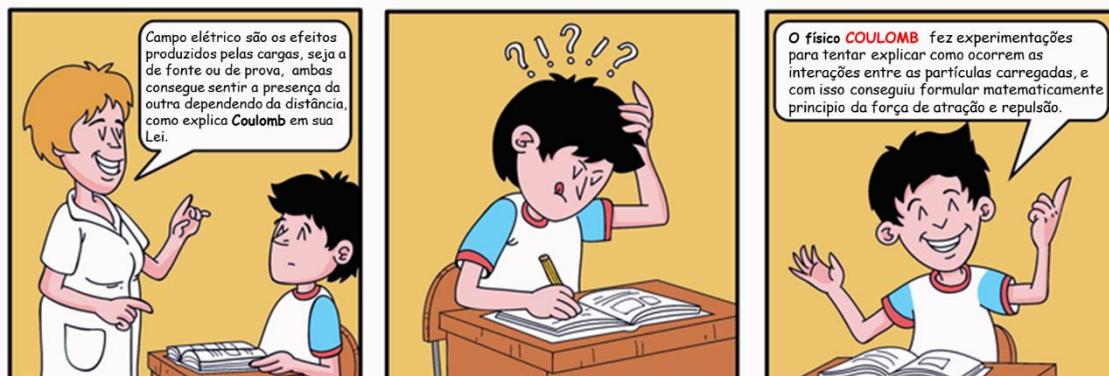


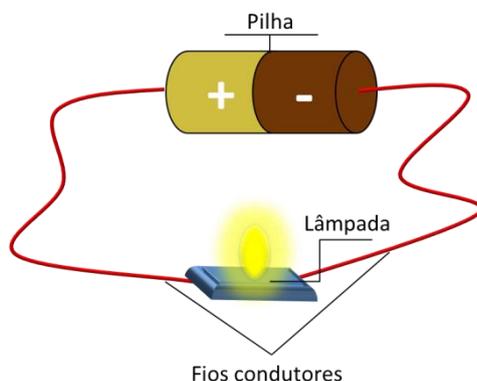
Ilustração – Flávio Coelho

2.3 CORRENTE ELÉTRICA

Diariamente estamos em contato com a energia elétrica, seja em o simples acender de uma lâmpada ou no uso do micro-ondas, ar-condicionado e mais variados aparelhos que precisam da eletricidade. É por esse motivo que iremos explicar de maneira simples através de um experimento comum, como ocorre à geração da corrente elétrica igualmente a que usamos em nossas residências. Para isso usaremos a pilha (fonte de energia química) conectada a fios condutores e um dispositivo de funcionamento a base da eletricidade (uma lâmpada comum) como na Figura 21.

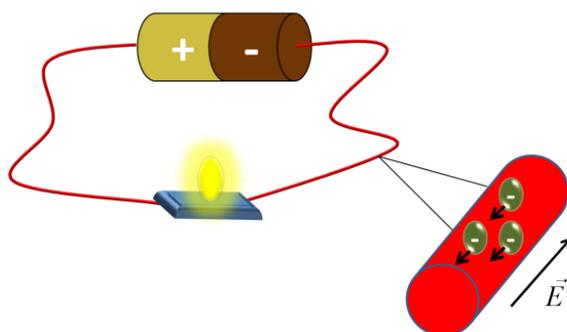
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 21. Ilustração simplificada de um experimento de corrente elétrica.



Dois fios condutores metálicos de cobre são conectados a pilha, observe que a pilha apresenta um polo negativo e outro positivo, essa diferença de quantidade de elétrons nos dois polos é essencial para que se estabeleça um campo elétrico que tem por objetivo estabelecer uma diferença de potencial (d.d.p) entre os dois terminais do fio, ou seja, existem linhas de campo \vec{E} saindo do polo positivo, assim como existem linhas de campo entrando no polo negativo. Dentro do fio condutor há um número significativo de elétrons (cargas negativas) que estão se movimentando de forma ordenada do sentido negativo ao positivo, contrário ao campo elétrico, a esse sentido damos o nome de real, e de forma imaginária há também um número significativo de cargas positivas se movimentando do sentido positivo ao negativo que é o mesmo do campo elétrico e recebe o nome de imaginário ou convencional, visto na Figura 22.

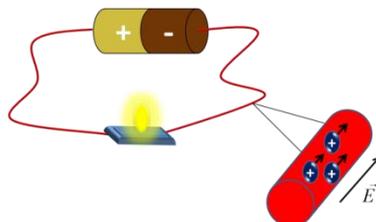
Figura 22. Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido dos elétrons em um condutor metálico.



Na imagem observamos o comportamento do elétron submetido a uma diferença de potencial que ocasionará o movimento ordenado dos elétrons resultando no surgimento da corrente elétrica real que acenderá a lâmpada conectada a fonte de energia, de acordo com a Figura 23.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 23. Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido das cargas positivas em um condutor metálico.



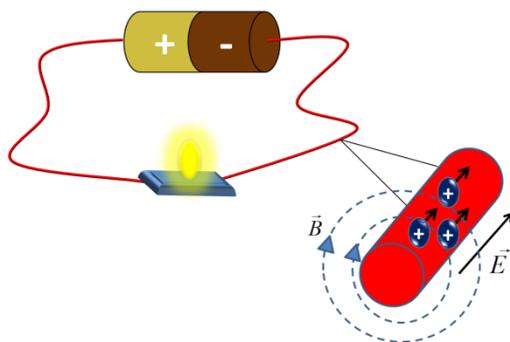
Na figura acima verificamos o sentido convencional da corrente com o deslocamento das cargas imaginárias positivas no sentido do campo elétrico. Essa definição de corrente elétrica pode ser expressa matematicamente como:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Em que i é a corrente elétrica dada pela unidade de medida Ampère (A), ΔQ é quantidade de carga dada em Coulomb (C), e o tempo Δt dado em segundos (s). Portanto, pela Equação 2.3 temos que a corrente elétrica depende da quantidade de carga que atravessa um fio condutor em um determinado intervalo de tempo, isso explica que quanto maior a quantidade de carga maior será a intensidade da corrente elétrica.

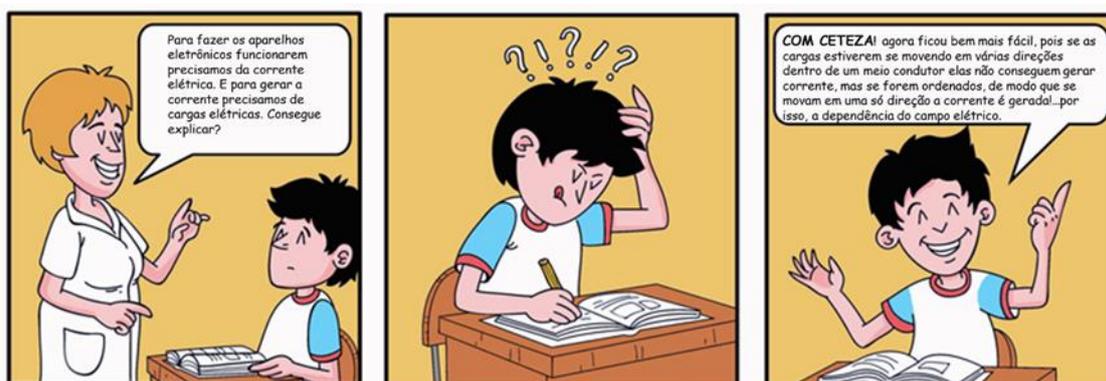
Vale demonstrar que toda corrente elétrica produz um campo magnético formando círculos concêntricos ao longo de um fio condutor representando pelo vetor indução magnética (\vec{B}) como pode ser visto na Figura 24, esses fenômenos ligados ao magnetismo serão estudados com exatidão nos próximos capítulos.

Figura 24. Campo magnético produzido por uma corrente elétrica.



Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Entender o que é corrente elétrica é importante para o experimento do pião com transmissão eletromagnética, pois é fundamental para o seu funcionamento, uma vez que a rotação contínua do disco paramagnético⁸, depende do acoplamento ao motor que transforma energia elétrica em mecânica.



2.4 O MAGNETISMO

Os materiais magnéticos foram descobertos em tempos pertencentes à antes de Cristo. Relatos desse fenômeno foram comprovados por documentos históricos e vestígios de materiais em diferentes territórios do mundo como a Grécia, China e América central. Em cada região, observou-se inicialmente uma pedra que apresentava a propriedade de atrair o ferro. Muitas especulações foram elaboradas com a intenção de explicar o desconhecido poder de atração, fato que levou aos conhecidos nomes: pedra magnética e imã (PETRACONI, 2010).

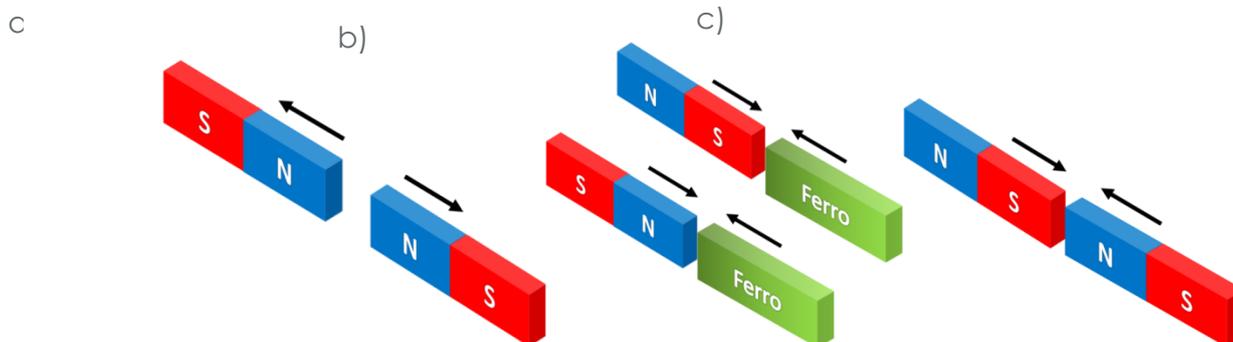
Houve quem fez o uso da pedra para as mais variadas criações como monumentos e objetos como a bússola, com o intuito da “adivinhação”. Porém, um dos inventos mais relevantes que dimensionou um “salto” nas civilizações surgiu quando os chineses conseguiram criar um método de localização no espaço por meio das primeiras bússolas náuticas, as quais eram constituídas de uma agulha imantada para se orientar em relação às coordenadas geográficas. (RIBEIRO, 2000).

Com o passar dos anos, os estudos avançaram na intenção de descrever o magnetismo em imãs naturais relacionando-os com ferro. Constatou-se a interação seguinte, conforme a Figura 25. Em (a), temos a interação entre dois imãs de barra; ambos se repelem por estarem com os mesmos polos aproximados. Em (b), temos dois imãs com polos diferentes, que, ao se aproximarem do ferro, ocorre uma atração. Em (c), dois imãs, quando postos em aproximação com polos diferentes, são atraídos. Nessas figuras, destaca-se que o direcionamento de todas as forças é verificado por meio das setas ilustradas.

⁸ Os materiais paramagnéticos são explicados no item 2.7 e o funcionamento do disco paramagnético está no item 3.1.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 25. a) Imãs com polos iguais sendo repelidos; b) Imãs sendo atraídos pelo ferro; c) Imãs com polos diferentes sendo atraídos.



Nos ímãs da demonstração, N se refere ao polo norte e S, ao sul. Essa convenção é atribuída de acordo com a orientação do campo magnético terrestre, pois a Terra se comporta como um enorme ímã. Assim, o polo sul do ímã se direciona ao polo sul geográfico (que possui o polo norte magnético), e o polo norte do ímã se direciona ao polo norte geográfico (o qual possui o sul magnético). É a partir desse princípio que se estabeleceu o uso da bússola (FERRARO, 2012, p.596).

Um ponto curioso é que, independentemente da forma geométrica de um ímã, sempre haverá dois polos magnéticos. Embora tentássemos reduzir a uma partícula elementar, esses polos nunca deixarão de existir ou perder a sua imantação.

O magnetismo se tornou interessante para a ciência devido ao fato de que as forças magnéticas não necessitam de contato. Mas o que existe dentro desses materiais que provocam esse tipo de comportamento?

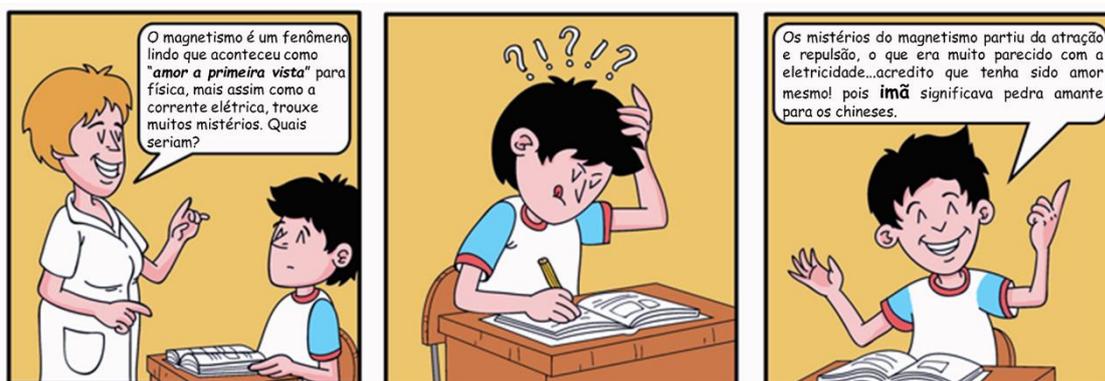


Ilustração – Flávio Coelho

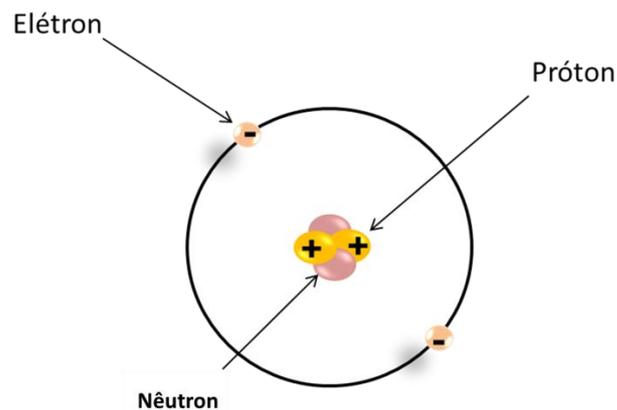
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

2.5 O ÁTOMO

Assim como a compreensão dos fenômenos magnéticos era um mistério, analogamente ocorriam às mesmas interrogações acerca da eletricidade, que também por muito tempo foi um mistério ao longo da história. Um dos maiores desafios estava na própria compreensão da matéria. Antes de saber como era a estrutura atômica, o magnetismo e a eletricidade já vinham exibindo grande utilidade e ganhando cada vez mais espaço na evolução da humanidade.

Sabemos hoje que a menor partícula que compõe a matéria é o átomo e, em sua divisão, estão os prótons, nêutrons e elétrons. Na Figura 26, a qual se refere a um esquema ilustrativo, pode-se observar a disposição de cada constituinte.

Figura 26. Esquema ilustrativo de um átomo de Hélio.



Os elétrons são as menores partículas de um átomo que constituem a eletrosfera, inseridos em orbitais conhecidos como níveis de energia. As cargas dessas partículas são atribuídas como negativas. Já os prótons e os nêutrons formam a parte central do átomo conhecida como núcleo. O próton possui carga elétrica positiva enquanto o nêutron, nula. Essas partículas têm aproximadamente o mesmo tamanho e são muito maiores se comparadas aos elétrons. Embora exista uma força de repulsão entre os prótons, o núcleo é mantido coeso devido a força de interação forte. (BLAIDI, 2010, p. 17)

Sabendo do comportamento existente entre os ímãs sobre as forças de interação referente aos polos norte e sul, a equivalência também é encontrada quando se refere às cargas positivas e negativas existentes no interior da matéria. A diferença básica é que o polo norte e sul magnético sempre serão encontrados juntos, ao passo que as cargas elétricas positivas e negativas são elementos que podem ser encontrados separados. As reações provocadas em ambos os fenômenos são análogas e sabe-se que estes conseguem

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

promover efeitos um sobre o outro se colocados à prova. Mas como essas interações podem influenciar uma a outra? A resposta a essa pergunta está nas forças de interação que são comumente chamadas de campos magnéticos e elétricos respectivamente.



Ilustração – Flávio Coelho

2.6 CAMPO MAGNÉTICO

Retornemos agora ao questionamento sobre os efeitos que um polo magnético gera sobre o outro mesmo sem haver qualquer contato entre eles. Para isso, devemos concluir que a fundamentação recai na necessidade de compreender a estrutura microscópica peculiar do ímã. Para tal, a mecânica quântica responsável pelo estudo dos fenômenos em escala atômica trouxe a abordagem necessária para entender diversos acontecimentos a nossa volta.

Embora sabemos que uma corrente elétrica pode produzir um campo magnético, o magnetismo também está relacionado a uma característica essencial do elétron a qual chamamos de spin (traduzido do inglês significa “girar”), uma espécie de momento angular intrínseco. O elétron realiza “um movimento” que se assemelha ao do pião quando gira em torno do seu eixo (z), conforme citado na seção 4 item 4.5. É esse “movimento de rotação” que podemos associar ao spin do elétron, com a diferença de que agora estamos falando de um corpo que não podemos dimensionar em termos de estrutura. Sabe-se que quando se submete o elétron a um campo magnético, ele responde a esse campo, orientando o spin antiparalelamente. Dessa forma, é observado que os elétrons possuem um dipolo magnético intrínseco devido ao spin e antiparalelo a este, haja vista que o dipolo magnético se orienta paralelamente ao campo magnético aplicado. Vemos então que a natureza magnética do spin é facilmente percebida porque campos magnéticos só interagem com campos magnéticos.

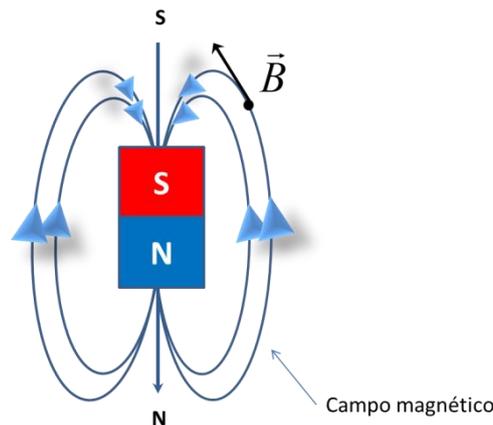
Vimos que enquanto o elétron “rotaciona” em torno do seu eixo, ele produz um campo magnético. Além disso, na medida em que ele translada (ao redor do núcleo atômico), produz um campo magnético

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

muito maior. Vale ressaltar que se tivermos um par de elétrons transladando no mesmo sentido, o campo magnético será mais intenso; caso o contrário, esses campos vão se anular e, desta forma, teríamos um material que não possui propriedades magnéticas. Nessa situação, é importante notar também que a contribuição para o campo magnético devido ao *spin* é sempre nula, pois dois elétrons no mesmo orbital devem ter *spins* contrários, pelo princípio de exclusão de Pauli. (HEWITT, 2002, p.410)

Semelhantemente ao dipolo magnético do *spin*, temos os polos Norte e o Sul de um ímã, do qual resulta em seu redor um campo magnético. Esse mecanismo é parecido ao caso de quando tratamos da situação macroscópica, ou seja, para corpos maiores, como um pedaço de ímã natural ilustrado na Figura 27.

Figura 27. Representação do vetor indução de um campo magnético.



Portanto, conhecer a estrutura atômica dos materiais têm proporcionado aos cientistas reproduzir o mesmo fenômeno criando os ímãs artificiais com as mais variadas atribuições e melhorias, sendo determinante na evolução tecnológica em diversos campos da ciência. Desta forma, tenta-se “traduzir” o comportamento de todos os materiais focando nas propriedades das partículas elementares que os formam.

É baseado na ideia de campos magnéticos que o pião com transmissão eletromagnética consegue manter seu movimento rotacional contínuo. Pois, sabe-se que o pião é a peça principal do experimento e

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

contém em seu interior quatro ímãs com polos magnéticos alternados entre sul e norte para promover à atuação do torque.

2.7 PROPRIEDADE MAGNÉTICA DOS MATERIAIS

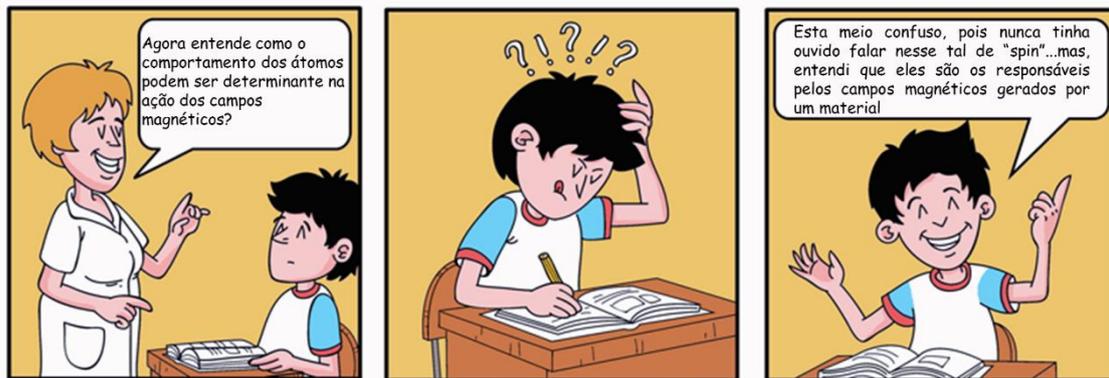


Ilustração – Flávio Coelho

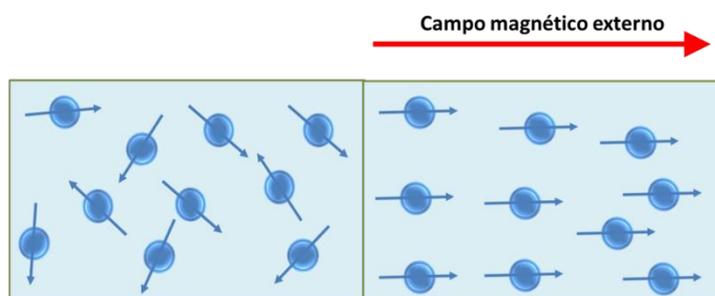
Os efeitos magnéticos dos materiais dependem da estrutura eletrônica que cada elemento possui como explicado anteriormente, o *spin* do elétron, mas para definir e classificar cada material é preciso da aplicação de campos magnéticos externos sobre os átomos e observar como se comportam. Deste modo poderemos classificar os materiais em três tipos: Paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos.

Os materiais paramagnéticos em sua forma fundamental têm em seu interior os *spins* eletrônicos com momentos de dipolo apontando para mais variadas direções, essas substâncias não são estáveis, pois geralmente possuem na camada de valência elétrons desemparelhados por isso apresentam a possibilidade de uma magnetização momentânea. Para a magnetização momentânea ocorrer dependerá de outros fatores como exemplo a temperatura do material e como ele responde a partir da aplicação de um campo magnético externo. Nesse momento o material responderá possuindo a propriedade de atração mesmo que fraca, ao qual podemos visualizar na Figura 28 o comportamento dos *spins* em relação à aplicação de um campo externo. Por isso, temos como exemplos desse tipo de material o alumínio, bário, cálcio, oxigênio, sódio⁹

⁹ [Informação obtida em http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/ Acessado em 21 de janeiro de 2018].

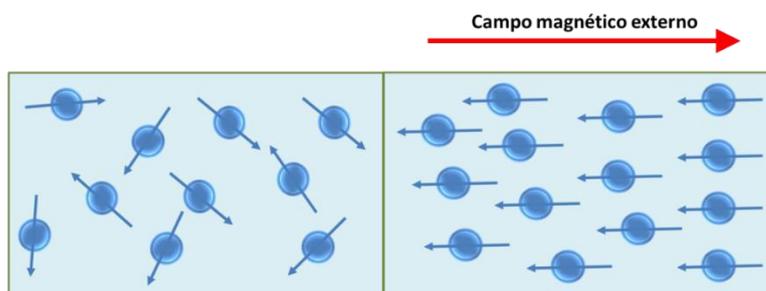
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 28. Comportamento dos elétrons de um material paramagnético antes e depois da aplicação de campo magnético externo.



Nos materiais diamagnéticos encontramos em seu estado fundamental os elétrons estáveis, pois todos estão emparelhados em seus orbitais, logo seus campos irão se anular. Mas em alguns casos existem materiais diamagnéticos que possuirão elétrons desemparelhados, estes irão contribuir com o campo magnético externo que será aplicado e será possível observar que ao invés do material atrair haverá uma repulsão. Esse fenômeno ocorre, pois, um pequeno dipolo eletrônico será induzido pelo campo magnético externo que nesse momento provocará pequenos deslocamentos dos elétrons em suas órbitas, estes por sua vez irão adquirir uma posição contrária a esse campo dando origem ao diamagnetismo, como na Figura 29, a exemplo desses materiais temos, ouro, prata, cobre / bismuto, grafite (de forma mais intensa)¹⁰.

Figura 29. Comportamento dos elétrons de um material diamagnético antes e depois da aplicação de um campo externo.



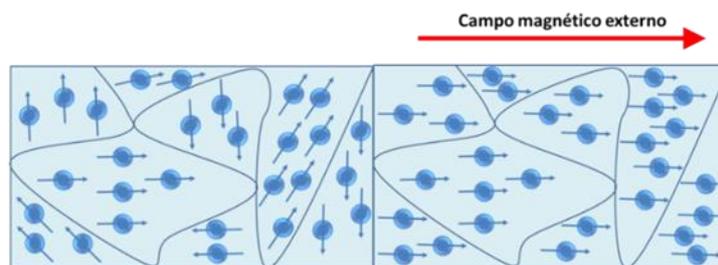
Observa-se que tanto nos materiais paramagnéticos quanto nos diamagnéticos a estrutura eletrônica é fundamental para entendermos como ocorre ou não o magnetismo, analogamente teremos nos materiais ferromagnéticos em que na camada de valência haverá elétrons desemparelhados. Os átomos que irão compor esse tipo de material mostram que os elétrons se agrupam formando o que chamamos de domínios

¹⁰ [Informação obtida em http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/ Acessado em 21 de janeiro de 2018].

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

magnéticos, e em cada região haverá um grupo de elétrons com momentos magnéticos de mesma direção e sentido, esses grupos serão separados por superfícies conhecidas como parede de *Bloch*. Na Figura 30 podemos verificar uma ilustração de como os elétrons se comportam dentro do material ferromagnético.

Figura 30. Comportamento dos elétrons de um material ferromagnético antes e depois da aplicação de um campo externo.



Os materiais ferromagnéticos em seu estado fundamental podem já estarem imantados ou não, pois isto dependerá de como os dipolos em seu interior estão se comportando, para esse tipo de material temos como exemplo ferro, níquel, cobalto¹¹.

O estudo a respeito do magnetismo foi alcançado na tentativa de compreender cada fenômeno associado à informação de atração e repulsão tal como vimos nas aplicações das bússolas e desenvolvimento da tecnologia quando descoberto a questão da atomicidade que deu início a verificação das propriedades dos materiais quanto à imantação. Mesmo que a ação do magnetismo fosse similar à eletricidade ambos os conceitos foram desenvolvidos separadamente durante vários anos. Deste modo, a investigação contínua na área abriu em meados de 1820 com a associação entre os dois fenômenos, isso decorreu através de um simples experimento realizado por Oersted¹² ao qual veremos mais adiante.

Abranger os conceitos das propriedades magnéticas dos materiais é imprescindível na averiguação dos princípios físicos que envolvem o pião com transmissão eletromagnética, pois é verificado que só poderemos obter a rotação contínua, a partir da presença de um material paramagnético, que é o disco¹³. Porém, não há interações fortes entre materiais paramagnéticos com o campo magnético produzido pelo imã quando encontrados estáticos um em relação ao outro, mas se colocarmos ambos em movimento o contrário ocorre, ou seja, apresentará um giro constante.

¹¹ [Informação obtida em http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/ Acessado em 21 de janeiro de 2018].

¹² Hans Christian Oersted nasceu em 14 de agosto de 1777, em Rudkobing, na Dinamarca. Seus estudos foram extremamente importantes porque abriram caminho para o desenvolvimento do eletromagnetismo.

¹³ O disco rígido (HD) de computador é feito de alumínio.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião



Ilustração – Flávio Coelho

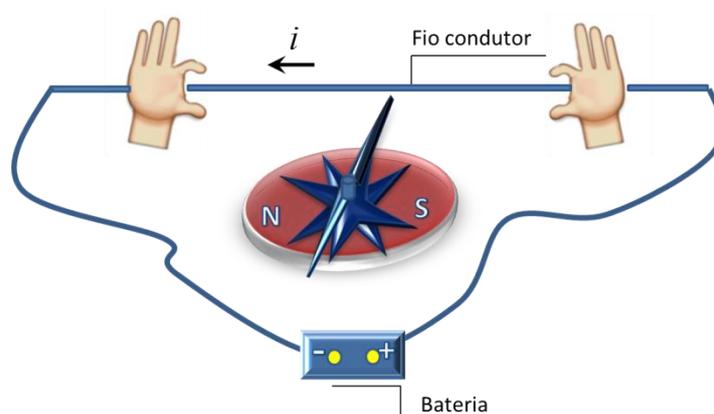
2.8 ELETROMAGNETISMO

Para o estudo do eletromagnetismo é necessário que se faça uma breve história contemplando alguns autores significativos desse contexto. Para isso iremos ressaltar as descobertas em conjunto aos cientistas que buscaram soluções dos porquês que permaneciam como “trancas” ao processo de transformação que nos levaram a urbanização proeminente até as nossas gerações atuais.

Foram relevantes e promissores cada descobrimento em relação à eletricidade e o magnetismo, pois concatenar as ideias e os relacionar foram umas das missões dadas ao século XIX em que atingiu o primeiro desenlace com o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851).

O experimento de Oersted (Figura 31) consistiu em colocar um fio condutor retilíneo conectado a uma bateria e posicionar uma bússola abaixo dela, ao fazer isso ele observou que desligando e ligando a bateria a agulha imantada se deslocava. Logo, concluiu que a corrente elétrica (i) produzia ao seu redor um campo magnético e verificou ainda que o sentido desse campo (\vec{B}) dependeria do sentido da corrente.

Figura 31. Ilustração do experimento de Oersted.



Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

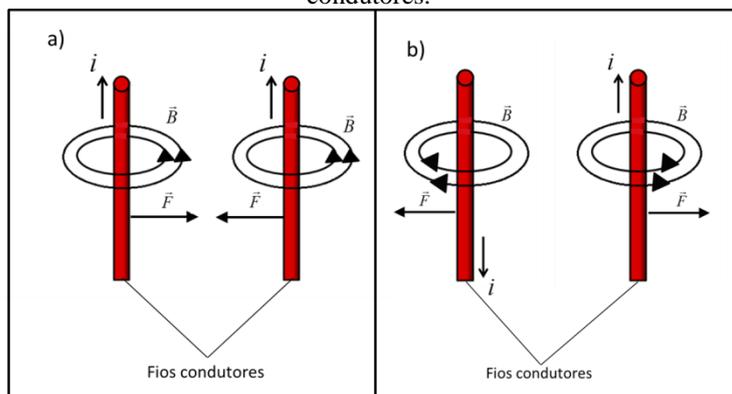
A partir da experiência de Oersted surgiu a primeira conexão entre eletricidade e magnetismo que mais tarde chama a atenção do inglês físico e químico Michael Faraday¹⁴ (1791-1867).

...Faraday é um grande mosaico feito de pequenos pedaços combinados em um quadro único por uma concepção unificadora da natureza... (CRUZ, 2005, p.139)

Esse grande pesquisador faz muitas contribuições na ciência não só no campo de física mais da química, e de forma gradual ele consegue abranger uma compreensão decisiva sobre certos aspectos que os ajudam a formular suas teorias. Uma dessas contribuições é o estudo dos trabalhos e experimentos de todos os assuntos relacionados à eletricidade e o magnetismo nos quais é publicado com a titulação “resumo histórico do eletromagnetismo”.

Durante os estudos Faraday busca refazer o afamado experimento realizado por Oersted verificando a também propriedade que a corrente ao passar por um condutor tem de atrair o ferro. Instigado com essas afirmativas o francês físico, cientista e matemático André-Marie Ampère¹⁵ (1775-1836) testa colocando lado a lado dois fios condutores e percebe que eles se atraem quando os sentidos das correntes são iguais, mas se repelem ao passo que o sentido das correntes se mantêm contrárias (Figura 32), com isso ele define o magnetismo como efeito elétrico secundário.

Figura 32. a) Correntes percorrendo no mesmo sentido nos fios condutores; b) correntes em sentidos contrários em fios condutores.



Essa teoria proposta por Ampère não teve muita aceitação por parte de Faraday, pois havia inconsistência, já que o conhecido era que os opostos se atraem.

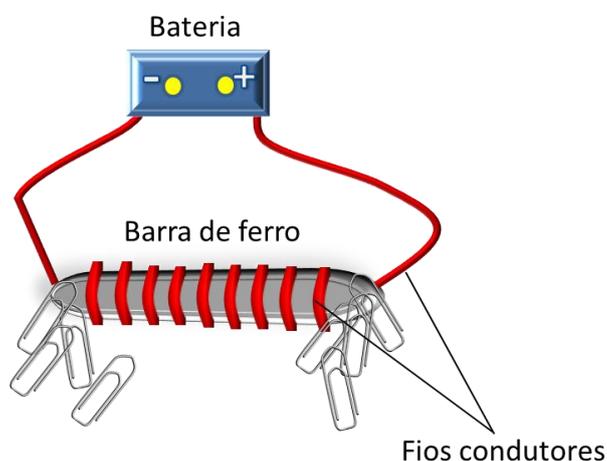
¹⁴ Michael Faraday, físico e químico inglês. Foi o criador do primeiro motor eletromagnético e das leis da eletrólise. É de sua autoria os termos técnicos usados na eletrólise como: eletrodo, eletrólito, íons, entre outros. Seu nome foi imortalizado numa importante unidade de capacidade elétrica, o Farad (F).

¹⁵ André-Marie Ampère, um importante físico, cientista e matemático francês. Em sua homenagem, a unidade de intensidade da corrente elétrica recebeu seu nome - o ampere(A). Suas pesquisas sobre os fenômenos elétricos e magnéticos foram apresentadas em conjunto na obra que o imortalizou: Teoria dos Fenômenos Eletrodinâmicos, inteiramente deduzida da experiência, publicada em 1826.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Porém, com base na teoria desenvolvida por Ampère acerca das forças de atração e repulsão entre corpos carregados acreditava-se que havia uma analogia entre ímã e eletricidade, e supõe que os ímãs possuem internamente pequenas correntes elétricas circulares. Com base nisso o francês físico, astrônomo Dominique François Jean Arago¹⁶ (1786-1853) enrolou uma barra de ferro com fios condutores de eletricidade e percebeu que o ferro adquiriu propriedades magnéticas, parte daí o primeiro eletroímã descoberto em 1822, representado na Figura 33.

Figura 33. Ilustração demonstrativa do experimento de Arago.

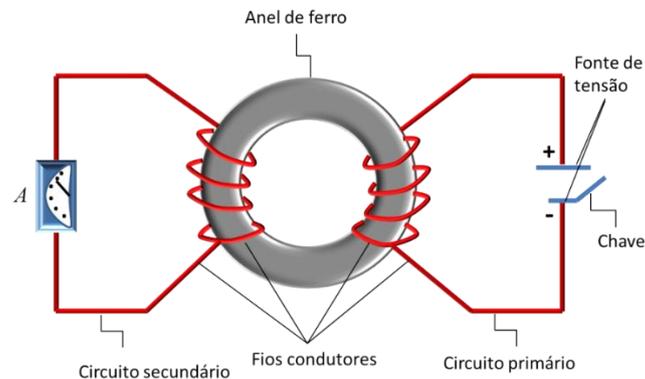


Faraday se preocupou em fazer o contrário de Arago e buscou produzir corrente elétrica a partir do magnetismo, e propôs o experimento que consistia em um anel enrolado em dois fios ambos os lados, um dos lados possuía medidor de corrente o amperímetro (A) e do outro uma bateria (fonte de tensão) responsável pela geração da energia. Quando ligava e desligava a chave da bateria era possível fornecer corrente ao circuito e um pulso de energia era marcado no medidor (A) do outro circuito, sendo que este não era o que estava ligado à bateria, ou seja, a única grandeza física que varia quando a corrente é desligada ou ligada é o campo magnético dentro do anel de ferro, ao qual é observado o experimento na Figura 34.

¹⁶ Dominique François Jean Arago, físico, astrônomo, político e abolicionista francês nascido em Estagel, cujas pesquisas no campo da física encerraram a discussão sobre a natureza da luz, confirmando a teoria ondulatória e descartando a antiga hipótese corpuscular. Descobriu o princípio do magnetismo de rotação (1824).

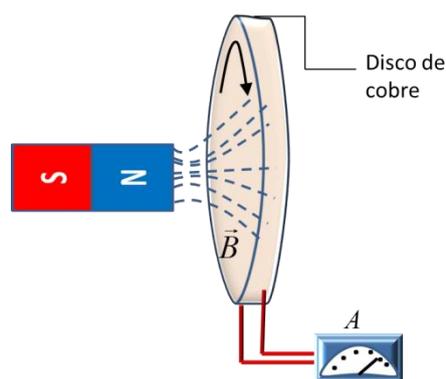
Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 34. Experimento ilustrativo de Faraday.



Com esse experimento Faraday consegue demonstrar que a variação do campo magnético induzia a formação de correntes elétricas no circuito secundário e conforme a fundamentação dessa teoria o campo magnético que variar continuamente ao decorrer do tempo pode criar uma corrente que perdura. A partir de então Faraday realizou mais experimentos com o intuito de comprovar suas expectativas acerca do eletromagnetismo. Desse modo ele insere um condutor (disco de cobre) perpendicular a um campo magnético e percebe que ao movê-lo as cargas “cortariam” o campo constante produzido pelo ímã, resultando na geração de corrente elétrica no sistema com isso ele fundamenta a teoria de indução (Figura 35). (CRUZ, 2005, p.125)

Figura 35. Ilustração do experimento de Faraday sobre corrente de indução.



Em que \vec{B} é o vetor indução magnética e A é o aparelho (Amperímetro) que mede corrente elétrica, ambos foram explicados nos capítulos anteriores.

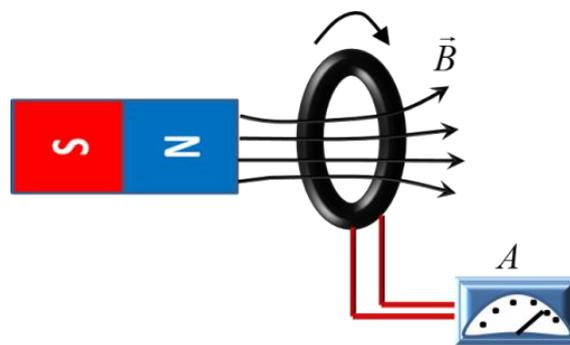
É observável que nesse experimento Faraday admite que o campo magnético seja constante e o que move é o condutor, por isso é possível produzir corrente elétrica. Porém, o mesmo efeito é verificado se o condutor (espira) estiver parado e o campo magnético estiver variando, ou seja, deslocando o ímã em direção

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

à espira, o amperímetro registrará a corrente e ao afastar o imã, a corrente também irá aparecer, mas no sentido contrário da anterior.

Fica constatado a partir dessa experiência mostrada na Figura 36, que se o imã estiver estático em relação à espira não haverá corrente induzida, do contrário quanto mais rápido for à movimentação do imã maior será a corrente.

Figura 36. Experiência de Faraday, as linhas de campo magnético do imã geram uma corrente induzida na espira.



Mediante a esses fenômenos de alternância no sentido da corrente e a intensidade gerada que é proporcional à quantidade de linhas produzidas (fluxo magnético que atravessa uma determinada superfície de área) pelo campo magnético permitiu ser elaborada a Lei de Faraday que é expressa por:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Essa expressão demonstra que a força eletromotriz induzida em uma espira ε com unidade de medida dada em volts (V) é consequência da taxa de variação do fluxo magnético $\Delta\Phi$ medido em weber (Wb) em relação ao tempo gasto Δt segundos (s) para realizar essa variação. O sinal negativo presente na equação é explicado pela Lei de Lenz¹⁷ – a polaridade da força eletromotriz induzida tende a produzir uma corrente que cria um fluxo magnético para se opor a variação do fluxo que a gerou.

E o fluxo magnético é dado por:

$$\Delta\Phi = B.A \quad (2.4)$$

em que a A é a área atravessada pelo fluxo do campo magnético \vec{B} , cujo módulo é B (BLAIDI, 2010, p277).

Mediante aos experimentos e estudos realizados por Faraday com a colaboração dos demais cientistas, pôde-se estabelecer que as linhas de forças fossem as causas dos fenômenos eletromagnéticos.

¹⁷ Lei proposta pelo físico russo Heinrich Lenz em 1833.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Vale ressaltar novamente que Faraday além de físico era químico, o que proporcionou a levantar questionamentos relacionando a eletricidade, magnetismo e matéria os quais foram influenciadores nas obras de Maxwell.

O escocês, físico e matemático James Clerk Maxwell¹⁸ (1831-1879) apresentou uma das obras mais significantes no tema eletromagnetismo formulando as conhecidas equações de Maxwell. São grandiosas as contribuições que essas equações trouxeram para o panorama acadêmico, mas chegar até elas não foi uma tarefa fácil, até mesmo o próprio Maxwell encontrou diversas vezes dificuldades em compreender suas análises, para isso foi gradual o processo de construção do seu conhecimento tendo forte ligação à própria construção da sua identidade ao longo da vida.

Durante o crescimento de Maxwell alguns acontecimentos foram relevantes no desenvolvimento da formação da sua cognição¹⁹, o próprio estímulo à busca do conhecimento surgiu a partir da adesão de brinquedos científicos como o prisma, imã e entre outros. Pequenos atos como fazer tricô possibilitaram Maxwell desenvolver interesse nos padrões geométricos e pelas cores. (CRUZ, 2005, p. 157).

Doravante Maxwell se inspirou em encontrar modelos mecânicos para explica-los matematicamente foi utilizando desses modelos rudimentares que desenvolveu grandes teorias, uma delas é a cerca das percepções das cores usando apenas um pião.

“A matematização é fundamental para dar base a uma Ciência da natureza. Através das equações podem se estabelecer relações precisas entre as grandezas e as propriedades. Isso possibilita quantificar e interpretar os fenômenos...”. (CRUZ, 2005, p. 182)

Foram por motivos de faltas de interpretações matemáticas que as teorias de Faraday acerca da eletricidade e magnetismo não foram totalmente aceitas pela comunidade científica deixando um trabalho aberto que mais tarde seria completado por Maxwell. Para ajudar a matematizar as lacunas deixadas nos trabalhos de Faraday, Maxwell elaborou um modelo “mental” que serviu de base para seus cálculos teóricos resultando nas famosas equações citadas anteriormente.

Muito sagaz Maxwell conseguiu deduzir que havia uma conexão entre luz e eletromagnetismo quando constatou que a oscilação de uma carga elétrica produz um campo magnético e ao tentar calcular a velocidade de propagação desse campo, obteve o valor aproximado de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, que é a velocidade da luz

¹⁸ James Clerk Maxwell físico e matemático escocês, estabeleceu a relação entre eletricidade, magnetismo e luz. Suas equações foram a chave para a construção do primeiro transmissor e receptor de rádio, para compreensão do radar e das micro-ondas.

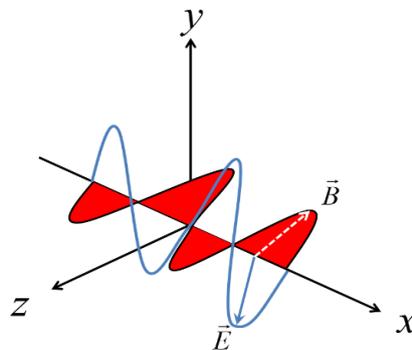
¹⁹ Área do conhecimento que se propõe ao estudo da estrutura e funcionamento do pensamento.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

já calculada experimentalmente por Fizeau²⁰ e Foucault²¹. Assim, afirmou que a luz nada mais era do que uma radiação eletromagnética, além disso, afirmou que se as cargas elétricas podiam oscilar com qualquer velocidade dando origem a radiações de todos os comprimentos de onda visíveis e invisíveis. (OBERZINER, 2008, p11)

A partir da lógica proposta por Maxwell sobre as linhas de forças produzidas por esses campos, tornou-se viável o estudo da eletrodinâmica, segundo o qual a energia eletromagnética consiste em campos elétricos e magnéticos oscilantes em ângulos retos uns dos outros e na direção do movimento como é observado na Figura 37.

Figura 37. Ilustração de uma onda eletromagnética.



Com a formulação dessas teorias tornou-se possível à formulação das equações de Maxwell verificando a comprovação que campos elétricos fornecem energia para o campo magnético e vice-versa. Durante nosso experimento podemos relacionar claramente as leis de Faraday e de Lenz, pois quando colocamos o pião acoplado com o ímã em movimento relativo com o disco, os campos magnéticos formados pelo quadripolo, ao oscilar fornecerá a força eletromotriz induzida, que por vez tende a produzir uma corrente que cria um fluxo magnético para se opor a variação do fluxo que a gerou.

²⁰ Armand Hippolyte Louis Fizeau, nasceu em Paris, a 23 de setembro de 1819, e, faleceu em Venteuil, a 18 de setembro de 1896. Hippolyte Fizeau foi um físico francês. Em 1849 desenvolveu com sucesso um mecanismo bastante simples que permite medir a velocidade da luz, a chamada Roda de Fizeau.

²¹ Jean Bernard Foucault, nasceu a 18 de setembro de 1819 foi um físico francês, que se destacou na história da ciência, por ter demonstrado o movimento de rotação da Terra. Fez também uma primeira medição da velocidade da luz, e inventou o giroscópio.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

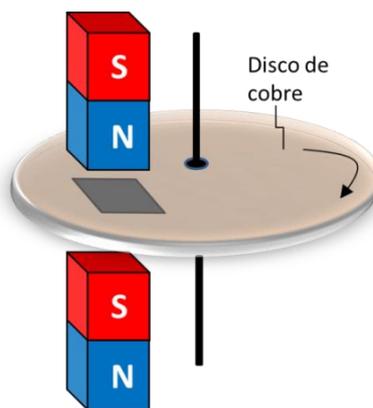


Ilustração – Flávio Coelho

2.9 CORRENTES DE FOUCAULT

As investigações sobre as reações promovidas pelo magnetismo e a eletricidade foram vastas, e entre os pesquisadores como Oersted e Ampère que alcançaram resultados notáveis, ainda pode ser incluído o físico francês Jean Bernard Leon Foucault (1819 -1868) que chegou a descobrir as “correntes parasitas” ou correntes de Foucault como é também conhecida. O experimento usado para verificar as correntes parasitas consiste em pôr uma placa de metal girando entre dois ímãs como observado na Figura 38.

Figura 38. Disco de cobre rotacionando entre dois ímãs produzindo as correntes de Foucault.



Sabe-se que os ímãs como apresentado no item 2.4 produz campo magnético e esse campo ao variar próximo a um fio condutor induz corrente elétrica. A partir disso Foucault observou que correntes também poderiam ser produzidas em condutores maciços, desse modo podemos observar na Figura 38 que foi colocado um disco de cobre para rotacionar entre dois ímãs de polos opostos com campos uniformes, ao fazer isso à área que estiver passando pelo campo magnético provocará a variação do mesmo resultando nas correntes de Foucault que percorrerão círculos fechados dentro do disco e também induziram um campo magnético fazendo oposição ao campo que as gerou de acordo com a Lei de Lenz, devido a isto teremos a

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

redução de rotações do disco que sem a presença do ímã estaria girando sem qualquer resistência. (JUNIOR, 1993, p. 411).

É diante desse pequeno mecanismo que atualmente essas correntes têm uma ampla aplicabilidade na tecnologia, sejam algumas delas no aquecimento de fornos de indução responsáveis pela fundição de metais ou em freios eletromagnéticos de trens e metrô, até mesmo para amortecer oscilações em alguns aparelhos do tipo balanças de precisão, medidores de corrente, tensão e etc.

No trabalho do pião com transmissão eletromagnética, as correntes de Foucault serão de fundamental importância. Porém, há uma diferença dela para a descrita nesta seção, pois a presença do ímã está em apenas um lado do disco e como havia mencionado no fim do item 2.6, ele estará inserido dentro do pião (quadripolo), no momento que o campo magnético variar no decorrer da rotação, induzirá as correntes de Foucault que circularão pela superfície do disco paramagnético. A representação adequada das linhas de campo atuantes no experimento, será melhor ilustrada no item 3.2.



Ilustração – Flávio Coelho

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

CONHECENDO O EXPERIMENTO: PIÃO COM TRANSMISSÃO ELETROMAGNÉTICA

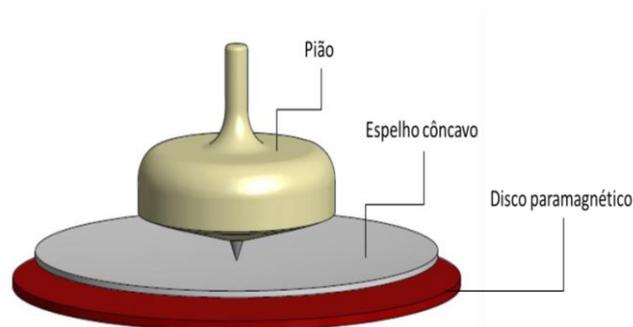
O Pião com transmissão eletromagnética é um experimento patenteado pelo pesquisador Antônio José Silva Oliveira professor associado III da Universidade Federal do Maranhão. O experimento foi desenvolvido com a finalidade de fabricação em larga escala com o intuito de abranger a rede de ensino básica e superior, sendo de grande apoio na construção do conhecimento, pois contempla vários assuntos da física que estende da clássica a moderna.

Para dar início a fenomenologia do experimento do pião por transmissão eletromagnética é necessário resgatar os conhecimentos prévios adquiridos pelos alunos durante o primeiro ano do ensino médio e fazer com que esses conteúdos adquiram visibilidade e consistência teórica para em diante trabalhar os conteúdos específicos vistos durante o terceiro ano e fazer assimilações com o aparato experimental.

Nesse experimento podemos materializar as “abstrações” vistas durante as aulas em que se conceitua os movimentos circulares e todos os parâmetros que neles estão envolvidos. Por conseguinte, os objetivos principais são mostrar a importância das propriedades magnéticas dos materiais trazendo as percepções de forças eletromagnéticas que estão presentes no funcionamento do sistema viabilizando a transmissão de movimento usando a ação do campo.

Com isso é permitido levar o alunado a refletir sobre outros materiais alternativos que produzem efeitos que possam substituir o sistema de acoplamento mecânico como as polias, engrenagens e correias. Visto que ao conhecer a ideia de campo e como ele é capaz de agir diante das propriedades dos materiais é que tem se empenhado cada vez mais em metodologias que propaguem a ciência de forma lúdica e interativa. Na figura 39 observamos o modelo esquemático do experimento.

Figura 39. Ilustração simplificada do modelo experimental do pião.



Fonte: Ilustrador Carlos César Costa (2017)

O experimento consiste num drive motor controlado por um TWM alimentado por uma fonte DC e um pulso, nele é acoplado um disco com propriedade paramagnética com o objetivo de girar. Com isso é

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

observado na Figura 41 que acima do disco existe um espelho côncavo para diminuir o máximo de atrito e junto a ele um pião que parte na interna comporta um ímã.

O objetivo desse experimento é colocar o pião para girar em cima da superfície do espelho e observar que o giro com o passar do tempo é contínuo. Com base nisso é compreendido que mesmo sem contato direto do disco com o pião é constatado que há interação entre eles, que denominamos de força de campo oriunda do magnetismo. O curioso é que esse movimento não deveria ocorrer com tanta facilidade, pois fisicamente não existem interações fortes entre um material paramagnético (item 2.7) e um ímã, o que leva a estabelecer outras teorias, se colocarmos em um movimento relativo.

Para conseguirmos a explicação plausível ao fenômeno foi necessário o estudo que trata sobre as leis de Faraday e Lenz ambas fazem parte da ementa do terceiro ano do ensino médio. A lei de Faraday explica que para obter a força eletromotriz é preciso haja variação no fluxo magnético (item 2.8). O ímã do experimento produz o campo magnético e o disco preso ao motor quando gira cruza a região do campo ocasionando a variação desse fluxo. Nesse momento a área superficial do disco surge correntes elétricas induzidas chamadas de correntes de Foucault (item 2.9).

Entre tanto, temos que na lei de Lenz a corrente que surgiu circulará provocando uma variação contrária à corrente que a produziu que pelo experimento seria o fluxo magnético. Desta maneira à medida que o disco girar haverá atração ou repulsão localizada entre o pião e o disco fornecendo um torque contínuo devido a corrente de Foucault.

3.1 CONHECENDO O DISPOSITIVO DO PIÃO COM TRANSMISSÃO ELETROMAGNÉTICA

Após observar o funcionamento do pião com transmissão eletromagnética é perceptível que enquanto não cessar a corrente elétrica ele continuará em um giro interrompível (inercia rotacional) a menos que receba influência de forças externas. É por esse motivo que será apresentado cada parte do pião experimental, buscando através das imagens uma visão mais detalhada de cada fenômeno associado, para assim contextualizar com os capítulos anteriores e entender o processo físico pelo qual obtemos um giro “eterno”.

a) A BASE

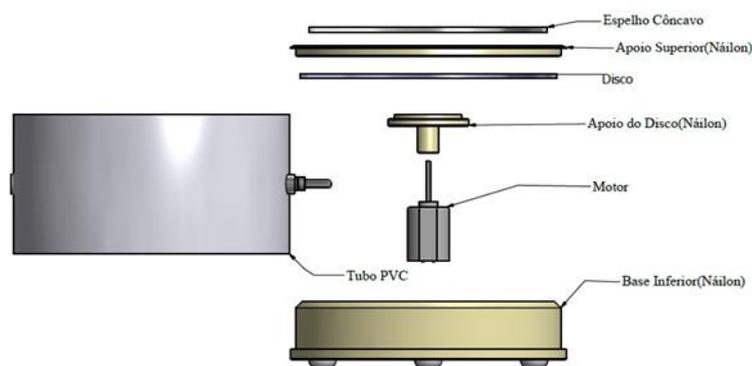
A base (Figura 40) é a parte do experimento em que ocorrerá todo movimento do pião, e para sua confecção são usados materiais bem simples como o PVC que pode ser facilmente encontrado em lojas de matérias de construção, o Náilon que pode ser moldado de acordo com as dimensões desejadas no laboratório de física, o drive motor encontrado em qualquer loja de eletrônica juntamente com a fonte que são de baixo custo, o disco pode ser de qualquer material que seja paramagnético como um simples CD de música, e o

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

espelho por ser uma superfície que oferece o mínimo de atrito e deve ser côncavo ou delimitado em suas laterais para que o pião não saia rodopiando do aparato experimental.

Nos elementos da base teremos uma funcionalidade específica para dispositivo contido, a exemplo a fonte DC que tem por objetivo transformar à corrente alternada em corrente contínua. A fonte fornecerá a energia necessária para que o drive motor possa rotacionar o disco paramagnético que está localizado abaixo do apoio superior, e acima fica a superfície do espelho côncavo.

Figura 40. Detalhamento de cada elemento que compõe a base.

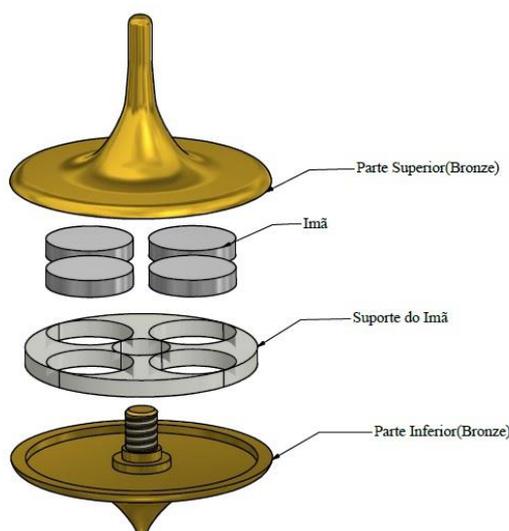


b) O PIÃO

O pião com transmissão eletromagnética não é mais um pião comum como vimos na mecânica, para que execute o rodopio ele precisará de uma disposição interna mais elaborada. Com isso será constituído de quatro polos de ímãs alternados entre norte e sul, sua estrutura externa pode ser construída de qualquer material contanto que possua um eixo de rotação (Figura 41). Caso não consiga rearranjar os polos no pião, existe alternativa para obter o mesmo fenômeno, basta usar ímãs de cabeçote de vídeo cassete. Na Figura 41 pode-se visualizar todas as partes pertencentes às estruturas externas e internas e o modo como estão organizados dentro do pião.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Figura 41. Ilustração da estrutura do pião com transmissão eletromagnética.



É importante salientar que há várias maneiras de adquirir o protótipo tanto na montagem da base, como também do pião, basta seguir as teorias da física e usar a imaginação para buscar de materiais que obedeçam às mesmas propriedades. Mediante isso devemos conhecer como ocorre o funcionamento de cada recurso da estrutura do experimento adotada para esse trabalho.

3.2 COMO FUNCIONA?

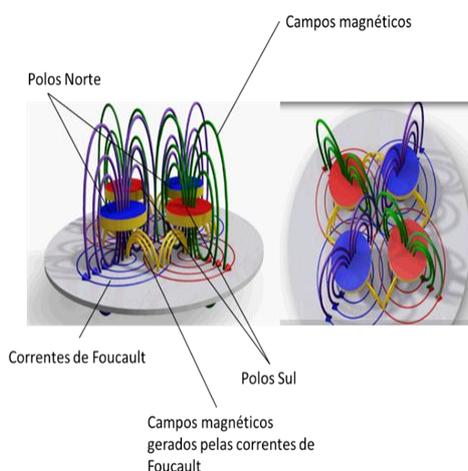
Ao ligar a fonte que está conectada a base percebemos que o pião rodopia incessantemente, ou seja, há realização de movimento mecânico, mas não existe nenhum tipo de ligação direta entre o pião e a base, por isso devemos trabalhar com a concepção de que existam forças no sistema que podem agir a distância o que nos remete a ideia da ação de campo uma vez que temos a presença de eletricidade e magnetismo no experimento.

Porém, lembramos de acordo com o item 2.7 (materiais paramagnéticos) que não há interações fortes de atração e repulsão entre o material magnético com o paramagnético, isso demonstra que há uma grande relação no fato de ambos estarem se movendo um em relação ao outro. Por isso, à medida que o ímã do pião girar provocará a variação do fluxo magnético ao qual será interceptado pelo material condutor paramagnético promovendo a indução de correntes na região superficial (perpendiculares ao fluxo magnético) que são conhecidas como Foucault, essa por sua vez também produzirá um campo magnético, mas com menos intensidade da qual a gerou de acordo com o item 2.8.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Nota-se que há quatro (4) ímãs dispostos intercalados em relação aos polos, o que permite a ação dos campos magnéticos atuarem em pares de forças (binário de forças) gerando as correntes circulares de Foucault que será determinante na continuidade do torque. Podemos visualizar as linhas de campo produzidas em todos os elementos do sistema de acordo com a Figura 42.

Figura 42. Demonstração ilustrativa das linhas de força do campo magnético e da Corrente de Foucault



Por tanto essas concepções de campos elétricos e magnéticos aplicados ao experimento tornou-se possível à ação de maiores torques em relação ao pião, resultando na estabilidade do centro de massa e atingindo uma boa eficiência energética do sistema. Por isso, ao promover o desenvolvimento teórico e experimental de tais artefatos poderemos continuar a utilizar a ideia de campo magnético como forma de acoplamento mecânico, permitindo contribuir de forma significativa nas diversas aplicações tecnológicas.



Ilustração – Flávio Coelho

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL NA ESCOLA

Aula 1 (2 horários de 1h e 30min)

Sugestão para o professor:

Para propiciar o momento de interação entre os alunos da classe, pede-se que o professor formem equipes, as quais irão desenvolver as atividades até o fim da aplicação da sequência didática.

Nesta aula o professor deve distribuir um pião de brinquedo (Figura 43), com a finalidade de sondar os conhecimentos prévios sobre o movimento do pião, e preencher a tabela com as resposta de cada grupo.

Figura 43. Mini pião de plástico



Quadro 1. Conhecimento prévio dos grupos proposto sobre o pião.

Como o pião não cai? Porque ele fica equilibrado? Porque ele fica “balançando”?	
GrupoA	
GrupoB	
GrupoC	

A partir das respostas da tabela, será permitido ao professor fazer a elaboração do material para aula em *data show* que explique e exemplifique os conceitos relacionados à física do pião, com base no texto proposto no roteiro didático, demonstrando através de imagens e vídeos, fatos do cotidiano que se assemelham a mesma dinâmica.

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Aula 2 (2 horários de 1h e 30min)

Sugestão para o professor:

O professor pode elaborar uma aula expositiva e dialogada utilizando o recurso de data show, com base no roteiro didático, contemplando os assuntos de **centro massa, movimento rotacional e inércia**. Em paralelo a aula expositiva, pode ser feita a contextualização com os fatos do dia a dia, e sempre os redirecionar em cada tópico ao próprio exemplo do pião, e outros brinquedos que trazem os mesmos princípios físicos.

Neste encontro o professor pode sugerir aos alunos que se familiarizem com os próximos conteúdos, assistindo o vídeos do *youtube* (<https://www.youtube.com/watch?v=l5VgOdgptRg&t=21s>) para exemplificar a inércia rotacional e direcionar para a introdução do próximo item.

Aula 3 (2 horários de 1h e 30min)

Sugestão para o professor:

Destina-se esta aula, para o estudo de **torque e momento angular**, trazendo exemplos que estão no próprio ambiente da sala, e o pião, material pedagógico distribuído no primeiro dia do encontro. Pode-se utilizar como recurso auxiliar o vídeo do *youtube* (<https://www.youtube.com/watch?v=fVvh062JAwk>) com objetivo de mostrar a analogia existente do pião com o movimento da Terra, neste vídeo é possível exemplificar o movimento de precessão.

Com base em todos os conteúdos vistos sobre a mecânica rotacional do pião, os alunos irão colocar em prática seus conhecimentos através da confecção do seu próprio experimento “o *Beyblade*” visto na Figura 44.

Figura 44. *Beyblade* confeccionado com material alternativo



Aula 4 (2 horários de 1h e 30min)

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Sugestão para o professor:

Com a confecção do brinquedo *beyblade* feito por cada equipe, é possível propor que façam uma guerra de *beyblade* entre os grupos, objetivando que revejam os movimentos rotacionais através dos conhecimentos físicos estudados durante o Capítulo 1 do roteiro didático, para isto dispomos de outro questionário (Quadro 2) com fins de identificar se houve aprendizado.

Quadro 2. Análise física dos grupos em relação a guerra do beyblade.

Brincando com o beyblade Através das explicações físicas como é possível vencer na batalha do beyblade?	
GrupoA	
GrupoB	
GrupoC	

Com as respostas obtidas no Quadro 2, o professor pode fazer um comparativo com o Quadro 1, e observar como os alunos conseguiram reconstruir os conceitos físicos empregados na mecânica rotacional do pião.

No Quadro 3, o professor pode investigar a eficiência da metodologia de ensino aplicada, contatando o aprendizado através de outras indagações, com parâmetros diferentes envolvendo o objeto experimental do *beyblade*

Quadro 3. Indagações sobre o *beyblade*, usando parâmetros diferentes para a análise do movimento.

Brincando com o <i>beyblade</i> Se lançarmos a <i>beyblade</i> no espaço fora da Terra ele apresentaria o mesmo movimento se fosse lançado propriamente na Terra?	
GrupoA	
GrupoB	
GrupoC	

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Aula 5 (1 horário 55 min)

Sugestão para o professor:

O professor pode apresentar aos alunos, o experimento do “pião com transmissão eletromagnética” (Figura 45), e os questionar, o porque que o pião apresentar um giro “eterno”, como uma forma de obter os conhecimentos prévios (Quadro 4) dos alunos em relação ao início dos assuntos que envolvem a eletricidade e o magnetismo.

Figura 45. Experimento do Pião com transmissão eletromagnética.



Quadro 4. Respostas dos conhecimentos prévios dos grupos em relação ao pião com transmissão eletromagnética.

Porque o pião apresenta um giro “eterno”?	
GrupoA	
GrupoB	
GrupoC	

Aula 6 (2 horários de 1h e 30min)

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Sugestão para o professor:

O professor pode trabalhar os assuntos de **eletricidade, campo elétrico e corrente elétrica** que estão no roteiro didático, fazendo associações ao experimento do pião com transmissão eletromagnética, para que os alunos consigam observar na prática os fenômenos físicos que abrangem estudados em sala de aula. E para testar a aprendizagem, é recomendado que o professor aplique um *Quiz*, que pode ser obtido através da plataforma online *socrative*.

O *socrative* é uma ferramenta que possibilita ao professor trabalhar com os alunos em tempo real, com o auxílio da internet. É através dele que poderá se obter um *Feedback* dos grupos. Essa ferramenta pode ser facilmente acessada por qualquer professor através do link <https://www.socrative.com/>. Após entrar na página basta fazer um cadastro e começar a utilizar. Com a plataforma do *socrative*, foi permitido elaborar um questionário com 13 perguntas a respeito da eletricidade, objetivas e subjetivas, geradas em PDF pelo site, as quais estão dispostas no Apêndice B.

Aula 7 (2 horários de 1h e 30min)

Sugestão para o professor:

O professor pode continuar o estudo dos assuntos do 3º ano do Ensino médio, usando a demonstração do experimento do “pião com transmissão eletromagnética”, pois o mesmo abrange os assuntos de **magnetismo, o átomo, campo magnético, propriedade magnética dos materiais e eletromagnetismo**, e estão presentes no roteiro didático, mostrando a relação que todos têm com o experimento.

E para testar se houve a aprendizagem dos alunos referente a física que envolve o pião com transmissão eletromagnética, pede-se que respondam o seguinte questionamento do Quadro 5.

Quadro 5. Respostas da análise do movimento do pião com transmissão eletromagnética.

Se cessar a corrente elétrica o pião ainda permanecerá em movimento?	
GrupoA	
GrupoB	
GrupoC	

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Recomenda-se ao professor que utilize do experimento do pião com transmissão eletromagnética, para medir a velocidade de rotação do pião, pois o mesmo, por não sofrer a influência de fatores externos que possam interromper sua rotação, facilita aos alunos fazerem suas medições do que aprenderam na mecânica rotacional. Por isso, pede-se que os alunos utilizem o equipamento do tacômetro digital (Figura 46) para fazer suas próprias análises do movimento aplicando fórmulas simples como da velocidade preenchendo o Quadro 6.

Quadro 6. Análise dos resultados obtidos com o uso do tacômetro.

Registro da velocidade angular do pião com transmissão eletromagnética	
GrupoA	
GrupoB	
GrupoC	

Figura 46. Instrumento utilizado para medir a frequência de rotação



Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

APÊNDICE B


by MasteryConnect

2ª fase Score: _____

1. A observação dos primeiros fenômenos acerca da eletricidade ocorreram em qual região? e através de que?

- A Na Inglaterra, através da pesquisa incessante com materiais.
- B Na Inglaterra, através da descoberta da estrutura atômica.
- C Na Grécia, ao esfregar uma resina fóssil conhecida como âmbar (elektron em grego) em um pedaço de lã.
- D Na Grécia, através da eletrização por atrito da magnetita.
- E Na Inglaterra, ao esfregar uma resina fóssil em um pedaço de lã.

2. A observação dos primeiros fenômenos acerca da eletricidade ocorreram em qual região? e através de que?

- A Na Inglaterra, através da pesquisa incessante com materiais.
- B Na Inglaterra, através da descoberta da estrutura atômica.
- C Na Grécia, ao esfregar uma resina fóssil conhecida como âmbar (elektron em grego) em um pedaço de lã.
- D Na Grécia, através da eletrização por atrito da magnetita.
- E Na Inglaterra, ao esfregar uma resina fóssil em um pedaço de lã.

3. Quem fundou a ciência da eletricidade?

- A Thales de Mileto
- B Charles Augustin de Coulomb
- C Hans Christian Ørsted
- D William Gilbert
- E Joseph John Thomson

Page 1 of 4

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

4. A física precisou dividir a eletricidade para estudá-la, pois percebeu que o comportamento das cargas poderiam produzir efeitos diferentes. Como ficou essa divisão? E como essas cargas se comportam?

- (A) Eletrostática- estuda o comportamento das cargas em movimento (corrente elétrica, circuitos elétricos com capacitores e resistores);
Eletrodinâmica- estuda o comportamento das cargas elétricas em repouso (eletrização, força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico);
Electromagnetismo- Estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético.
- (B) Eletrostática- estuda o comportamento das cargas em movimento (corrente elétrica, circuitos elétricos com capacitores e resistores);
Eletrodinâmica- Estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético;
Electromagnetismo-estuda o comportamento das cargas elétricas em repouso (eletrização, força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico.
- (C) Eletrostática- Estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético;
Eletrodinâmica- estuda o comportamento das cargas em movimento (corrente elétrica, circuitos elétricos com capacitores e resistores);
Electromagnetismo- estuda o comportamento das cargas elétricas em repouso (eletrização, força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico.
- (D) Eletrostática- estuda o comportamento das cargas elétricas em repouso (eletrização, força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico);
Eletrodinâmica- Estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético;
Electromagnetismo- estuda o comportamento das cargas em movimento (corrente elétrica, circuitos elétricos com capacitores e resistores).
- (E) Eletrostática- estuda o comportamento das cargas elétricas em repouso (eletrização, força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico);
Eletrodinâmica- estuda o comportamento das cargas em movimento (corrente elétrica, circuitos elétricos com capacitores e resistores);
Electromagnetismo- Estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético.

5. Todo material é constituído de átomos, e para que um corpo se torne carregado eletricamente é preciso que haja alguma alteração em sua configuração eletrônica. Com base nisso, é correto afirmar que um corpo está carregado positivamente quando há maior quantidade de elétrons.

- (A) True
(B) False

6. Defenda em poucas frases "a importância da eletricidade para atualidade"

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

10. Quais são os elementos fundamentais para gerar corrente elétrica?

- A Para se obter uma corrente elétrica é necessário que haja uma igualdade de potencial entre os dois polos, promovendo o deslocamento ordenado de cargas ao longo de meio condutor. É através das cargas que são criadas no interior do material, que é possível exercer uma força sobre os elétrons de condução que os faz se mover preferencialmente em uma certa direção e, portanto, produzir uma corrente.
- B Para se obter uma corrente elétrica é necessário que haja uma diferença de potencial entre os dois polos, promovendo o deslocamento ordenado de cargas ao longo de meio condutor. É através do campo elétrico que são criados no interior do material, que é possível exercer uma força sobre os elétrons de condução que os faz se mover preferencialmente em uma certa direção e, portanto, produzir uma corrente.
- C Para se obter uma corrente elétrica é necessário que haja dois polos negativos, promovendo o deslocamento ordenado de cargas ao longo de meio condutor, pois são cargas do elétron. É através do campo elétrico que são criados no interior do material, que é possível exercer uma força sobre os elétrons de condução que os faz se mover preferencialmente em uma certa direção e, portanto, produzir uma corrente.
- D Para se obter uma corrente elétrica é necessário que haja uma diferença de potencial entre os dois polos, promovendo o deslocamento ordenado de cargas ao longo de meio condutor. É através da criação do campo elétrico que são criados no interior do material, que é possível exercer uma força sobre os elétrons de condução que os faz se mover preferencialmente em uma certa direção e, portanto, produzir uma corrente.
- E Para se obter uma corrente elétrica é necessário que haja o movimento desordenado de elétrons em um condutor, promovendo o deslocamento de cargas. É através do campo elétrico que são criados no interior do material, que se torna impossível exercer uma força sobre os elétrons de condução e essa resistência é responsável pela geração de corrente.

11. Explique como se comporta uma corrente que se move no sentido convencional e real?

12. A corrente elétrica depende da quantidade de carga que atravessa um fio condutor em um determinado intervalo de tempo, isso explica que quanto maior a quantidade de carga maior será a intensidade da corrente elétrica.

- A True
- B False

13. O fluxo de corrente elétrica produz um campo magnético.

- A True
- B False

Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

REFERÊNCIAS

BLAIDI, Sant'Anna **Conexões com a Física** [et al.]. —1. ed. — São Paulo: Moderna, 2010. p.17, 210 e 277.

CASCUDO, Câmara. **Dicionário do folclore brasileiro**. 11ª ed. São Paulo: Global, 2001.

CRUZ, Frederico Firmino de Souza. F.; Faraday e Maxwell: **Luz sobre os campos**.1. ed. São Paulo: Odysseus Editora Ltda., 2005. v. 1. 125, 139, 157, 179 e 182 p.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p.410

JUNIOR, Francisco Ramalho; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo A. de Toledo. **Os fundamentos da Física**- Volume 3. 6.ed. São Paulo: Editora Moderna, 1993. 411p.

OBERZINER, Ana Paula Bertoldi. **As Equações de Maxwell e Aplicações**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Matemática) - Universidade Federal de Santa Catarina. 11p

Os 400 anos do De magnete In: Revista Ciência Hoje, v.28, n° 167, dez./2000.

RIBEIRO, G. A. P. **As propriedades Magnéticas das Matéria: Um primeiro contato**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Carlos, v. 22, n.03, 2000.