

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

THAUANY BARRETO BARROS

**BRINCADEIRA DE CRIANÇA:** O pião como objeto pedagógico no processo de ensino-aprendizagem de física no terceiro ano do ensino médio.

SÃO LUÍS  
2018

Thauany Barreto Barros

**BRINCADEIRA DE CRIANÇA: O pião como objeto pedagógico no processo de ensino-aprendizagem de física no terceiro ano do ensino médio.**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física pelo UFMA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no ensino de física

Orientador: Prof. Dr. Antônio José Silva Oliveira

SÃO LUÍS  
2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Barros, Thauany Barreto.

BRINCADEIRA DE CRIANÇA : O pião como objeto pedagógico no processo de ensino-aprendizagem de física no terceiro ano do ensino médio / Thauany Barreto Barros. - 2018.  
202 p.

Orientador(a): Antônio José Silva Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Maranhão, 2018.

1. Aprendizado. 2. Brinquedo e pião. 3. Eletricidade e magnetismo. 4. Experimento. 5. Rotação. I. Oliveira, Antônio José Silva. II. Título. |

**BRINCADEIRA DE CRIANÇA: O pião como objeto pedagógico no processo de ensino-aprendizagem de física no terceiro ano do ensino médio.**

Thauany Barreto Barros

Orientador:

Prof. Dr. Antônio José Silva Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física pelo UFMA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em    /    /

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Antônio José Silva Oliveira (Orientador)  
Doutor em Física  
Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dra. Maria de Fátima Salgado  
Doutora em Física  
Universidade Estadual do Maranhão - Caxias

---

Prof. Dr. Nelson Studart Filho  
Doutor em Física  
Universidade Federal de São Carlos

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a Deus e a Santa Terezinha, pelas grandes bênçãos concedidas em minha vida. Ao meu pai Stelmo Magalhães (in memoriam), no qual espero que se alegre com mais essa vitória, de onde quer que esteja. A minha mãe Ocione Barrêto, pelo exemplo de dignidade e determinação que me inspiraram a contornar cada obstáculo superado nas adversidades da vida.*

*“O homem completo possui a força do pensamento, a força da vontade e a força do coração. A força do pensamento é a luz do conhecimento; a força da vontade é a energia do caráter; e a força do coração é o amor”*

Ludwig Feuerbach, 1997

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Ao meu irmão Stelmo Netto por ser sempre a minha referência acadêmica.

Ao meu amado namorado Hugo Castro pela paciência nas horas mais conturbadas e por toda a força e dedicação do seu tempo para me auxiliar do início à conclusão do mestrado.

Aos demais familiares: meus avós, tias, tios e toda a família pelo apoio, incentivo e compreensão.

Aos meus amigos: Paula, Erika, Aguida, Benny, Carla e Marcos por todas as discussões sobre física, política e cotidiano; Hellen, Rafael, Thacylla, Thalles pelas gozações e seriedades.

Aos meus amigos de classe pela união que nos tornaram fortes a não desistir.

Ao meu amigo designer Flávio Coelho responsável pelas ilustrações artísticas desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio José Silva Oliveira, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelo incentivo e contribuições para esse trabalho.

Aos professores Me. Carlos Cesar, Dra. Adelaide e Dra. Dirlene por todo o auxílio, motivação, paciência e críticas realizadas durante a elaboração dessa pesquisa.

Ao coordenador do mestrado Edson Firmino e a todos os professores que fizeram parte dessa jornada acadêmica.

Aos professores e alunos da escola Paralelo que teceram comigo a aplicação desse trabalho.

À UFMA pela condução do MNPEF.

## RESUMO

A transmissão do conhecimento encontra dificuldades na contextualização e assimilação dos conteúdos pelos discentes. Em função destes problemas o trabalho tem como objetivo fomentar a ciência de forma lúdica através da utilização do brinquedo e da brincadeira, embasados na metodologia pedagógica sócioconstrutivista proposta por Lev Vygotsky. Pensando nisso, o Produto Educacional, se organiza em um roteiro composto por uma sequência didática com atividades experimentais, através do uso do brinquedo pião, visando a melhor compreensão dos assuntos relacionados a dinâmica rotacional. Estendendo-se como parte do objeto de estudo a demonstração do experimento “pião com transmissão eletromagnética”, que visa um movimento rotacional contínuo, tornando o aprendizado mais significativo. O presente trabalho foi desenvolvido com os alunos do terceiro ano do ensino médio da escola privada Paralelo na cidade de São Luís – MA, durante o ano de 2018.

Palavras-chave: Eletricidade, magnetismo, rotação, aprendizado, experimento, brinquedo e pião.

## **ABSTRACT**

The transmission of knowledge finds difficulties in the contextualization and assimilation of subjects by the students. Due to these issues, this work has as a goal to promote science in a entertaining way by using the toy, based in the social-constructive pedagogical methodology proposed by Lev Vigotsky. With this in mind, the Educational Product is organized in a script composed by a didactic sequence with experimental activities, by using the spinning top, aiming at a better understanding of the subjects related to rotational dynamics. We extend, as part of the subject of study, the demonstration of the "spinning top with electromagnetic transmission" experiment, which illustrates a continuum rotational motion, providing a more significant learning experience. The present work has been developed with the senior year students of Paralelo Private Highschool, located in São Luís - MA, during 2018.

Keywords: Electricity, magnetism, rotation, learning, experiment, spinning top, toy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do modelo do Sistema de Ensino com seus setores e relações, na óptica da Didática Francesa.....	30
Figura 2. O pião.....	34
Figura 3. Representação gráfica de duas partículas no sistema em que o centro de massa foi encontrado a partir da Eq. 1.2. ....	35
Figura 4. Representação gráfica de duas partículas diferentes em que o centro de massa foi encontrado a partir da Eq.1.1. ....	36
Figura 5. Garoto praticando o <i>slackline</i> empregando a técnica do centro de massa.....	38
Figura 6. Esquema da componente vetorial peso, atuando sobre o centro de massa do pião. a) pião em equilíbrio estável; b) Pião em equilíbrio instável. ....	39
Figura 7. Ilustração do pião com o eixo de rotação juntamente com as coordenadas polares e cartesianas do movimento. ....	41
Figura 8. Ilustração do descolamento angular. ....	42
Figura 9. a) Identificação da direção dos vetores unitários no plano cartesiano; b) Apresenta a direção da velocidade angular do pião.....	43
Figura 10. Em a) temos o vetor aceleração angular no sentido positivo; em b) temos o vetor aceleração angular no sentido negativo. ....	45
Figura 11. Ilustração de uma bailarina utilizando técnicas de física para o rodopio. ....	46
Figura 12. Posições das partículas em um corpo rígido com o raio associando cada partícula ao eixo de rotação. ....	47
Figura 13. A aplicação da força perpendicular à porta permite fazê-la rotacionar. ....	50
Figura 14. Aplicação do torque em um golpe de judô.....	50
Figura 15. Garoto ao brincar com o pião transmite o movimento através do torque produzido pelo barbante. ....	51
Figura 16. Imagem transversal do pião com os respectivos componentes do sistema. ....	52
Figura 17. Componentes das forças que atuam no corpo gerando o torque. ....	54
Figura 18. O pião em rotação perde aos poucos o a verticalidade e passa a inclinar devido à ação das forças externas do sistema. ....	56
Figura 19. O movimento de giro que o pião faz em torno do eixo projetando a forma de um cone. ....	57
Figura 20. a) Comportamento das linhas de campo de uma carga positiva;.....	63
Figura 21. Interação entre a carga fonte e a carga de prova. ....	64
Figura 22. Ilustração simplificada de um experimento de corrente elétrica. ....	66
Figura 23. Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido dos elétrons em um condutor metálico. ....	66
Figura 24. Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido das cargas positivas em um condutor metálico.....	67
Figura 25. Campo magnético produzido por uma corrente elétrica.....	67
Figura 26. a) Imãs com polos iguais sendo repelidos; b) Imãs sendo atraídos pelo ferro; c) Imãs com polos diferentes sendo atraídos. ....	69
Figura 27. Esquema ilustrativo de um átomo de Hélio. ....	70
Figura 28. Ilustração das linhas de campo em um ímã natural. ....	70
Figura 29. Representação do vetor indução de um campo magnético.....	72
Figura 30. Comportamento dos elétrons de um material paramagnético antes e depois da aplicação de campo magnético externo.....	74
Figura 31. Comportamento dos elétrons de um material diamagnético antes e depois da aplicação de um campo externo. ....	74

Figura 32. Comportamento dos elétrons de um material ferromagnético antes e depois da aplicação de um campo externo. ....	75
Figura 33. Ilustração do experimento de Oersted. ....	77
Figura 34. a) Correntes percorrendo no mesmo sentido nos fios condutores; b) correntes em sentidos contrários em fios condutores. ....	78
Figura 35. Ilustração demonstrativa do experimento de Arago. ....	79
Figura 36. Experimento ilustrativo de Faraday. ....	79
Figura 37. Ilustração do experimento de Faraday sobre corrente de indução. ....	80
Figura 38. Experiência de Faraday, as linhas de campo magnético do ímã geram uma corrente induzida na espira. ....	81
Figura 39. Ilustração de uma onda eletromagnética. ....	83
Figura 40. Disco de cobre rotacionando entre dois ímãs produzindo as correntes de Foucault. ....	84
Figura 41. Ilustração simplificada do modelo experimental do pião. ....	86
Figura 42. Detalhamento de cada elemento que compõe a base. ....	88
Figura 43. Ilustração da estrutura do pião com transmissão eletromagnética. ....	89
Figura 44. Demonstração ilustrativa dos campos magnéticos. ....	90
Figura 45. Em a) O aplicativo whatsapp; em b) O aplicativo de edição do pdf e c) O roteiro didático. ....	93
Figura 46. Em sequência aplicamos um questionário e obtivemos as seguintes respostas a seguir. ....	96
Figura 47. Testando centro de massa através do brinquedo “João Bobo”. ....	97
Figura 48. Alunos construindo questionamentos. ....	99
Figura 49. Disputa entre “beyblade”. ....	101
Figura 50. Alunos analisando o pião com transmissão eletromagnética. ....	105
Figura 51. O Professor Dr. Oliveira comparecendo a aplicação do projeto. ....	106
Figura 52. Alunos respondendo o Quis através da sala online Socrative. ....	109
Figura 53. Alunos fazendo a medição da velocidade angular do pião. ....	113

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição das escalas da primeira pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	114
Gráfico 2. Distribuição das escalas da segunda pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	115
Gráfico 3. Distribuição das escalas da terceira pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	116
Gráfico 4. Distribuição das escalas da quarta pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	117
Gráfico 5. Distribuição das escalas da quinta pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	118
Gráfico 6. Distribuição das escalas da sétima pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	119
Gráfico 7. Distribuição das escalas da oitava pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	120
Gráfico 8. Distribuição das escalas da nona pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	121
Gráfico 9. Distribuição das escalas da décima pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	122
Gráfico 10. Distribuição das escalas da décima primeira pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	123
Gráfico 11. Distribuição das escalas da décima segunda pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	124
Gráfico 12. Distribuição das escalas da décima terceira pergunta referente a Pesquisa de Opinião .....	125

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Distribuição dos grupos .....	95
Quadro 2. Conhecimento prévio dos grupos proposto sobre o pião. ....	96
Quadro 3. Questionamentos propostos por cada grupo. ....	98
Quadro 4. Questionamentos dos alunos sobre os tópicos. ....	100
Quadro 5. Análise física dos grupos em relação a guerra do beyblade. ....	101
Quadro 6. Resposta do questionário – Roteiro didático. ....	103
Quadro 7. Respostas dos conhecimentos prévios dos grupos em relação ao pião com transmissão eletromagnética. ....	104
Quadro 8. Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.....	107
Quadro 9. Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.....	107
Quadro 10. Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.....	108
Quadro 11. Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.....	108
Quadro 12. Respostas da análise do movimento do pião com transmissão eletromagnética. ....	109
Quadro 13. Análise dos resultados obtidos com o uso do tacômetro. ....	111

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1. Desenvolvimento da Aprendizagem.....	19
2.2. Vygotsky: formação do conhecimento.....	21
2.3. Zona de desenvolvimento proximal (ZDP): e a interferência pedagógica do professor.....	22
2.3. “O brinquedo e a brincadeira” fomentando o aprendizado.....	24
2.4. Desenvolvendo a formação de conceitos para a estruturação do conhecimento científico. ....	26
2.5. A cultura educacional do Ensino Médio: desafio para os licenciados em Física.....	28
2.6. O uso do modelo de Ensino para a obtenção da aprendizagem .....	29
3. A física do pião: abordagem sucinta no nível do ensino médio.....	32
3.1. Centro de Massa .....	34
3.2. Movimento Rotacional.....	39
3.3. Inércia ( $I$ ) .....	45
3.4. Torque ( $\tau$ ) .....	49
3.5. Momento angular ( $L$ ) .....	55
3.6. O Pião e o Eletromagnetismo .....	60
3.7. Eletricidade.....	61
3.8. Campo elétrico.....	63
3.9. Corrente elétrica.....	65
3.10. O magnetismo .....	68
3.11. O átomo .....	70
3.12. Campo magnético.....	71
3.13. Propriedade magnética dos materiais .....	73
3.14. Eletromagnetismo.....	76
3.15. Correntes de Foucault.....	84
3.16. Conhecendo o dispositivo do pião com transmissão eletromagnética .....	85
3.17. Conhecendo cada parte do experimento .....	87
3.18. Como funciona?.....	89
4. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL NA ESCOLA.....	92
5. SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM AS ATIVIDADES PROPOSTAS .....	95

<b>6. AVALIAÇÃO DO GRAU DE SATISFAÇÃO REFERENTE AO PRODUTO EDUCACIONAL: QUALITATIVA.....</b>	<b>114</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>128</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>130</b>
<b>Apêndice A.....</b>	<b>131</b>
<b>Apêndice B.....</b>	<b>134</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A construção do processo cognitivo possibilita o desenvolvimento do arcabouço intelectual favorecendo uma organização de conhecimentos apreendidos ao longo da história de cada indivíduo. Em virtude das dificuldades de assimilação das informações em disciplinas que envolvem cálculos, busca-se focar sua contextualização expondo suas aplicabilidades através de exemplos comuns do cotidiano, propiciando a sedimentação do conhecimento principalmente nas Áreas Exatas, que é recebida com rejeição pela maioria do alunado do Ensino básico.

Nesse sentido, temos as teorias físicas envolvendo o movimento rotacional do pião que podem ser alavancadas com a utilização da ferramenta experimental em sala de aula, facilitando a aprendizagem através do lúdico, e estimulando o estudante a ter maior interesse pelas aulas. Com base nisso, o docente como mediador no processo de aprendizagem busca nos conhecimentos pré-estabelecidos uma forma de contextualizar teorias, potencializando o ensino nas escolas.

Nesse tocante, percebe-se que as correntes educacionais referentes aos assuntos de aprendizagem tornam-se fundamentais, por isso, é importante fazer uma escolha de uma base teórica como forma facilitadora de definir os objetivos que se deseja atingir, de modo a delinear a metodologia utilizada. O embasamento do referencial teórico escolhido na formulação desta pesquisa em relação ao ensino e construção de conceitos de ciências na educação propedêutica se pauta na proeminência do psicólogo Lev Semenovitch Vygotsky (1896-1934), no qual fala-se sobre suas concepções em torno do desenvolvimento do conhecimento e aprendizado na segunda seção deste trabalho.

Vygotsky (1988) dá ênfase de como a estruturação dos pensamentos dos indivíduos se forma a partir dos hábitos culturais adquiridos no meio em que ele está inserido. Durante esse processo de ensino aprendizagem este indivíduo recebe informações desde a fase da infância, ou seja, no processo cognitivo em que as linguagens têm uma grande importância na compreensão dos pensamentos e de como esse conhecimento pode ser abordado a ela.

Sendo assim o trabalho explora as proximidades da zona do desenvolvimento do aluno através da mediação do professor com o auxílio de experimentos que exponham a ciência como ferramenta de ensino. Essa metodologia tem como objetivo fazer o uso do brinquedo através da brincadeira como facilitadora das habilidades e compreensões de conteúdos básicos.

Também descrevemos como ocorrem às abordagens dos conteúdos de Física no Ensino Médio, mostrando as dificuldades que muitos docentes têm em transpor o conhecimento, pois ainda se utilizam de métodos tradicionais, tais como aulas expositivas vinculadas a uma matemática abstrata sem qualquer experimentação que seja capaz de viabilizar a visualização dos conceitos físicos abordados. Pensando nessas dificuldades, a presente pesquisa fez uso do experimento “o pião com transmissão eletromagnética” como recurso didático para abranger os assuntos de eletromagnetismo estudado no 3º ano do ensino médio.

Para tanto, na seção 3 são explanados conteúdos que contextualizam a dinâmica do pião centralizando o estudo no movimento de rotação da mecânica. Deste modo, o Produto Educacional apresentado nesta seção foi dividido em subitens aos quais definem inicialmente o que é centro de massa do corpo, como é possível saber sua localização através da distribuição da massa, quais relevâncias possui em relação ao movimento do pião principalmente para a condição de equilíbrio, posteriormente determinamos teoricamente quais são as variáveis físicas presentes no movimento rotacional como posição angular, velocidade angular e aceleração angular, todas com indicações representativas ilustradas no pião.

A partir de então, trabalha-se com o conceito de inércia rotacional demonstrando como podemos relacioná-la com a distribuição de massa em relação ao eixo de rotação fazendo as devidas representações na figura ilustrativa do pião. Em seguida conceitua-se torque explicando e exemplificando como é permitido produzir através da aplicação da força, por representação de cada vetor envolvido na dinâmica rotacional do pião.

Por fim, dos subitens que envolvem a mecânica, descrevemos como atua o momento angular, relacionando-o com o momento de inércia e posteriormente com o torque, ressaltando como ocorre a perda do movimento de rotação quando tratamos de sistemas não conservativos.

O objetivo principal do uso do pião em sala de aula é permitir aos estudantes que compreendam o mecanismo de transmissão do movimento mecânico utilizando campos eletromagnéticos. Portanto, nos próximos subitens da seção 3, dividimos os estudos tratando dos conteúdos de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo.

Um breve histórico foi introduzido sobre a eletricidade tratando da definição e mostrando a relação existente com o campo elétrico, por fim estabelecendo o conceito de corrente elétrica.

Em seguida realizou-se o contexto histórico sobre a origem do magnetismo, no qual também explicamos o fenômeno responsável pelo efeito magnético, evidenciando a importância sobre a compreensão da estrutura atômica. Descrevemos como ocorrem as interações entre os polos magnéticos, acentuando a relação existente com o campo magnético, e por fim complementamos com a propriedade magnética dos materiais. A seção 3, também relata um breve histórico sobre o eletromagnetismo mostrando como ocorreu a unificação das relações existentes entre a eletricidade e o magnetismo, e deste modo inserimos o conteúdo de correntes de Foucault.

Finalizamos esta seção, destinando ao estudo do pião com transmissão eletromagnética, em que descrevemos como é a composição e montagem do experimento, para assim contextualizar os aspectos físicos apresentados ao longo do trabalho.

Na quarta seção destinamos para a descrição de como ocorre as etapas de aplicação dos experimentos que envolvem o pião, a partir do roteiro produzido como Produto Educacional, bem como os recursos que foram empregados para a obtenção dos resultados propostos pelo trabalho.

Na seção 5, descrevemos como foram desenvolvidas as etapas de aplicação do Produto Educacional, evidenciando a quantidade de aulas, juntamente com a duração necessária. Durante a aplicação ressaltamos a participação dos alunos com relação as atividades e descrevendo ao fim de cada aula a produção das equipes e a análise das suas respostas.

A seção 6, foi destinada ao Questionário de Opinião, em que os alunos puderam analisar a metodologia, diagnosticando os pontos positivos e negativos referente à atividade proposta.

Finalizamos o trabalho com a seção 7, acentuando as contribuições que a pesquisa trouxe para a prática docente. Posto, que avaliamos desde a produção do objeto educacional como a forma de aplicação. Visando se houve eficiência para o exercício profissional diante da receptividade do alunado.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Desenvolvimento da Aprendizagem

O ser humano absorve uma gama de informações ao longo da sua existência e necessita estruturá-las para construir o que chamamos de conhecimento<sup>1</sup>.

O resultado desse processo define e projeta nossas ações e funções do cotidiano. Porém, para alcançarmos e gerarmos esse grande arcabouço precisamos passar pelo desenvolvimento da aprendizagem.

Conforme Mézáros (1930), “[...] a aprendizagem é, verdadeiramente, a nossa própria vida [...]”, entre outras palavras, é um processo constante. Mas, chegar atualmente a essas conclusões não foi simples e até mesmo o conceito de “aprender” foi ganhando moldes a partir do próprio estudo de como se aprende.

Sendo assim, o processo de aprendizagem culminou numa investigação e colaboração suntuosa de pesquisadores da psicologia humana, destacadamente, Lev Semenovich Vygotsky (1896-1934). Ele averiguou como ocorre o processo de desenvolvimento mental descrito no psiquismo humano. Deste modo, coube a Vygotsky através dos seus estudos fazer uma descrição sobre o comportamento humano resultando na definição do aspecto intelectual.

A partir das suas pesquisas fez diversas inferências embasadas no convívio social, constatando que a produção cultural é proveniente das interações sociais do meio pertencente. Vygotsky promoveu uma análise dialética<sup>2</sup> do desenvolvimento da aprendizagem humana, questionando as funções cognitivas e afetivas que convergem no processo de formação mental.

Vygotsky tem nacionalidade russa e formação nas áreas de Medicina, Direito e especialização em Literatura. Sua atuação profissional começou pelo ensino, onde lecionava psicologia e literatura na escola de Gomel na Rússia e, posteriormente, integrou

---

<sup>1</sup> O conceito de aprendizagem emergiu das investigações empiristas em Psicologia, ou seja, de investigações levadas a termo com base no pressuposto de que todo conhecimento provém da experiência. Isso significa afirmar o primado absoluto do objeto e considerar o sujeito como uma tábula rasa, uma cera mole, cujas impressões do mundo, formadas pelos órgãos dos sentidos, são associadas umas às outras, dando lugar ao conhecimento. O conhecimento é, portanto, uma cadeia de ideias atomisticamente formada a partir do registro dos fatos e se reduz a uma simples cópia do real. (Agnela Giusta, 1985)

<sup>2</sup> Dialética era, na Grécia antiga, a arte do diálogo. Aos poucos, passou a ser a arte de, no diálogo, demonstrar uma tese por meio de uma argumentação capaz de definir e distinguir claramente os conceitos envolvidos na discussão. (Leandro Konder, 2008)

ao Instituto de Psicologia de Moscou passando a dirigir o departamento de educação especial para deficientes físicos e mentais. (PALAGANA, 1988, p.86)

Com base no estudo da psicologia humana Vygotsky objetivava a formulação de um modelo mais geral que pudesse explicar os processos psicológicos humanos. Segundo Luria (apud PALAGANA, 1988, p.23), “... uma nova síntese das pesquisas parciais dos modos anteriores de estudo deveria ser encontrada”.

Para desenvolver suas pesquisas Vygotsky foi influenciado pelos pensamentos marxistas que defendiam reformas em várias vertentes vivenciadas na época do novo Estado Socialista Russo, sejam eles, o pensamento intelectual, política, economia e a reprodução de uma nova cultura. As mudanças históricas na sociedade e na vida material produzem modificações na “natureza humana”, ou seja, na consciência e no comportamento dos homens. Essa posição do pensamento marxista é defendida segundo Engels (1820-1895):

[...] o naturalismo na análise histórica manifesta-se pela suposição de que somente a natureza afeta os seres humanos e de que somente as condições naturais são os determinantes do desenvolvimento histórico. A abordagem dialética. Admitindo a influência da natureza sobre o homem, afirma que o homem por sua vez age sobre a natureza e cria, através das mudanças provocadas por ele na natureza, novas condições naturais para sua existência. (VYGOTSKY, 1988, p.69)

São os efeitos das mudanças ocorridas na Rússia, que surge em Vygotsky a preocupação de desenvolver trabalhos que se voltassem aos campos da educação e das diferentes culturas iminentes, embasando seus estudos sobre o meio social, e de que forma ele pode transformar o indivíduo.

Ressalta assim, que a metodologia construída por Vygotsky se define em descrever e compreender como ocorre o processo de desenvolvimento do indivíduo baseado principalmente na influência das pessoas e dos fatores externos do meio ao qual está inserido. Com base nisso “Para Vygotsky, todas as atividades básicas do indivíduo ocorrem de acordo com sua história social e acabam se constituindo no produto do desenvolvimento histórico-social de sua comunidade.” (LURIA, 1976)

Observa que o desenvolvimento humano e o aprendizado estruturam seus pensamentos a partir dos hábitos culturais adquiridos no meio em que ele se desenvolve. Com isso estabelecer um elo entre desenvolvimento e aprendizado se tornou temas centrais nos trabalhos de Vygotsky.

## 2.2. Vygotsky: formação do conhecimento

O indivíduo obtém o desenvolvimento intelectual, a partir do momento que ele consegue explicar pensamentos mais complexos, com isso entende-se que houve um aprendizado. Esse processo de aprendizado ocorre a partir das habilidades adquiridas sejam elas, atitudes, valores e/ou conhecimentos. Estas habilidades são construídas de forma processual e gradativa ao longo da nossa existência.

Com isso, Vygotsky segmentou cada fase da vida, fazendo um estudo profundo que corroborasse na compreensão da formação da psicologia humana em diferentes idades. Essa psicologia dependia de três aspectos associados ao homem: função biológica, no qual se padroniza na biologia associada a cada indivíduo e a fase cronológica da vida a qual faz parte; a construção do funcionamento psicológico que depende do meio e das pessoas ao qual está inserido e se estabelece uma convivência; e a relação entre o indivíduo e o mundo mediada por comunicações simbólicas.

[...] o momento de maior significado no curso do desenvolvimento intelectual, que dá origem às formas puramente humanas de inteligência prática e abstrata, acontece quando a fala e a atividade prática, então duas linhas completamente independentes de desenvolvimento, convergem. (VIGOTSKI, 2008, p. 11-12).

E para ocorrer o aprendizado é necessário que haja uma organização dos elementos significativos que fazem parte do processo de desenvolvimento. Sejam estes elementos significativos à mediação simbólica que está segmentada em instrumentos, signos, sistema de símbolos; zona de desenvolvimento proximal, desenvolvimento e aprendizagem.

A mediação simbólica faz parte do processo de construção do psiquismo humano, com a principal função de relacionar as interações do mesmo com o meio externo. Essas interações se dão pela transformação do meio externo através de algum elemento mediador. Esses elementos mediadores são classificados em instrumentos, signos e sistemas simbólicos.

- a) instrumento: esse elemento opera entre o sujeito e o objeto criado com a finalidade de transformar o meio para o qual se quer atingir determinado objetivo. Para se criar o objeto é necessário o uso de uma metodologia que será transmitida a outros membros do grupo social ao qual também poderão melhorar as criações como também participar da interatividade obtida através da transformação;

- b) signos: são mediadores que têm funcionalidade nas atividades psicológicas. Esses mediadores se tornam elementos inerentes do indivíduo, fazendo parte da construção psicológica da memória, armazenando o significado que cada objeto representa;
- c) sistemas simbólicos: estes ocorrem a partir da sistematização dos signos, pois à medida que o indivíduo internaliza o conceito de cada objeto, ou seja, abstrai a cultura estabelecida pelo meio social que convive, ele passa a interagir com o mundo dando ênfase ao seu próprio desenvolvimento pessoal contribuindo para a formação intelectual existente. A linguagem é um exemplo do processo de sistematização dos símbolos, pois expressa o que está internalizado nos pensamentos, propiciando a evolução cognitiva e a formação dos seus próprios conceitos.

Ao internalizar instruções, as crianças modificam suas operações cognitivas: percepção, atenção, memória, capacidade para solucionar problemas. É dessa maneira que formas historicamente determinadas e socialmente organizadas de operar com informações influenciam o conhecimento individual, a consciência de si e do mundo (David e Ramos de Oliveira, 1988, p. 63).

De acordo com o processo de aprendizagem, é notável que o desenvolvimento intelectual ocorra mediante ao uso de instrumentos, como sugerido por Vygotsky, os símbolos são mediadores da linguagem do indivíduo com o meio, sendo significativo no processo evolutivo.

### **2.3 Zona de desenvolvimento proximal (ZDP): e a interferência pedagógica do professor**

A zona de desenvolvimento proximal ou Zona de desenvolvimento Potencial (ZDP) é um conceito usado na psicologia sociocultural de Vygotsky com a finalidade de caracterizar as fases do desenvolvimento.

Para Vygotsky as funções mentais que o indivíduo possui se dividem em duas, funções mentais inferiores e funções mentais superiores. As funções mentais inferiores ou funções naturais são aquelas com as quais nascemos e são geneticamente determinadas, como a percepção elementar, a atenção, as vontades, e a capacidade de memorização. (AFFONSO, 2008 p.31)

Já as funções superiores ou funções culturais são aquelas que surgem a partir da transformação das inferiores mediada pela intervenção social cultural do meio externo, ou seja, reside fora do indivíduo, e posteriormente passa a habitar internamente, fazendo

com que o indivíduo adquira a consciência de si mesmo através do conhecimento que por consequência possibilita pensamentos mais complexos.

As funções inferiores não desaparecem numa psique madura, mas são estruturadas e organizadas segundo objetivos sociais e meios de conduta especificamente humanos. Vygotsky usou o termo hegeliano “suprassumido” (aufgehoben) para designar a transformação de funções naturais em funções culturais (DANIELS, 2002, p.117)

A partir das funções mentais superiores é que podemos entender como ocorre o processo de desenvolvimento que pode ser compreendido em dois aspectos Real e Potencial. A criança encontra-se no nível de desenvolvimento Real quando consegue realizar uma tarefa independentemente, sem que haja qualquer interferência de um adulto, isto é, houve um aprendizado. Entretanto na zona de desenvolvimento Potencial adulto, isto é, houve um aprendizado. Entretanto na zona de desenvolvimento Potencial a criança só consegue realizar determinada atividade imposta, com a interferência de um adulto, deste modo, conseguirá atingir o resultado.

[...] a distância entre o nível desenvolvimento real, que se costuma determinar por meio da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado por meio da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (Vygotsky, 1984, p. 97)

Isto é, o indivíduo que se encontra na ZDP estará traçando um percurso de maturação até chegar ao desenvolvimento Real.

Com isso, o conceito de zona proximal desenvolvido por Vygotsky ressalta a importância da interferência no aprendizado por outros indivíduos mais instruídos com o objetivo de facilitar o processo e ampliar o conhecimento. Com base na teoria de inserção do intermediário facilitador na transmissão temos, por conseguinte o ambiente escolar, que de forma organizada trabalha a questão da aquisição de conhecimentos gradativos de acordo com a capacidade de aprendizagem.

As escolas passam a desempenhar uma função importante, com auxílio da interferência pedagógica utilizada por cada professor que tem a atribuição de verificar em qual momento isso deve ocorrer. Baseado no fato que o aluno consegue progredir chegamos ao desenvolvimento real, como consequência o professor impulsiona a ter pensamentos mais complexos, voltando novamente a uma zona proximal e assim continua todo o ciclo.

Trabalhando as funções mentais superiores a partir da constante periodicidade entre as zonas do desenvolvimento real e potencial, concluímos que há uma formação da

psicologia individual de cada sujeito, trazendo novos saberes e aumentando o rol de cultura. “A constante recriação da cultura por parte de cada um dos seus membros é a base do processo histórico, sempre em transformação, das sociedades humanas” (OLIVEIRA 2010, p.65).

### **2.3. “O brinquedo e a brincadeira” fomentando o aprendizado**

É perceptível que a cada dia tem se procurado metodologias que pudessem facilitar o aprendizado, trazendo questionamentos importantes a partir da análise das primeiras fases da vida até o momento do ingresso escolar. A psicopedagogia<sup>3</sup> tem intensificado a compreensão da construção do conhecimento e procurado meios que tornassem mais eficazes na elaboração de estratégias que promovam cada vez mais o saber. Atendendo a essa necessidade temos como um dos instrumentos mediadores de comunicação entre a criança e o adulto em seus primeiros passos no ciclo da vida, o brinquedo que dará origem à brincadeira, e temos a brincadeira que nem sempre precisará de um brinquedo. (BERNI, 2006 p. 2533)

O brinquedo independente do seu tamanho sempre vem acompanhado de alguma função, seja ela ao recém-nascido com o propósito de entretenimento, ou a qualquer outra idade com a finalidade de desenvolvimento ou não. De fato, o brinquedo se apresenta como uma das primeiras formas de mediação na comunicação, no qual se denota como um instrumento simplório, mas carrega uma complexidade em termos de atividades pedagógicas que estão intimamente ligadas ao desenvolvimento e evolução do indivíduo.

O brinquedo de acordo com a concepção de Vygotsky é um instrumento de desenvolvimento, pois promove a evolução do cognitivismo através da imaginação em um mundo ilusório criado pela criança, nesse aspecto ela age de maneira que desejaria, sem que sua idade fosse um impedimento, tratando da mesma maneira o objetivo da sua brincadeira e impondo regras vigorantes como ocorrem na vida real. (VYGOTSKY, 1989, p.113)

Desta forma Vygotsky (1998) ressalta que ao utilizar o brinquedo como símbolo de uma atividade motivadora de uma brincadeira, ou seja, transformando o real em “faz de conta”, poderá gerar uma resignificação dos objetos e promover uma série de

---

<sup>3</sup> Psicopedagogia é o campo do saber que se constrói a partir de dois saberes e práticas: a pedagogia e a psicologia. (Silvana Martines e Silvia Felizardo, 1934)

benefícios ao desenvolvimento da criança tais como: o raciocínio lógico tendo como partida saber manusear o brinquedo e descobrindo qual seu propósito, para assim poder fazer novas atribuições; a integração social viabilizando um processo de interação entre as crianças e também com o adulto e o meio a sua volta; a melhoria da memória com absorção gradativa de novos conhecimentos; assim como o aprendizado significativo que pode ser manifestado de várias formas, dependendo de que maneira poderá compreender o brinquedo utilizado.

No processo educacional tem se tornado cada vez mais presentes o aprendizado de forma lúdica, pois, a brincadeira é vista como um lazer que se aprende com prazer.

Ao se utilizar dessa metodologia o mentor estimula cada vez mais zona de desenvolvimento proximal da criança, à medida que se cresce e adota novas concepções para a mesma brincadeira, uma vez que não compreendida em um determinado momento, após maturar alguns conceitos e ideias ao longo dos anos, pode se chegar a uma definição mais exata do sentido da brincadeira e até mesmo melhorar a finalidade da sua aplicação, através das habilidades adquiridas fomentando cada vez mais o processo de aprendizagem. Para Vygotsky (1989, p. 3), “... a criança se constitui como sujeito e constrói seus conhecimentos a partir da interação com as pessoas e com o mundo em que vive”.

A teoria de Vygotsky viabiliza a importância da brincadeira e do brincar para o processo de ensino aprendizagem desde os primeiros momentos de vivência, permitindo uma evolução intelectual positiva, com auxílio de estudos e pesquisas cada vez mais presentes nessa temática.

Podemos concluir que para atingir resultados cada vez melhores, esse processo deve ter início na base familiar, até dar início a escolaridade onde existe a preocupação de oferecer pedagogias cada vez mais contemporâneas que visam resultados mais satisfatórios através de novas tecnologias voltadas para o campo do ensino.

## **2.4. Desenvolvendo a formação de conceitos para a estruturação do conhecimento científico**

Dado a compreensão de alguns requisitos responsáveis às primeiras construções de pensamentos durante a idade infantil até o instante da maturação dos saberes, no qual há o aparecimento da consciência do aprendido. Isto é, torna-se possível ao indivíduo a sedimentação do conhecimento, diante das condições que lhe foram impostas durante o processo de crescimento. Deste modo, a criança chegará a um nível de desenvolvimento intelectual mais elevado. Com isso, Vygotsky afirma que ao sair da idade infantil para a adolescência há um progresso no grau de compreensão, no qual lhe caberá a capacidade de elaborar conceitos a partir de uma problematização imposta.

O processo de desenvolvimento dos conceitos ou significados das palavras requer o desenvolvimento de toda uma série de funções, como a atenção arbitrária, a memória lógica, a abstração, a comparação e a discriminação.

Todos esses processos psicológicos sumamente complexos não podem ser simplesmente memorizados, simplesmente assimilados. Tanto é assim que a investigação teórica e a experiência pedagógica nos ensinam que o ensino direto de conceitos sempre se mostra impossível e pedagogicamente estéril. Em tais casos, a criança não assimila o conceito, mas a palavra, capta mais de memória que de pensamento e sente-se impotente diante de qualquer tentativa de emprego consciente do conhecimento assimilado. No fundo, esse método de ensino de conceitos é a falha principal do rejeitado método escolástico de ensino, que substitui a apreensão do conhecimento vivo pela apreensão de esquemas verbais mortos e vazios (VYGOTSKY, 2000, p. 247).

Deste modo à medida que o indivíduo transita as fases etárias ocorre à maturação das ideias e as formações de conceitos associados às primeiras informações inseridas no campo do saber, posto a um desenvolvimento intelectual bem mais evidente devido o melhoramento da cognição possibilitando a melhor compreensão acerca do pensamento.

Mediante o desenvolvimento dos conceitos espontâneos o indivíduo será conduzido à formação de conceitos mais complexos que podemos denominar de científicos. Deste modo, para desenvolver os conceitos científicos, temos como princípio o aprendizado escolar que tem o professor como instrumento de mediação para viabilizar ao aluno a seu desenvolvimento real e expandir seu conhecimento até a zona de desenvolvimento potencial.

Percebe-se a escola contemporânea um ambiente que agrega diversos valores regidos por consciências distintas que cada aluno possui tornando evidente a implantação de metodologias capazes de trabalhar o cognitivo apresentado por cada individualidade, e para isso busca se estratégias que alcance essa pluralidade de pensamentos. Para esse

objetivo os educadores devem idear instrumentos de ensino mais adequados que venham objetivar a formação das variadas ideias e/ou aumentar a função cognitiva de um domínio específico a determinado assunto.

Toda a metodologia aplicada prioriza o ato de como proceder para o aluno aprender e desenvolver conceitos sobre o aprendizado. Compreendido que o aprendizado parte de conteúdo a serem abordados, esses conteúdos podem ser de origem conceitual, procedimental e atitudinal. E são classificados como:

A aprendizagem de conteúdos conceituais abrange o conhecimento e a compreensão de fatos, conceitos e princípios, com a capacidade de utilizá-los para interpretar situações e construir novas ideias. São conteúdo dessa natureza: nomes, acontecimentos, fenômenos concretos e singulares, termos abstratos, símbolos, relações, leis e outros.

A aprendizagem de conteúdos procedimentais abarca a realização de ações seguindo-se procedimentos e aplicando-se técnicas e métodos, demandando exercício, reflexão sobre os próprios atos e habilidade para empregar tal conhecimento em contextos diferenciados. São conteúdo dessa natureza: ler, observar, calcular, classificar, inferir, debater e outros.

A aprendizagem de conteúdos atitudinais engloba o cultivo de valores, atitudes e normas, necessários para a vida equilibrada em sociedade. São conteúdo dessa natureza valores como a solidariedade, o respeito aos outros e a responsabilidade, e atitudes, tais como cooperar com o grupo, ajudar os colegas e respeitar o meio-ambiente (ZABALA, 1998,).

Conhecendo os tipos de conceitos evidenciamos a importância que cada um assume na mediação escolar, sendo imprescindível a sua instrumentalização para aplicação nas áreas da educação básica como a história, geografia, artes, português, matemática e as ciências como a química, biologia e a física.

Vale ressaltar que algumas dessas áreas ainda causam descontentamento durante a aprendizagem para o alunado, pois se assume um grau de dificuldade inerente aos conteúdos subjungido de difíceis compreensões. Porém, essas dificuldades estão vinculadas a maneira de como se procede à educação, como estão sendo abordados e trabalhados os conteúdos dentro do âmbito escolar, até então é recorrente o uso de aulas expositivas, que não proporcionam muitas interações entre os indivíduos dificultando a pluralidade de pensamentos que possam ajudar na compreensão a partir da socialização como é defendido nos estudos de Vygotsky, no qual afirma que o aluno é sujeito ativo no processo de aprendizado colaborando com seu desenvolvimento e agindo como instrumento mediador de suas ações.

## **2.5. A cultura educacional do Ensino Médio: desafio para os licenciados em Física**

A atual conjuntura brasileira vem apresentando alternativas com fins de solucionar os problemas vivenciados pelo país, dentre eles a educação tem se tornado destaque à medida que faz parte dos critérios bases para avaliar o desenvolvimento do país. Buscar articular metodologia que garantem as melhorias, faz parte do propósito das classes pedagógicas.

As correntes pedagógicas contemporâneas têm buscado a didática mais lúdica e interativa em que as aulas sejam de qualidade para que as abstrações possam se materializar. Para isso o uso de laboratórios é importante, pois os fenômenos passam a ganhar visibilidade e consistência a partir da teoria. A passagem do ensino médio com a educação propedêutica traz consigo a responsabilidade na formação da identidade do aluno, uma vez que ele passa selecionar no sujeito construído sua personalidade a partir de suas afinidades para assim adquirir uma formação profissional para as práticas sociais.

A ciência deve apresentar conhecimentos que, produzidos e legitimados socialmente ao longo da história, fundamentam as técnicas. À cultura cabe a síntese da formação geral e da formação específica por meio das diferentes formas de criação existentes na sociedade, com seus símbolos, representações e significados. (FRIGOTTO, 2004. p. 21.)

Consequentemente é importante o modo como ocorre à fomentação da ciência no jovem do ensino básico, visto que a formação do conhecimento no qual atinge um resinificado com a atuação profissional buscada a partir das atribuições adquiridas, com a tentativa de evoluir culturalmente o meio em que vive.

Os estudiosos do assunto reconhecem que há, atualmente, uma “moderna condição juvenil” que se expressa no alongamento do período entre a infância e a vida adulta, a escolaridade como etapa intrínseca a essa condição, o retardamento da entrada no mundo do trabalho e o aparecimento de formas de produção cultural típicas desse segmento. As transformações em curso, que produziram a “sociedade escolarizada”, colocam a educação escolar como instrumento fundamental de inserção e possibilidade de ascensão social. (FRIGOTTO, 2004. p. 22).

Entende-se, portanto que há uma merecida atenção no sistema educacional que é vista como base do desenvolvimento da sociedade, por isso procurar melhorias através

de estratégias tem sido o campo de estudo dos docentes por meio de formação continuada<sup>4</sup> para aperfeiçoamento das práticas de ensino.

Pensando nisso, a área da Física Licenciatura vem tentando desde 1970 (ALVES FILHO, 2012 p.100), criar projetos e cursos de pós-graduação que contemple o aperfeiçoamento do ensino nas redes de educação brasileira. É mediante a ação da reestruturação do ensino de Física, que surgiu o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

O programa de MNPEF foi uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Física (SBF) que culminou em 2013, com o objetivo de capacitar a nível de mestrado, um número expressivo de professores que estão atuando nas escolas de educação básica. Com isso, pretende-se analisar o domínio dos conteúdos e melhorar as estratégias que alcancem o aprendizado através da inserção de recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos<sup>5</sup>.

## **2.6. O uso do modelo de Ensino para a obtenção da aprendizagem**

A Física não é vista como uma disciplina simplória, uma vez que carrega interpretações, contextualizações e assimilações para as formulações matemáticas. Por isso, é estruturada de forma complexa, sendo lançada ao professor como um desafio, com intuito de descomplicar e torna-la mais atraente.

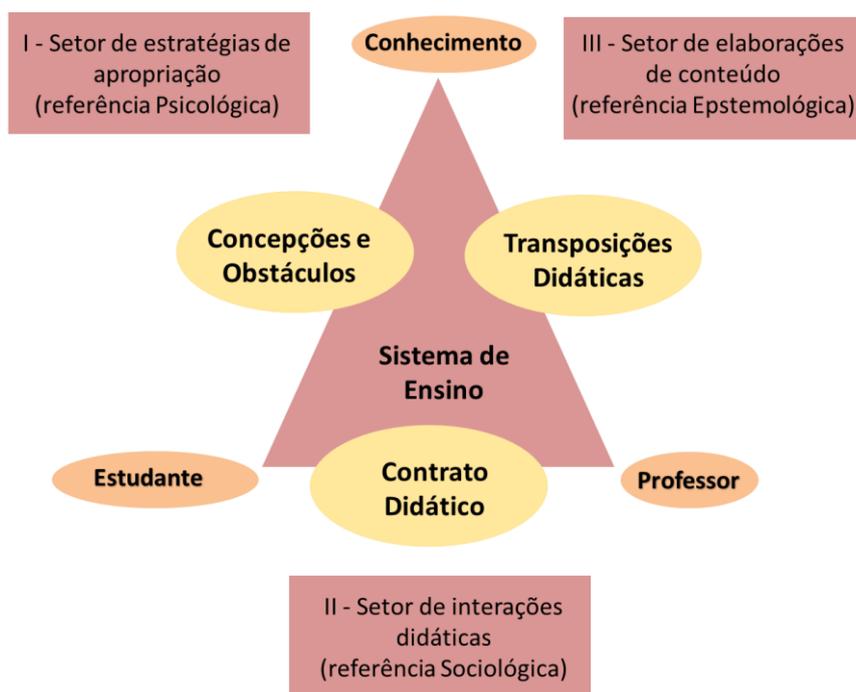
Nesse tocante, adota-se estratégias didáticas que irão atuar na apropriação do saber, sendo um elo entre os alunos e o professor. Entretanto, o professor possui concepções que divergem do aluno quanto a aquisição do conhecimento, fazendo-se necessário a implementação do modelo Sistema de Ensino (ALVES FILHO, 2012 p. 122), nos quais existem vários, mas iremos adotar o esquema representado na Figura 1.

---

<sup>4</sup> O conceito de formação continuada entrou em vigor em 1996, quando foi implementada a lei de Diretrizes e Bases da Educação. Esta lei visa valorizar e orientar a formação do profissional da educação.

<sup>5</sup> [Informação obtida em <http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=node/61> , 16 de fev 2018]

**Figura 1.** Representação do modelo do Sistema de Ensino com seus setores e relações, na óptica da Didática Francesa.



Fonte: Adaptado de Alves Filho (2012).

Na sala de aula o professor utiliza meios e ações para elevar o conhecimento dos alunos, para isso, podemos estabelecer relações entre os integrantes pertencentes a esse sistema, como vimos na Figura 1, professor, conhecimento e estudante, para cada integrante, existe um setor associado.

Entre o conhecimento e o estudante se estabelece o **Setor de estratégias de apropriação** (referência Psicológica), nele o aluno toma o conhecimento como objetivo de apropriação. Ao instante que o professor passa um conteúdo, como na ocasião deste projeto, em que trabalhamos a Mecânica, usando o pião como ferramenta pedagógica e se pede que busquem análises físicas do movimento através da dinâmica rotacional, na verdade estamos solicitando aos alunos que procurem uma nova organização mental entre ideias e conceitos que já existem, para a partir de então, inserir o pensar físico. Porém, encontra-se uma grande dificuldade enfrentada pelos alunos, quando se trata da reorganização dessas estruturas mentais a partir das teorias solicitadas. (ALVES FILHO, 2012, p.122)

Assim, cabe a importância que o professor tem de fazer a sondagem das informações conhecidas pelos alunos, e discutir primeiramente de forma comum, do mesmo modo que os alunos interpretam o mundo físico, conhecidos como **Concepções Alternativas ou Representações Intuitivas**.

As Concepções alternativas são conceitos construídos pelo senso comum ao longo da existência do indivíduo, eles podem diferenciar ou chegar próximo ao conceito científico, restando ao professor a “árdua” tarefa de desconstruir ou reconstruir esses conceitos. Por isso, ao ensinar física o professor deve se manter atento ao que está sendo passado em relação a teoria exposta do problema, e não apenas se ater a exposições de cálculos sem quaisquer fundamentações.

A prática de ensinar física entrelaçada apenas a descrições de cálculos, têm provocado abstrações que terminam por inibir ou nem mesmo desenvolver pensamentos críticos em relação aos fenômenos. Com isso, as representações intuitivas terminam se tonando verdadeiras por muito tempo.

“Na realidade há um confronto entre a Física ensinada (oficial) e a espontânea e sem dúvida o objetivo do ensino é a aprendizagem da oficial; este confronto se realiza muitas vezes de forma pouco harmoniosa e seu resultado final não é uma visão conceitual coerente e rica, mas a superposição e justaposição de conceitos de diferentes origens e alcance, que prejudicam qualquer pretensão de aprofundamento teórico do aluno”. (Villani et.al., 1982,pp.125-150).

Desse modo, é imprescindível a mudança de postura do professor ao ato de transmissão do conhecimento científico, para que o aluno consiga ver no Ensino de Física, as concepções que realmente ocorrem na realidade e com isso fazer que seus conceitos sejam verdadeiros de acordo com a ciência.

Já no **Setor de interações didáticas** (referência Sociológica), temos a relação entre o professor e aluno, que é mediada pelo processo de ensino e as atribuições que ele permite, como manter a disciplina em sala, o modo como serão avaliados e de que forma podem conduzir os assuntos que serão abordados durante as aulas, com objetivo de que a aprendizagem seja alcançada, em virtude disso, tudo isso se enquadra no **Contrato didático**. (ALVES FILHO, 2012, p.123)

O contrato didático estabelecido no nosso projeto, permitiram que os alunos após as aulas práticas e expositivas, com auxílio do roteiro didático, pudessem elaborar suas próprias concepções a respeito dos experimentos utilizados, e assim serem avaliados, diante do processo, que mistura o lúdico com o desenvolvimento intelectual.

No **Setor de elaborações de conteúdo** (referência Epistemológica), deve-se ressaltar a importância do domínio de conteúdo transmitido pelo professor. Vista disso, o projeto do pão com transmissão eletromagnética, material pedagógico do trabalhado, não

nos limita aos assuntos atribuídos ao terceiro ano (eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo), pois se torna relevante lembrar os conceitos de mecânica referente ao primeiro ano. Cabe também a função do professor demonstrar como visualizar esses fenômenos através de outros fatos do cotidiano, observando as interpretações físicas da realidade, visando desta maneira a **Transposição Didática**.

“Um conteúdo do saber que foi designado como saber a ensinar sofre, a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que transforma um objeto do saber a ensinar em um objeto de ensino é denominado de Transposição Didática”. (ALVES FILHO, 2012, p.165)

Atualmente é inviável se pensar em passar conhecimento científico ao aluno, sem trazer demonstrações com os fatos que acontecem diariamente ao seu redor, pois isso implicaria a um saber vago, limitado apenas ao que o livro texto expõe. Baseado nesse problema, o aluno seria incapaz de solucionar problemas reais ou discorrer fisicamente sobre determinadas situações.

Por isso, há a transposição didática, quando utilizamos o pião de brinquedo da primeira etapa do projeto para demonstrar como ocorre o movimento rotacional e a condição de equilíbrio ligada ao centro de massa e vários outros conceitos. Ao introduzir os alunos à segunda etapa, em que estudamos as condições do mesmo movimento, usando apenas ideia de campo, conseguimos fazer com que os alunos pensassem outros modos alternados de reaver os mesmos fenômenos, porém com experimentos criados por eles.

### 3. A física do pião: abordagem sucinta no nível do ensino médio

Neste trabalho o Produto Educacional, tem como proposta uma sequência didática com atividades experimentais para ensinar o movimento rotacional com o uso do pião. Pensando nisso, foi idealizado um roteiro explicativo em formato PDF, com o propósito de que os alunos pudessem ter fácil acesso às informações pelo celular, visto que este dispositivo de comunicação é atualmente utilizado pela maioria dos alunos. E trazer o uso da tecnologia para fins produtivos em sala de aula, têm se tornado alvo de grande aceitação pela classe estudantil.

O roteiro didático criado para o projeto, traz a fundamentação teórica que será aplicado em conjunto com os objetos pedagógicos pertencentes as aulas práticas, tais como o pião, *beyblade* e o pião com transmissão eletromagnética. A cada fim de seção do livro existem quadrinhos que simplificam o conteúdo, caso ele tenha gerado dúvidas, devido o uso de alguns termos técnicos.

O pião é um objeto pertencente 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.

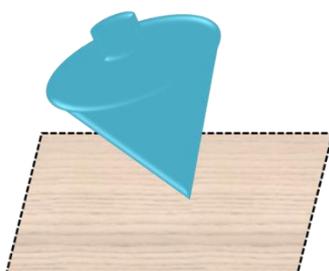
Segundo Cascudo (op. cit.), esse brinquedo tem sua origem na Antiguidade Clássica, onde na Grécia era conhecido por *strombos* e em Roma por *turbo*. O historiador Manson (2002, p.27) relata que o pião era um dos brinquedos de destreza utilizados pelas crianças da Antiguidade. Na *Ilíada*, esse brinquedo 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 discorreremos no trabalho por transmissão eletromagnética.

Mediante isso o trabalho desenvolvido trouxe o pião visto na Figura 2, 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.

Figura 2. O pião.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

O desenvolvimento cognitivo está relacionado ao uso dos brinquedos, como foi explicado na seção 2 item 2.4 com as teorias de Vygotsky. Ao fazermos o uso de alguns brinquedos durante a infância, não entendemos no momento a complexidade do seu funcionamento, mas sim as formas de como devem ser manipulados para brincar.

O desenvolvimento das teorias envolvidas no movimento do pião exigirá alguns conhecimentos de física que fazem parte dos conteúdos estudados durante o ensino médio, por isso trataremos de assuntos que envolvem desde a mecânica até o eletromagnetismo, como embasamento para melhor compreensão. Neste trabalho 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.

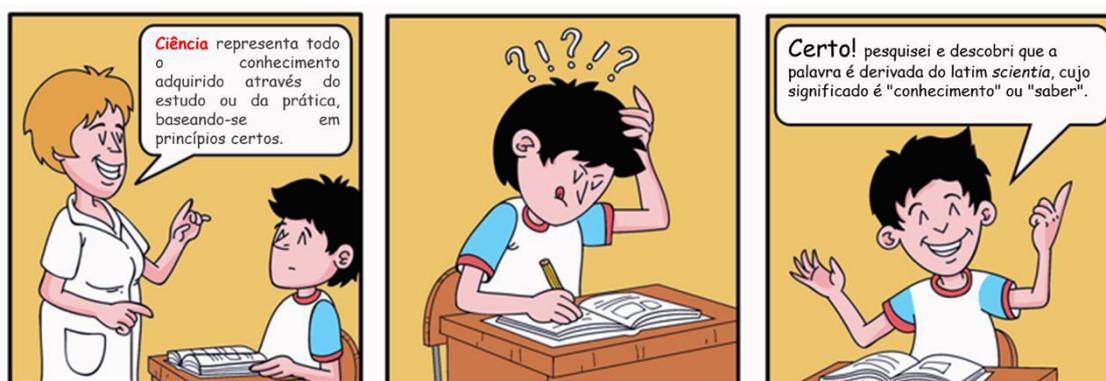


Ilustração – Flávio Coelho

### 3.1. 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*<sup>6</sup> 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.

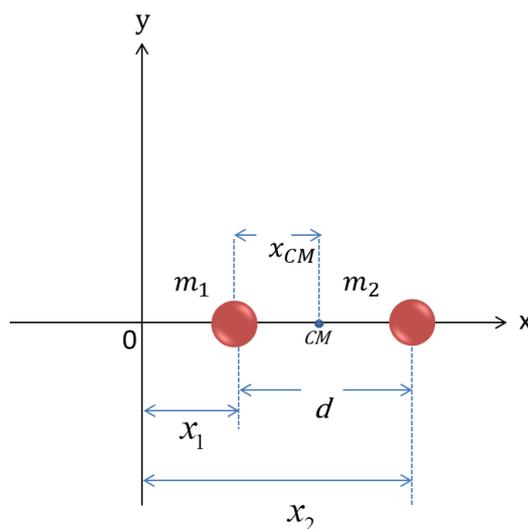
Com isso iremos compreender que para trabalhar na mecânica do movimento dos corpos sejam eles de dimensões desprezíveis ou não, é muito importante determinar o centro de massa.

Como ponto de partida, afirmamos que qualquer corpo é constituído por partículas<sup>7</sup> 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. Esse ponto recebe o nome de centro de massa (CM) ou centro de gravidade (CG) quando é submetido a forças gravitacionais.

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 3.

**Figura 3.** Representação gráfica de duas partículas no sistema em que o centro de massa foi encontrado a partir da Eq. 1.2.



<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> Partícula, é um conceito que admite várias acepções. Em geral, é usado para designar uma porção de dimensões muito reduzidas de matéria.

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:

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

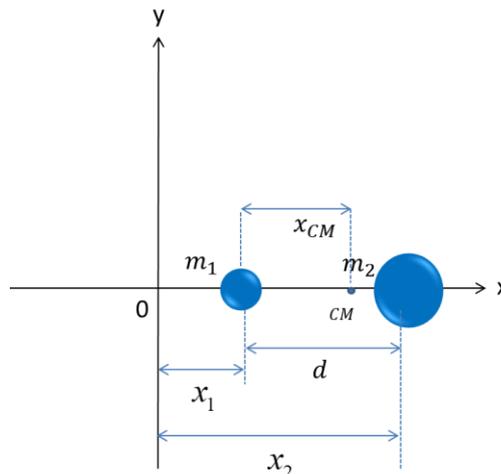
Sendo  $x_2 - x_1 = d$ ; e as massas por serem iguais ( $m_1 = m_2$ ), como observado na Figura 4, teremos:

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

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 formas regulares, neste caso, as partículas distribuídas por ele, irão possuir volume e densidades diferentes a exemplo da Figura 4.

**Figura 4.** Representação gráfica de duas partículas diferentes em que o centro de massa foi encontrado a partir da Eq.1.1.



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:

$$x_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_n x_n}{M} \quad (1.3)$$

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 a 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. 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 5 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 5.** 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:

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

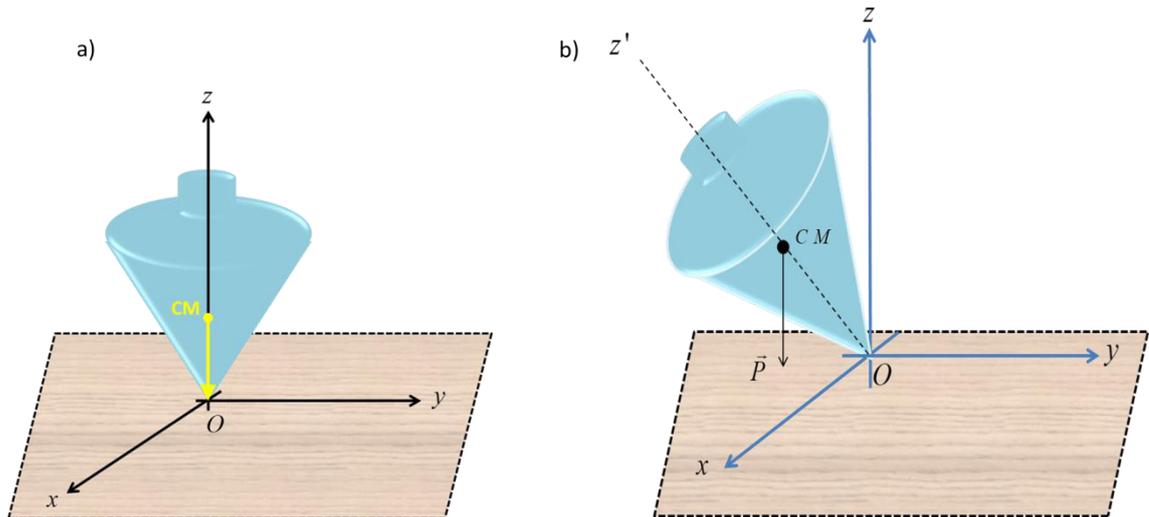
$$y_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i y_i \quad (1.5)$$

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

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 6.

**Figura 6.** Esquema da componente vetorial peso, atuando sobre o centro de massa do pião. a) pião em equilíbrio estável; b) Pião em equilíbrio instável.



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.



### 3.2. 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 4.1 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 variáveis será discutida nas próximas seções com a finalidade de demonstrar como elas atuam no caso específico do pião.

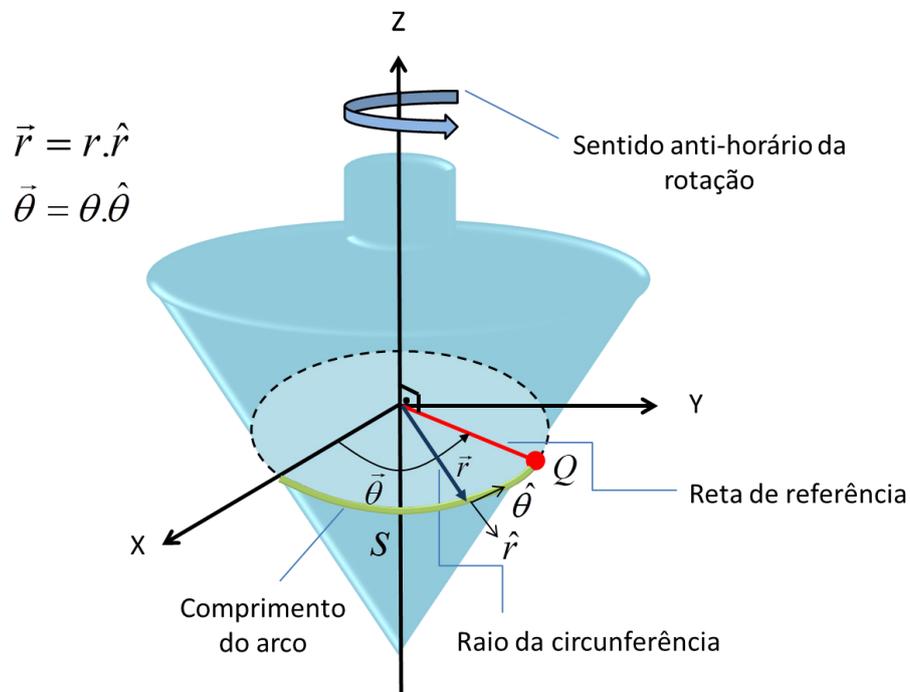
#### ✓ Posição angular ( $\theta$ )

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 diante 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  $\theta$  que se dista da reta referencial x fixa (reta de origem do movimento), como é visto na Figura 7. 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 7.** 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 7, 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:

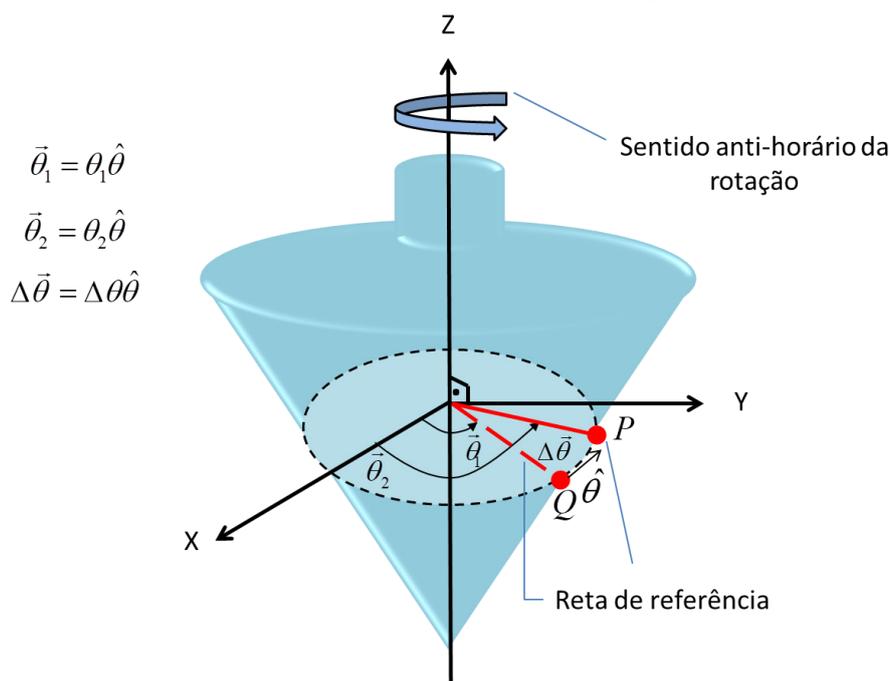
$$S = r \cdot \theta \quad (1.7)$$

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

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

Observando a Figura 8 verificamos que há a marcação de dois pontos  $Q$  e  $P$  no comprimento da circunferência.

**Figura 8.** Ilustração do descolamento angular.



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:

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

Em que  $\Delta t$  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 ( $\omega$ )

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.

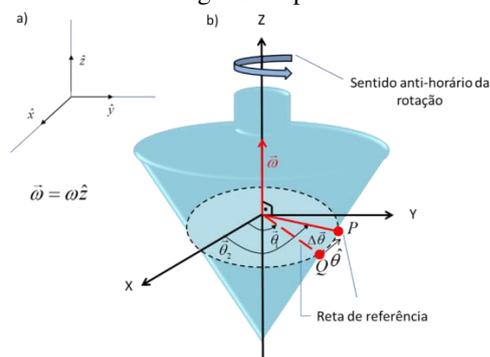
$$\omega_{méd} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1.9)$$

Em que  $\omega_{méd}$  é dada pelas unidades de medida radianos por segundo ( $rad/s$ ). 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 9.

**Figura 9.** 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  $2\pi$ , e é medido em radianos ( $rad$ ), dividido pela velocidade angular medido em radiano por segundo ( $rad/s$ ).

✓ Aceleração angular ( $\alpha$ )

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  $\omega_1$  no tempo  $t_1$  e à medida que se movimenta assume outra velocidade angular  $\omega_2$  no tempo transcorrido  $t_2$ .

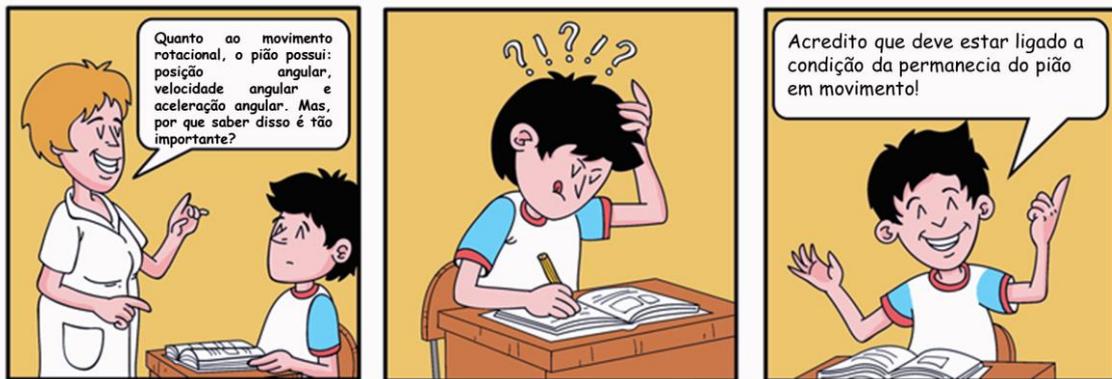
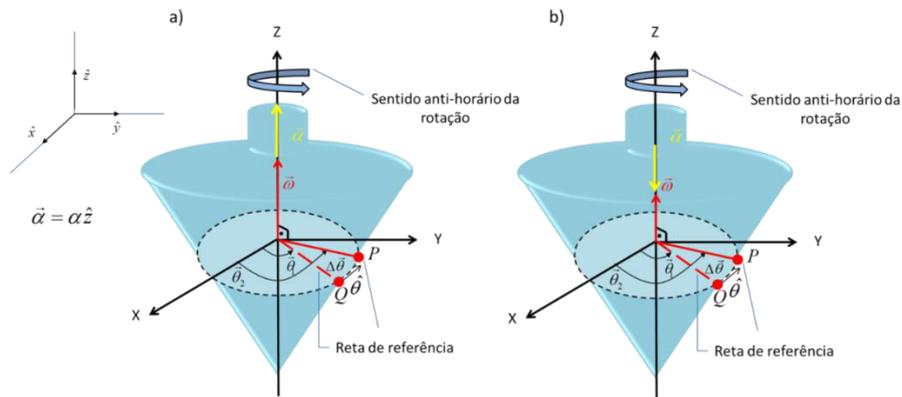
Além disso, podemos associar a aceleração angular com a aceleração linear, que será expressa por:

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

Em que  $a_{tg}$  é a aceleração tangencial a circunferência dada em ( $m/s^2$ ),  $\alpha$  é a velocidade angular dada em radianos ( $rad/s^2$ ) e  $r$  é a 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 11 (a), e sentido oposto quando a rotação diminui com o passar do tempo, Figura 10 (b). Esta aceleração é mesma para qualquer ponto ao se tratar do movimento rotacional de um corpo rígido, a exemplo o pião.

**Figura 10.** Em a) temos o vetor aceleração angular no sentido positivo; em b) temos o vetor aceleração angular no sentido negativo.



### 3.3. 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 11), que

consiste no movimento de piruetas no ar através de pequenos impulsos ao solo ocasionando o torque (assunto do item 4.5) 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 4.6), sua velocidade angular, a velocidade de sua pirueta, tem que aumentar, permitindo a mesma quantidade de impulso armazenado, para que ela gire continuamente<sup>8</sup>.

**Figura 11.** Ilustração de uma bailarina utilizando técnicas de física para o rodopio.



Fonte: Pâmella Ferreira (2018)

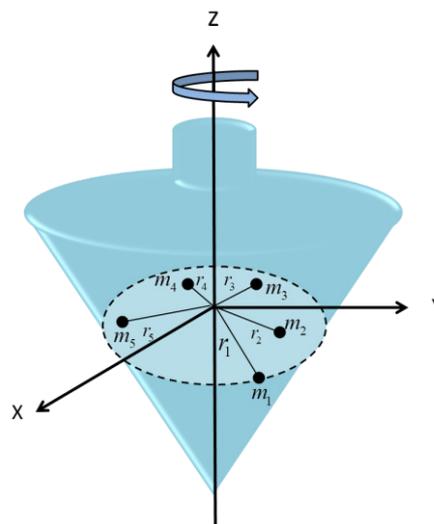
Sobre isso, voltamos ao caso do pião que sem a ação de qualquer força externa ele permanecerá parado sem nenhum movimento, mas a partir do instante que lhe é aplicado uma força, entrará em rotação. Esse movimento executado pelo pião estará exposto a interferências de forças externas, sejam elas o atrito 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 4.2.

<sup>8</sup> [Informação obtida em <https://modaballet.wordpress.com/2016/04/13/fouette-a-fisica-explica/> acessado 12 de mar 2018]

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 12, 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.

**Figura 12.** Posições das partículas em um corpo rígido com o raio associando cada partícula ao eixo de rotação.



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:

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

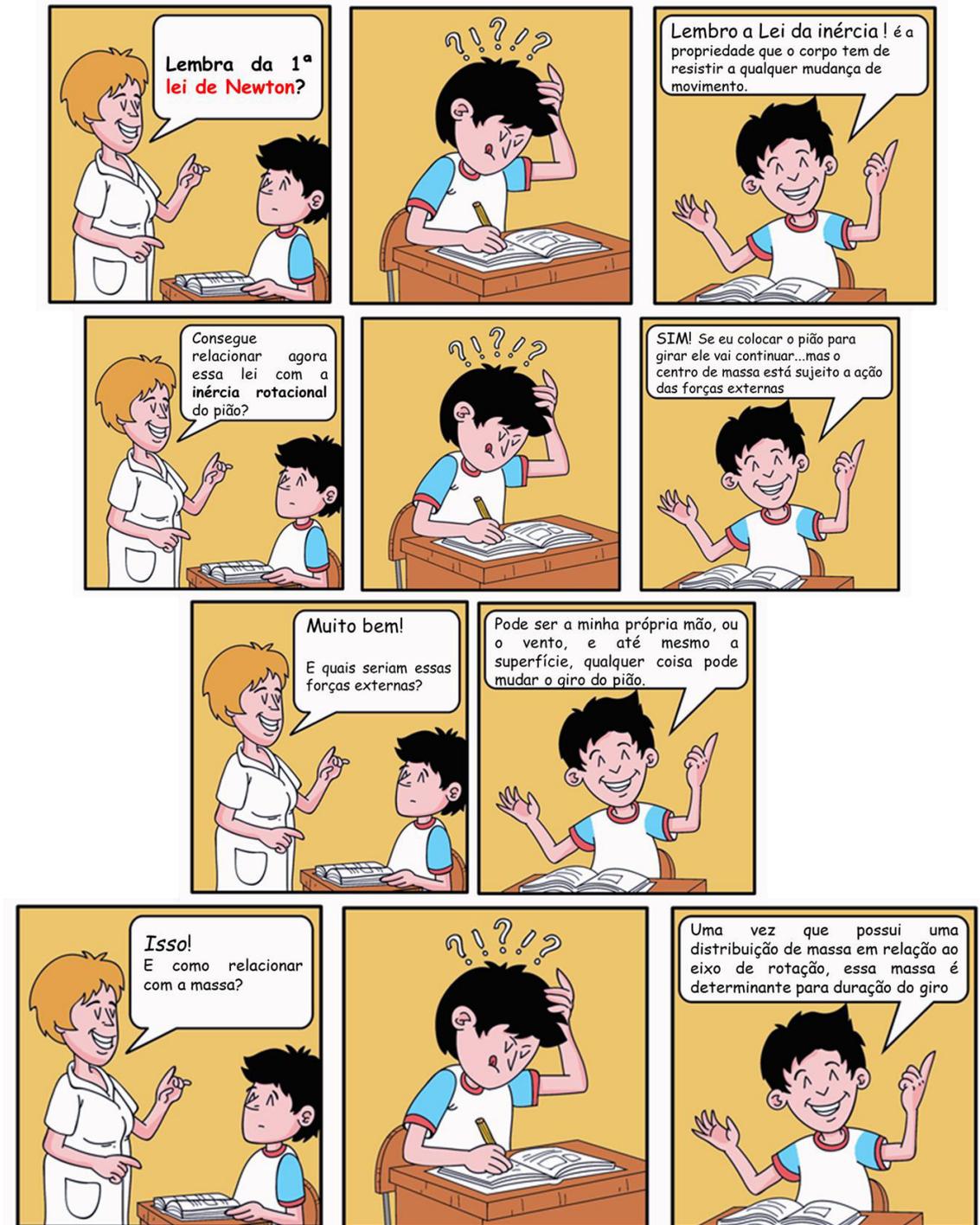
$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (1.1)$$

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 ( $kg.m^2$ ).

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)

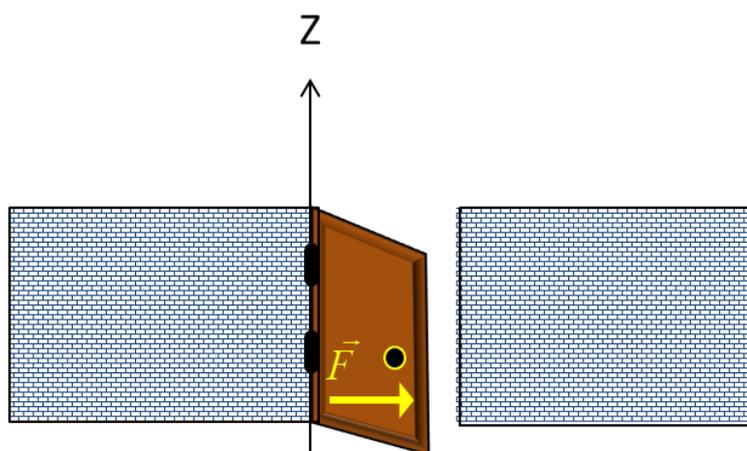
Sendo assim, para determinar o momento de inercia devemos saber em qual eixo está sendo adotado para rotacionar e como a massa está distribuída ao longo do corpo. Para assim, verificamos que quanto maior o momento de inércia maior será a força aplicada para pôr em movimentação e conseqüentemente maior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



### 3.4. Torque ( $\tau$ )

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 13.

**Figura 13.** A aplicação da força perpendicular à porta permite fazê-la rotacionar.



Existem muitas atividades no dia a dia que há aplicabilidade do torque, temos como exemplo o simples abrir de uma porta (Figura 13) 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 14.

**Figura 14.** Aplicação do torque em um golpe de judô.



Fonte: Ilustrador Luís Flávio Coelho Gonçalves.

Percebe-se na Figura 15, que o lutador de azul realiza torque no adversário, pois, aplica uma força para puxá-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 produzia 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 15.

**Figura 15.** Garoto ao brincar com o pião transmite o movimento através do torque produzido pelo barbante.



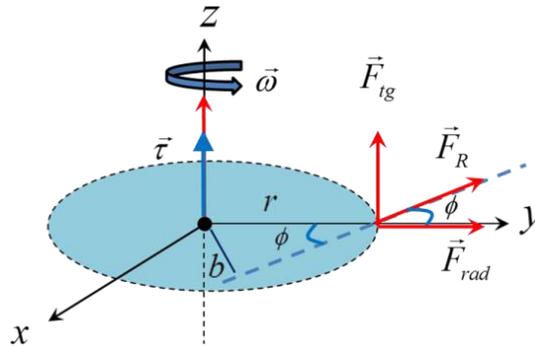
Fonte: Ilustrador Luís Flávio Coelho Gonçalves.

Observamos na Figura 15, 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 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 16 pode ser observada o conjunto de forças e os elementos desse sistema.

**Figura 16.** 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 o 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:

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

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 17) 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:

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

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:

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

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

Reorganizando a equação:

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

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

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

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. 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.

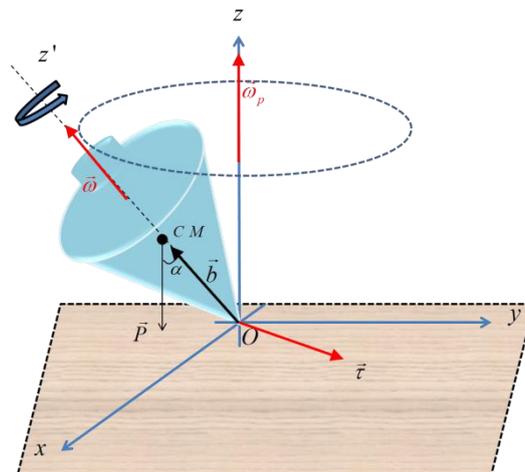
No início do capítulo, foi definido como encontrar o centro de massa do corpo rígido e a partir dele ficou definido o centro de gravidade do pião. É a partir desse ponto traçamos a componente da força peso que também é uma das forças que atuam no pião e é dada por:

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

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 17, observamos os componentes presentes no movimento.

**Figura 17.** 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:

$$\tau = Pb \sin \alpha \quad (1.26)$$

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 18. Quando a Segunda Lei de Newton é aplicada para o movimento rotacional o torque terá relação com momento angular que será discutido na próxima seção.

### 3.5. 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 inercia 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:

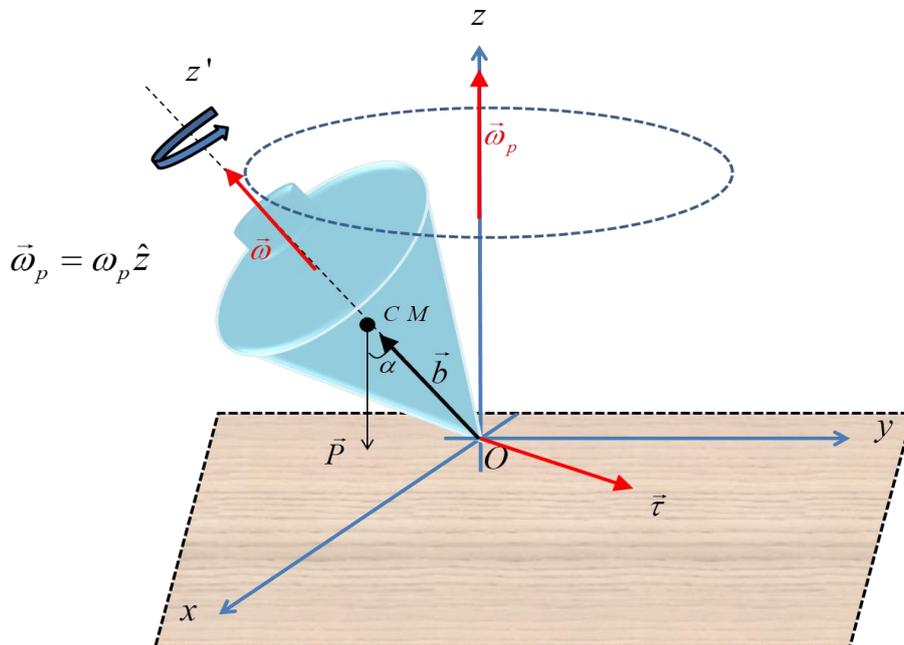
$$\frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} = \sum \vec{\tau}_{ext} \quad (1.28)$$

Sendo definida como a Lei fundamental da dinâmica das rotações na qual diz que  $\Delta \vec{L}$  é a variação do momento angular,  $\Delta t$  é a variação do tempo e  $\vec{\tau}_{ext}$  é o somatório de todos os torques externos que estão 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 18

**Figura 18.** O pião em rotação perde aos poucos 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:

$$\tau = Pb \sin \alpha$$

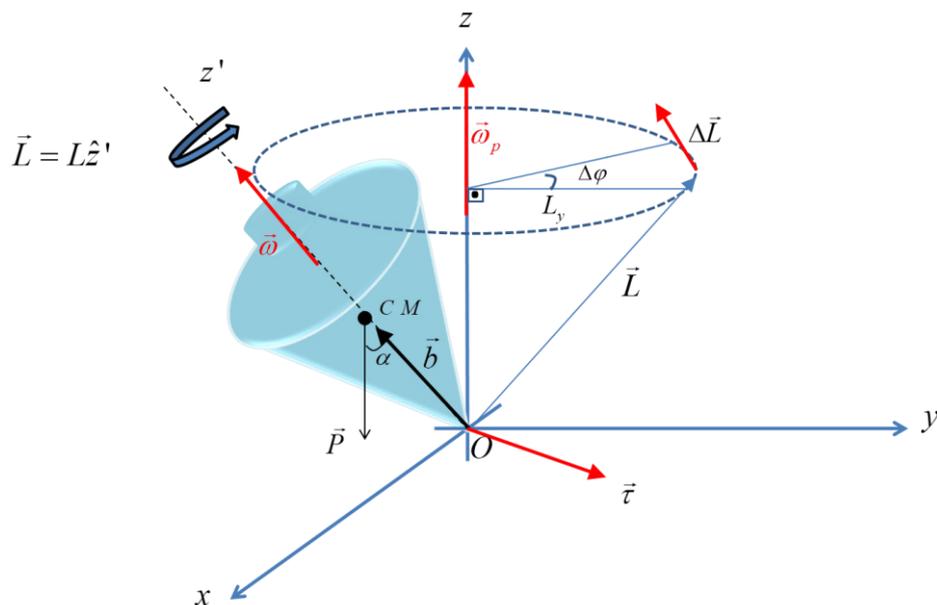
Substituindo na Eq. (1.28) teremos:

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

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

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 18 quando o pião realiza uma volta ele projeta a imagem de um cone que pode ser visto novamente na Figura 19.

**Figura 19.** 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:

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

Reorganizando:

$$\omega_p = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{P b}{L} = \frac{m g b}{L} \quad (1.34)$$

Lembrando que  $L$  foi definido na Eq. 1.28.

$$\omega_p = \frac{m g b}{I \omega} \quad (1.35)$$

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 4.2 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 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 experiência que ocorreu em 2004. Essa experiência consistiu em uma missão da NASA<sup>9</sup>, 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 roda<sup>10</sup>.

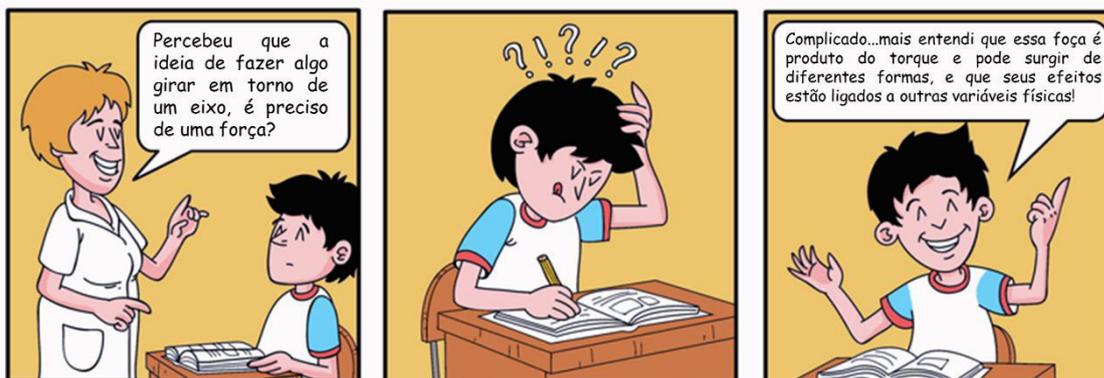


Ilustração – Flávio Coelho

### 3.6. 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

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> [Informação obtida em [http://www.ccvalg.pt/astrologia/noticias/2011/05/6\\_gravity\\_probe\\_b.htm](http://www.ccvalg.pt/astrologia/noticias/2011/05/6_gravity_probe_b.htm) acessado em 20 de mar 2018]

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 viabilização a eclosão do eletromagnetismo.

Destá 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”.

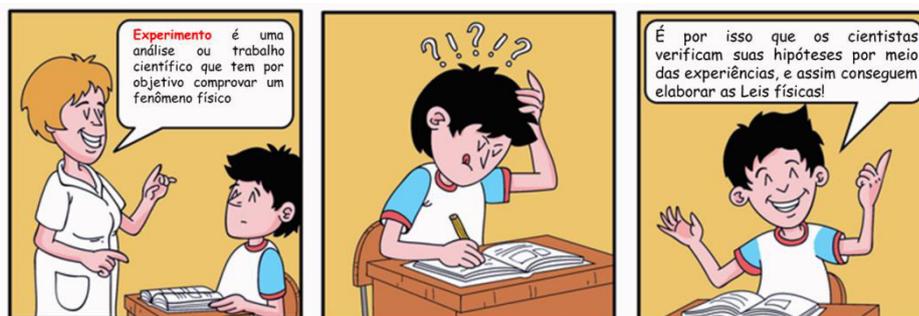


Ilustração – Flávio Coelho

### 3.7. 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 Mileto<sup>11</sup> (624 a.C.-558 a.C.) segundo relatos históricos ao esfregar uma resina fóssil

---

<sup>11</sup> Tales de Mileto, 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.

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 Gilbert<sup>12</sup> (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 cargas elétricas em movimento e para entendermos melhor sobre o movimento dessas cargas elétricas é necessária uma pequena leitura do item 4.12 que fala sobre a estrutura atômica.

---

<sup>12</sup> William Gilbert era físico, pesquisador e médico inglês. Tornou-se importante por seus trabalhos sobre magnetismo e eletricidade.

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.

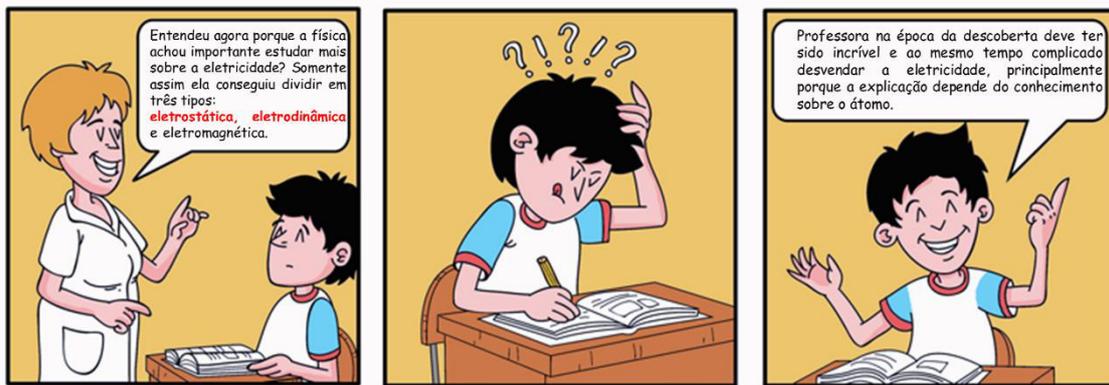
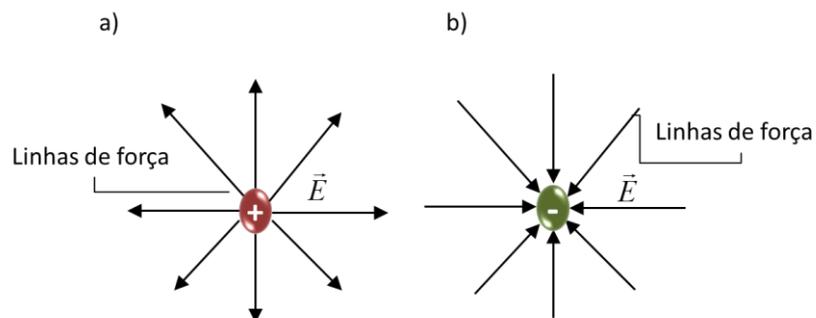


Ilustração – Flávio Coelho

### 3.8. 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 representando por linhas de forças e se comportam de maneiras diferentes que dependem da carga geradora, como podemos observar na Figura 20.

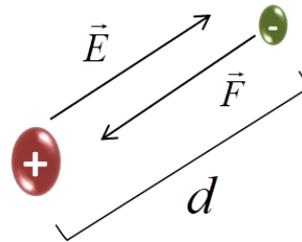
**Figura 20.** a) Comportamento das linhas de campo de uma carga positiva;  
b) Comportamento das linhas de campo de uma carga negativa.



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 21.

**Figura 21.** 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.

Continuando a observar a mesma Figura 22 poderemos ver como ocorre à 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.

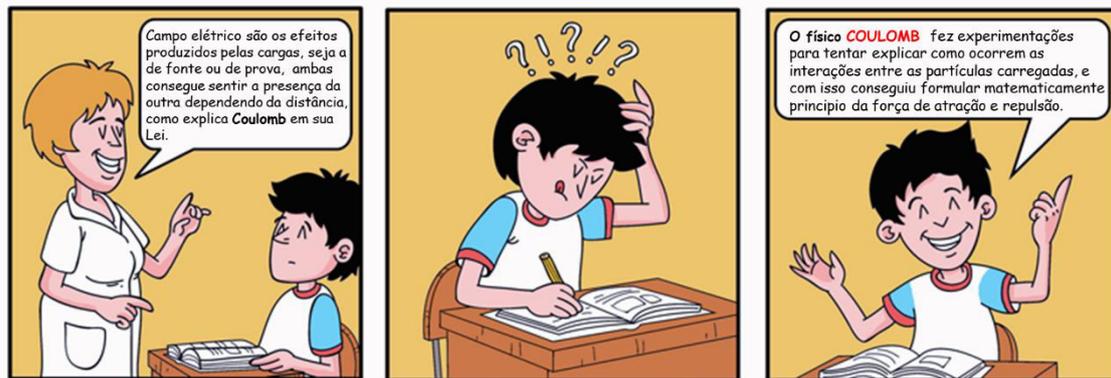
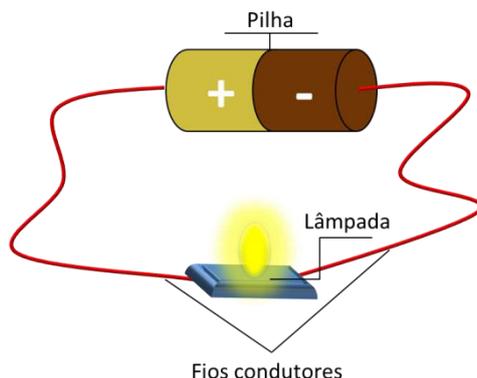


Ilustração – Flávio Coelho

### 3.9. Corrente elétrica

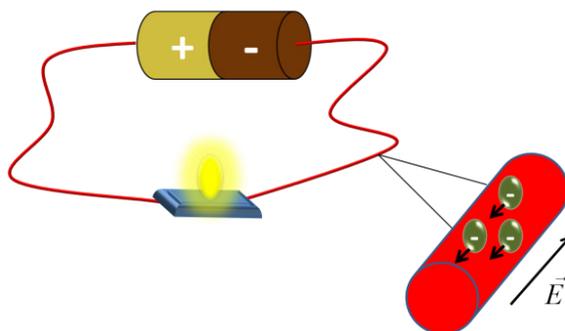
Diariamente estamos em contato com a energia elétrica, seja em o simples acender de uma lâmpada ou no uso do micro-ondas, ar-condicionado e mais variados aparelhos que precisam da eletricidade. É por esse motivo que iremos explicar de maneira simples através de um experimento comum, como ocorre à geração 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 22.

**Figura 22.** 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 23.

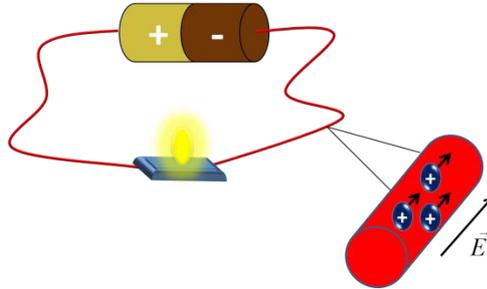
**Figura 23.** Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido dos elétrons em um condutor metálico.



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 24.

**Figura 24.** Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido das cargas positivas em um condutor metálico.



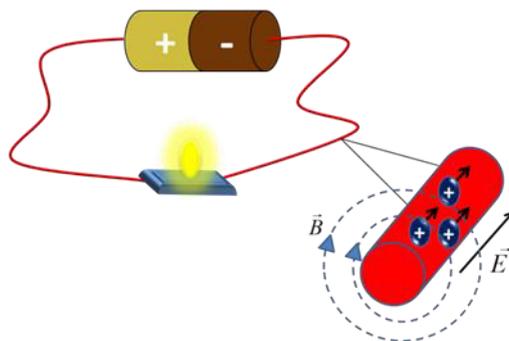
Na figura acima verificamos o sentido convencional da corrente com o deslocamento das cargas imaginárias positivas no sentido do campo elétrico. Essa definição de corrente elétrica pode ser expressa matematicamente como:

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

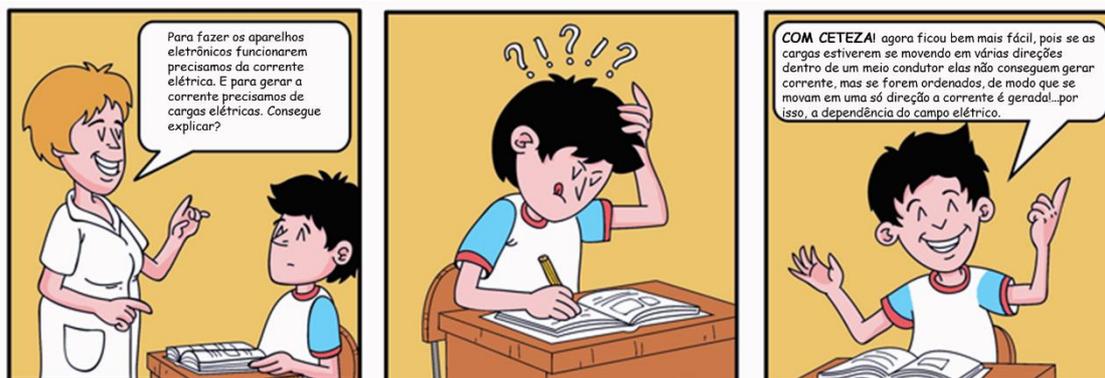
Em que  $i$  é a corrente elétrica dada pela unidade de medida Ampère ( $A$ ),  $\Delta Q$  é quantidade de carga dada em Coulomb ( $C$ ), e o tempo  $\Delta t$  dado em segundos ( $s$ ). Portanto, pela Equação 2.3 temos que a corrente elétrica depende da quantidade de carga que atravessa um fio condutor 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 25, esses fenômenos ligados ao magnetismo serão estudados com exatidão nos próximos capítulos.

**Figura 25.** Campo magnético produzido por uma corrente elétrica.



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 paramagnético<sup>13</sup>, depende do acoplamento ao motor que transforma energia elétrica em mecânica.



### 3.10. 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).

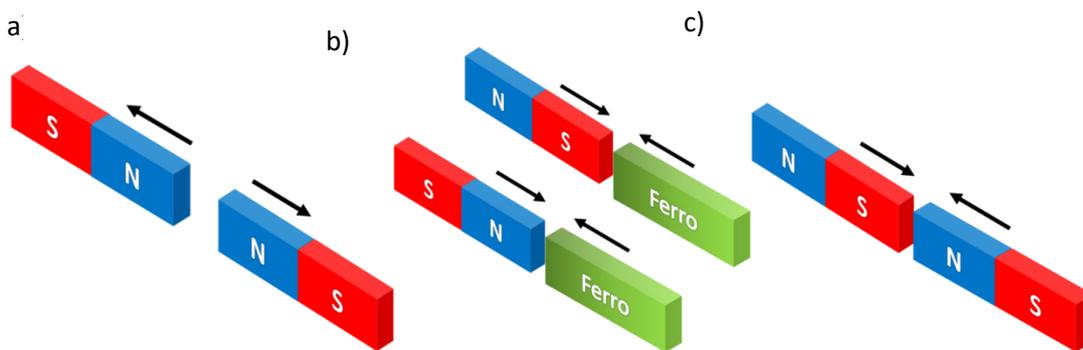
Houve quem fez o uso da pedra para as mais variadas criações como monumentos e objetos como a bússola, com o intuito da “adivinhação”. Porém, um dos inventos mais relevantes que dimensionou um “salto” nas civilizações surgiu quando os chineses conseguiram criar um método de localização no espaço por 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 26. Em (a), temos a interação entre dois imãs de barra; ambos

<sup>13</sup> Os materiais paramagnéticos são explicados no item 4.14 e o funcionamento do disco paramagnético está no item 4.17.

se repelem por estarem com os mesmos polos aproximados. Em (b), temos dois ímãs com polos diferentes, que, ao se aproximarem do ferro, ocorre uma atração. Em (c), dois ímãs, 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.

**Figura 26.** a) Ímãs com polos iguais sendo repelidos; b) Ímãs sendo atraídos pelo ferro; c) Ímãs 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?

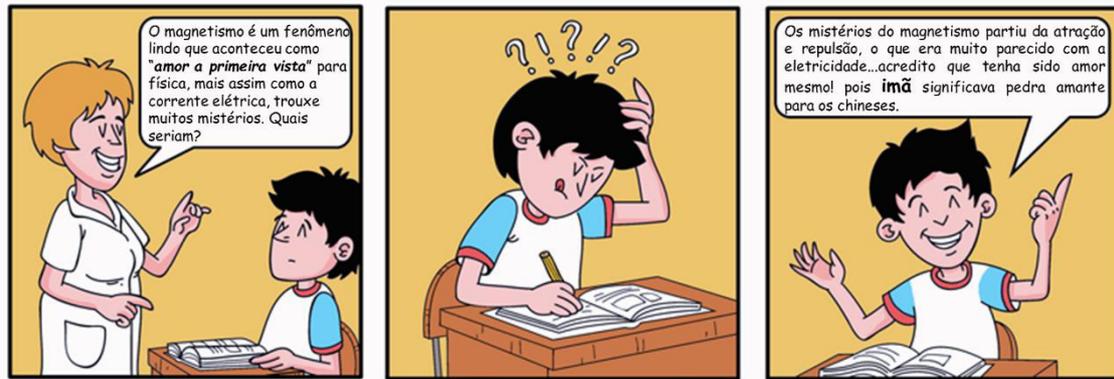


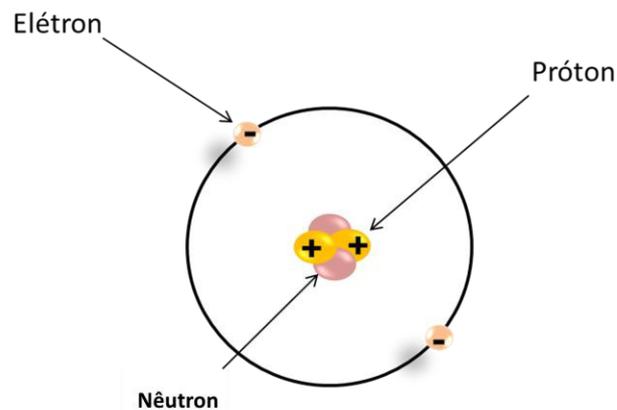
Ilustração – Flávio Coelho

### 3.11. 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 27, a qual se refere a um esquema ilustrativo, pode-se observar a disposição de cada constituinte.

Figura 27. 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 imãs 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 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

### 3.12. Campo magnético

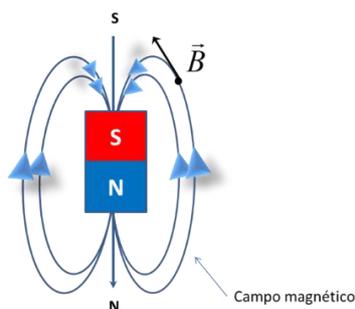
Retornemos agora ao questionamento sobre os efeitos que um polo magnético gera sobre o outro mesmo sem haver qualquer contato entre eles. Para isso, devemos concluir que a fundamentação recai na necessidade de compreender a estrutura microscópica peculiar do imã. Para tal, a mecânica quântica responsável 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 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 28.

**Figura 28.** 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 contém em seu interior quatro ímãs com polos magnéticos alternados entre sul e norte para promover à atuação do torque.



Ilustração – Flávio Coelho

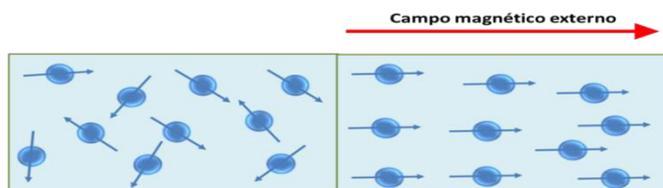
### 3.13. Propriedade magnética dos materiais

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 29 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, sódio<sup>14</sup>

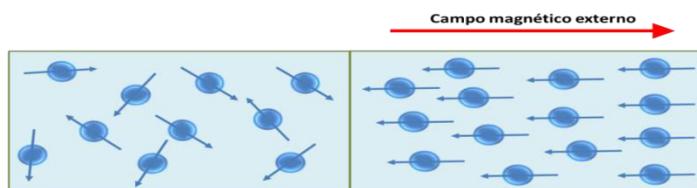
**Figura 29.** Comportamento dos elétrons de um material paramagnético antes e depois da aplicação de campo magnético externo.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

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 30, a exemplo desses materiais temos, ouro, prata, cobre / bismuto, grafite (de forma mais intensa)<sup>15</sup>.

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



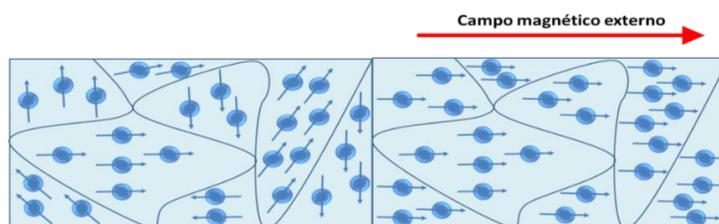
Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

<sup>14</sup> [Informação obtida em [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_materiales.htm/](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/) Acessado em 21 de janeiro de 2018].

<sup>15</sup> [Informação obtida em [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_materiales.htm/](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/) Acessado em 21 de janeiro de 2018].

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 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 31 podemos verificar uma ilustração de como os elétrons se comportam dentro do material ferromagnético.

**Figura 31.** Comportamento dos elétrons de um material ferromagnético antes e depois da aplicação de um campo externo.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

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, cobalto<sup>16</sup>.

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 Oersted<sup>17</sup> ao qual veremos mais adiante.

<sup>16</sup> [Informação obtida em [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_materiales.htm/](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/) Acessado em 21 de janeiro de 2018].

<sup>17</sup> Hans Christian Oersted nasceu em 14 de agosto de 1777, em Rudkøbing, na Dinamarca. Seus estudos foram extremamente importantes porque abriram caminho para o desenvolvimento do eletromagnetismo.

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 disco<sup>18</sup>. 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.



Ilustração – Flávio Coelho

### 3.14. 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.

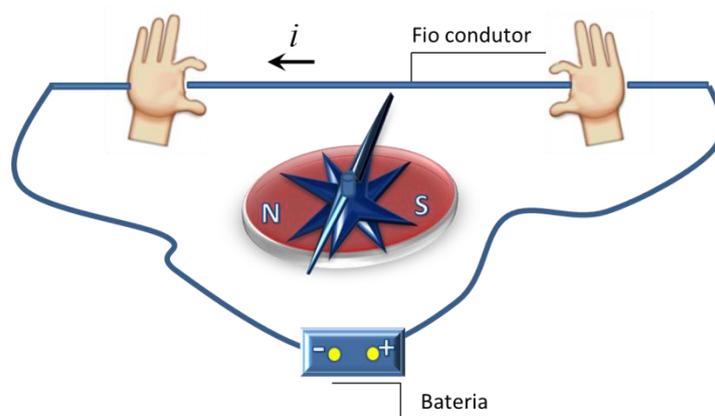
Foram relevantes e promissores cada descobrimento em relação à eletricidade e o magnetismo, pois concatenar as ideias e os relacionar foram umas das missões dadas ao século XIX em que atingiu o primeiro desenlace com o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851).

O experimento de Oersted (Figura 32) 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,

<sup>18</sup> O disco rígido (HD) de computador é feito de alumínio.

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 32.** Ilustração do experimento de Oersted.



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 Faraday<sup>19</sup> (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”.

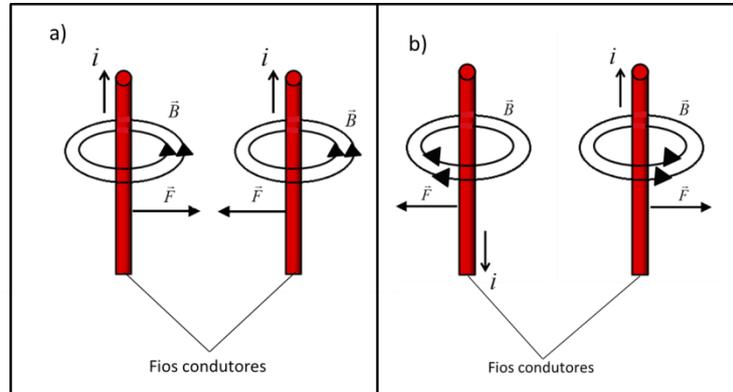
Durante os estudos Faraday busca refazer o afamado experimento realizado por Oersted verificando a também propriedade que a corrente ao passar por um condutor tem de atrair o ferro. Instigado com essas afirmativas o francês físico, cientista e matemático André-Marie Ampère<sup>20</sup> (1775-1836) testa colocando lado a lado dois fios condutores e

<sup>19</sup> 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).

<sup>20</sup> 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

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 33), com isso ele define o magnetismo como efeito elétrico secundário.

**Figura 33.** a) Correntes percorrendo no mesmo sentido nos fios condutores; b) correntes em sentidos contrários em fios condutores.



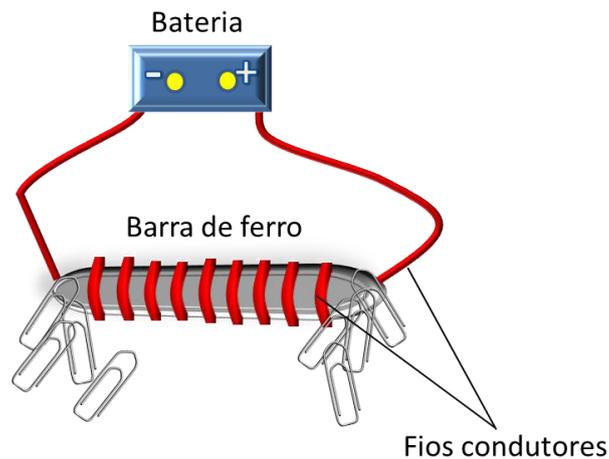
Essa teoria proposta por Ampère não teve muita aceitação por parte de Faraday, pois havia inconsistência, já que o conhecido era que os opostos se atraem.

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 Arago<sup>21</sup> (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 34.

fenômenos elétricos e magnéticos foram apresentadas em conjunto na obra que o imortalizou: Teoria dos Fenômenos Eletrodinâmicos, inteiramente deduzida da experiência, publicada em 1826.

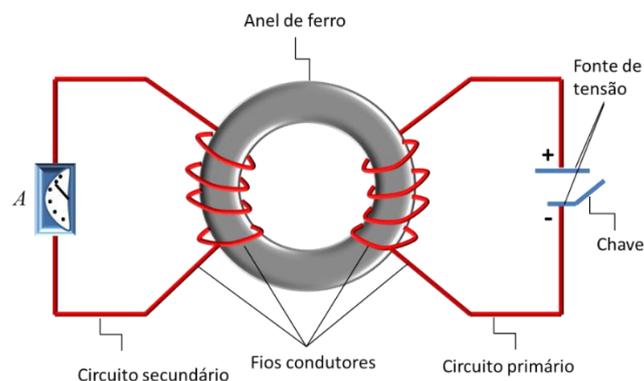
<sup>21</sup> Dominique François Jean Arago físico, astrônomo, político e abolicionista francês nascido em Estagel, cujas pesquisas no campo da física encerraram a discussão sobre a natureza da luz, confirmando a teoria ondulatória e descartando a antiga hipótese corpuscular. Descobriu o princípio do magnetismo de rotação (1824).

**Figura 34.** 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 e 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 35.

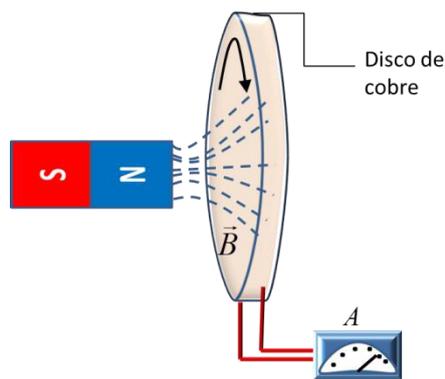
**Figura 35.** Experimento ilustrativo de Faraday.



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 imã, resultando na geração de corrente elétrica no sistema com isso ele fundamenta a teoria de indução (Figura 36). (CRUZ, 2005, p.125)

**Figura 36.** Ilustração do experimento de Faraday sobre corrente de indução.

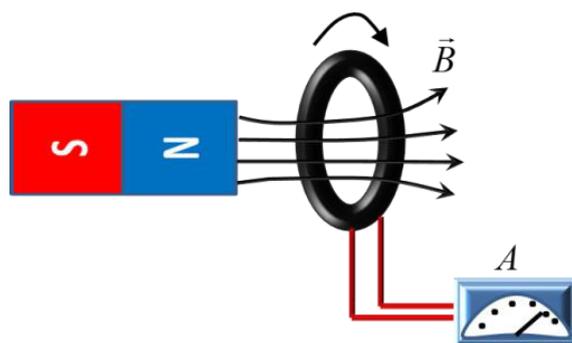


Em que  $\vec{B}$  é o vetor indução magnética e  $A$  é o aparelho (Amperímetro) que mede corrente elétrica, ambos foram explicados nos capítulos anteriores.

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

Fica constatado a partir dessa experiência mostrada na Figura 37, que se o ímã estiver estático em relação à espira não haverá corrente induzida, do contrário quanto mais rápido for à movimentação do ímã maior será a corrente.

**Figura 37.** Experiência de Faraday, as linhas de campo magnético do ímã 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  $\varepsilon$  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  $\Delta t$  segundos ( $s$ ) para realizar essa variação. O sinal negativo presente na equação é explicado pela Lei de Lenz<sup>22</sup> – 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. 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.

---

<sup>22</sup> Lei proposta pelo físico russo Heinrich Lenz em 1833.

O escocês, físico e matemático James Clerk Maxwell<sup>23</sup> (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 cognição<sup>24</sup>, 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 explicá-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 já calculada

---

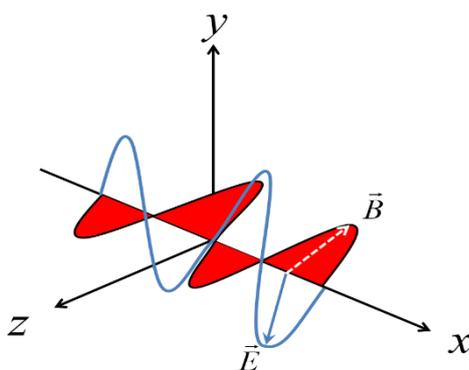
<sup>23</sup> James Clerk Maxwell físico e matemático escocês, estabeleceu a relação entre eletricidade, magnetismo e luz. Suas equações foram a chave para a construção do primeiro transmissor e receptor de rádio, para compreensão do radar e das micro-ondas.

<sup>24</sup> Área do conhecimento que se propõe ao estudo da estrutura e funcionamento do pensamento.

experimentalmente por Fizeau<sup>25</sup> e Foucault<sup>26</sup>. 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 38.

**Figura 38.** 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.

---

<sup>25</sup> 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.

<sup>26</sup> 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.

Durante nosso experimento podemos relacionar claramente as leis de Faraday e de Lenz, pois quando colocamos o pião acoplado com o imã 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.

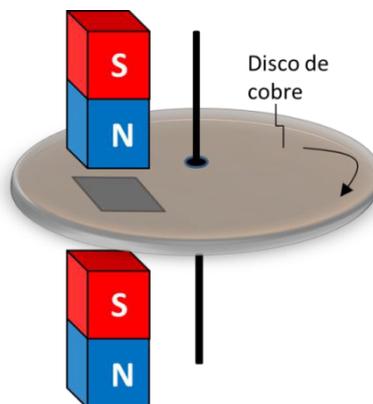


Ilustração – Flávio Coelho

### 3.15. 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 imãs como observado na Figura 39.

**Figura 39.** Disco de cobre rotacionando entre dois imãs produzindo as correntes de Foucault.



Sabe-se que os ímãs como apresentado no item 4.11 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 41 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 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 4.13, 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 4.19.



Ilustração – Flávio Coelho

### 3.16. Conhecendo o dispositivo do 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

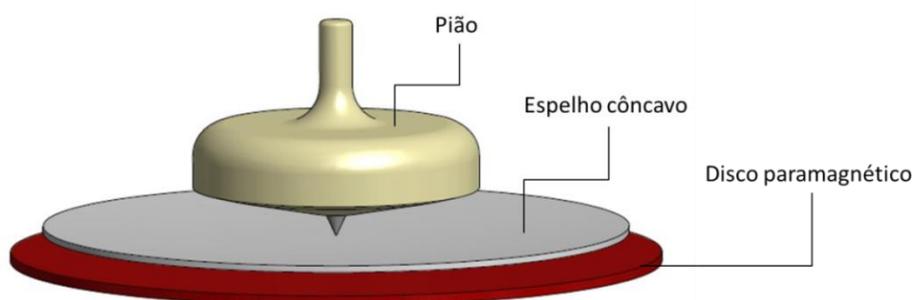
escala com o intuito de abranger a rede de ensino básica e superior, sendo de grande apoio na construção do conhecimento, pois contempla vários assuntos da física que estende da clássica a moderna.

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 40 observamos o modelo esquemático do experimento.

Figura 40. Ilustração simplificada do modelo experimental do pião.



Fonte: Ilustrador Carlos César Costa (2017)

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

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 4.14) e um imã, 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 4.15). O imã 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 4.16).

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.

### **3.17. Conhecendo cada parte do experimento**

Após observar o funcionamento do pião com transmissão eletromagnética é perceptível que enquanto não cessar a corrente elétrica ele continuará em um giro interrompível (inércia 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”.

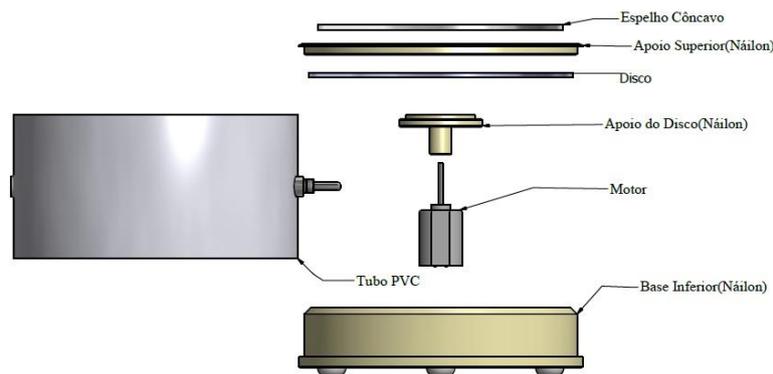
#### **a) A BASE**

A base (Figura 41) 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 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 41.** Detalhamento de cada elemento que compõe a base.

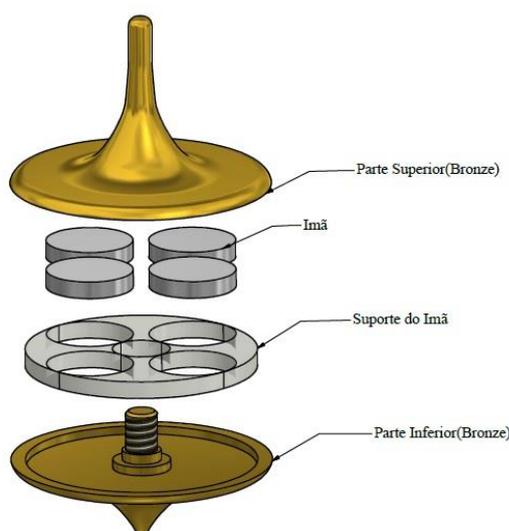


Fonte: Ilustrador Carlos César Costa (2017).

## 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 42). 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 42 pode-se visualizado todas as partes pertencentes às estruturas externas e internas e o modo como estão organizados dentro do pião.

**Figura 42.** Ilustração da estrutura do pião com transmissão eletromagnética.



Fonte: Ilustrador Carlos César Costa (2017).

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.

### **3.18. Como funciona?**

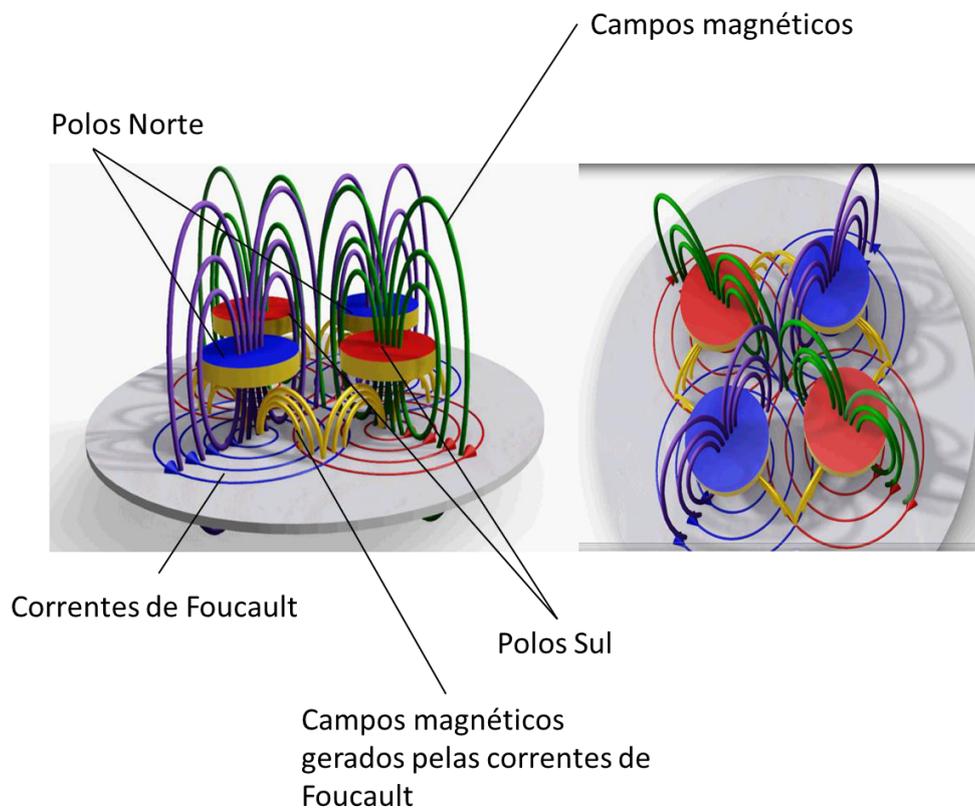
Ao ligar a fonte que está conectada a base percebemos que o pião rodopia incessantemente, ou seja, há realização de movimento mecânico, mas não existe nenhum tipo de ligação direta entre o pião e a base, por isso devemos trabalhar com a concepção de que existam forças no sistema que podem agir a distância 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 4.14 (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 4.15.

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 43.

**Figura 43.** Demonstração ilustrativa das linhas de força do campo magnético e da Corrente de Foucault



Fonte: Ilustrador Carlos César Costa (2017).

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

#### **4. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL NA ESCOLA**

O presente trabalho foi direcionado aos alunos do 3º ano do ensino médio com idades entre 16 e 18 anos no período matutino da escola privada Paralelo situada na localização Vinhais na cidade de São Luís do Maranhão.

E tem a proposta de envolver a comunidade escolar com exposições que levem a outras turmas a terem contato com a ciência e tecnologia fazendo comparações com a realidade do cotidiano.

Durante o processo é dever relacionar o conhecimento científico com a realidade, para isso o uso do experimento do pião por transmissão eletromagnética permite o aluno relembrar do simples pião de funcionamento mecânico presente na infância, com o intuito de colher conhecimentos prévios<sup>27</sup> para assim relacionar com os conceitos científicos.

A escola divide os conteúdos em períodos bimestrais, que também são destinados a avaliação do aluno. Dentro de cada bimestre são reservados semanalmente três aulas de física contendo 50 minutos cada. Em virtude disso as aulas serão divididas para apresentar o projeto juntamente com um questionário que viabilizará uma avaliação diagnóstica de todos os conceitos que se deseja alcançar. Deste modo dividiremos o trabalho em etapas.

##### **1ª etapa**

Trabalhar os conceitos do movimento rotacional do pião com os conteúdos do 1º ano do ensino médio. Para esse momento utilizaremos um roteiro didático que descreve a física em conjunto com os experimentos que serão demonstrados, com intuito da aprendizagem de forma lúdica, aplicando a metodologia *Flipped classroom*<sup>28</sup> (sala de aula invertida) possibilitando a todos fazerem uma leitura antecipadamente para melhor acompanhamento durante a aula expositiva juntamente com o uso do pião mecânico, sempre propondo um paralelo com a brincadeira e deixando o espaço para responder as

---

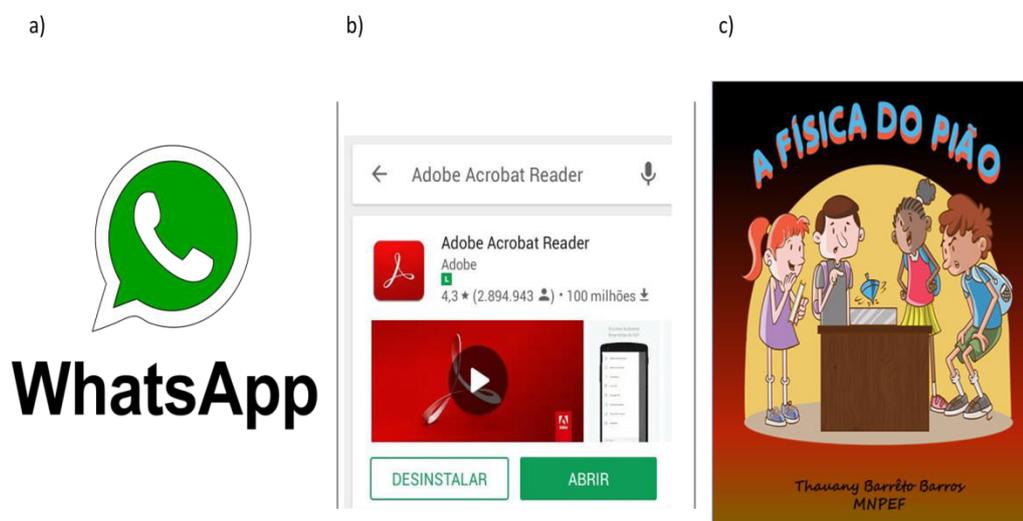
<sup>27</sup> Antes do professor iniciar a abordagem de um conteúdo, ele identifica o que a turma efetivamente conhece sobre o que será tratado.

<sup>28</sup> A sala de aula invertida é um modelo de ensino que coloca o aluno mais participativo e menos passivo em relação as aulas, pois com o auxílio de tecnologias, o estudante tem acesso prévio ao conteúdo curricular básico das aulas e estuda antes de ir para a escola, ocasião em que discutirá com colegas e professor os assuntos já vistos em casa.

questões vigentes ao movimento. A partir das respostas obtidas através do roteiro didático poderá ser feita uma avaliação qualitativa expressando-as em quadros.

O roteiro didático é repassado aos alunos via *watsapp*<sup>29</sup>, nesse roteiro os alunos poderão trabalhar livremente escrevendo suas observações e colocando suas dúvidas, pelo próprio celular. Com isso, é pedido para todos os alunos procurar no *play store*<sup>30</sup> do seu celular o aplicativo *Adobe Acrobat*<sup>31</sup>, é através desse aplicativo que poderemos fazer qualquer observação e edição no material. O aplicativo serve para a leitura do roteiro viabilizando aos alunos mais praticidade e tecnologia para o professor obter um *Feedback*<sup>32</sup> de cada grupo.

**Figura 44.** Em a) O aplicativo whatsapp; em b) O aplicativo de edição do pdf e c) O roteiro didático.



Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018)

Na Figura 44, está representada as ferramentas que serão utilizadas ao longo do projeto, posto que no final dos encontros o professor recebe o roteiro didático via *watsapp* de cada grupo e com ele as edições feitas pelos alunos, no caso de observações, respostas dos questionários e dúvidas sobre as informações contidas no roteiro.

<sup>29</sup> É um software para smartphones utilizado para troca de mensagens de texto instantaneamente, além de vídeos, fotos e áudios através de uma conexão à internet.

<sup>30</sup> É uma loja virtual do Google para celulares com o sistema Android. Nela é possível encontrar todos os aplicativos destinados à plataforma, assim como jogos, músicas, filmes e livros.

<sup>31</sup> É o programa oficial da Adobe para criação, edição e conversão de documentos em PDF. O usuário poderá organizar, gerenciar e mesclar diversos documentos de texto em um PDF para deixar a leitura mais agradável e prática

<sup>32</sup> O feedback é uma ferramenta importante para que os alunos saibam em que precisam melhorar e quais comportamentos foram positivos, gerando uma conscientização valiosa para o processo de aprendizagem, pois evidencia ao aluno as dissonâncias entre o resultado pretendido e o real, gerando motivação para a mudança.

As atividades desenvolvidas no trabalho serão em grupos, pois como afirmado por Vygotsky, o brinquedo promove a interação entre os indivíduos por meio da brincadeira, proporcionando a evolução cognitiva, através da troca de pluralidade de pensamentos, o que eleva a elaboração dos conceitos científicos que estão divididos em conceitual, procedimental e atitudinal, vistos nos itens 2.3 e 2.4.

A sala foi constituída de três grupos ao qual chamaremos de A, B e C, para cada questionário será montado uma tabela que mostrará as diferentes respostas apresentadas por cada conjunto de alunos. Os questionários estarão presentes nos livros e o professor terá o *Feedback* das respostas podendo transcrever para tabela ao fim de cada aula com a finalidade de reavaliar a metodologia, se houve os objetivos alcançados ou não.

## **2ª etapa**

Essa etapa ocorre, após a sedimentação da física que envolve a mecânica rotacional do pião, sendo possível aprofundar o aprendizado dos alunos possibilitando a eles pensamentos mais complexos a respeito dos mesmos mecanismos. Com isso vamos agregar o experimento principal desse trabalho que é propor a existência de fenômenos elétricos e magnéticos ao pião, que são os principais assuntos vistos no conteúdo didático proposto ao 3º ano do Ensino Médio.

Para isso, como forma de primeiro contato é feito a apresentação do experimento, mostrando a reação do pião quando ligado a base à eletricidade. E como forma de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos, passaremos a um novo questionário. A partir de então, iniciaremos os estudos do Capítulo 2 do roteiro didático com as respectivas atividades ao final de cada assunto, sempre relacionando com o experimento do pião com transmissão eletromagnética.

Ao fim, aplicaremos o ultimo questionário com objetivo de avaliar todo o conteúdo didático, e aplicar também o Questionário de Opinião, como forma de analisar a metodologia.

## 5. SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM AS ATIVIDADES PROPOSTAS

A aplicação do Produto Educacional foi dividida em aulas passando por cada etapa do processo significativo de aprendizagem, ou seja, experimentação e observação. Primeiramente são obtidos os conhecimentos prévios e a partir deles pode-se trabalhar a abordagem pretendida e por fim, feita as análises das respostas a partir de um novo questionário.

### ✓ Aula 1

No dia 5 de março iniciamos a primeira etapa de aplicação do projeto, com o quantitativo de 1h e 30min de aulas consecutivas, mediante isso, nos primeiros momentos apresentou-se o cronograma das atividades que seriam realizadas e como seriam realizadas, juntamente com os conteúdos que iríamos estudar, foi mostrado como ficaria à disposição das equipes, e quais alunos trabalhariam juntos até o fim do projeto. A distribuição das equipes A, B e C, fez-se da seguinte maneira:

**Quadro 1.** Distribuição dos grupos

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Taiana Maria	Ana Beatriz	Giovanna Antoníere
Bianca Safyra	Ozéia Rodrigues	Laura Vitória
Rodrigo Melo	Flávia Nayana	Aurélio Matheus
Olivia Franca	Lais Vieira	José Ribamar
Maryane Amorim	Álvaro Luis	Thamires Regina
Lohan Vitor	Pâmella Ferreira	Jeferson Breno

Logo após a formação das equipes, distribuímos o pião de brinquedo (pião feito com material de plástico), a seguir, foi pedido que brincassem como quisessem observando de que modo a física poderia ser aplicada (Figura 45). Com base nisso, elaborou-se o seguinte questionário disposto no quadro 2.

**Figura 45.** Em sequência aplicamos um questionário e obtivemos as seguintes respostas a seguir.



**Quadro 2.** Conhecimento prévio dos grupos proposto sobre o pião.

Como o pião não cai? Porque ele fica equilibrado? Porque ele fica “balançando”?	
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Porque ele adquire equilíbrio e estabilidade de acordo com a sua rotação.</li> <li>✓ Porque o seu movimento inicial é constante.</li> <li>✓ Porque ele vai perdendo sua estabilidade, onde a velocidade e o seu formato influenciam nos balanços.</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Porque a ponta é fina e equilibra o peso do pião.</li> <li>✓ Quando ele gira, o peso dele se concentra em um único lugar.</li> <li>✓ Porque ele perde força e sua concentração se dispersa, perdendo o equilíbrio.</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ O pião não cai porque a superfície de contato entre o pião e a superfície onde ele está girando é menor e também porque a massa fica equilibrada.</li> <li>✓ Ele fica equilibrado porque a força que ele exerce nas diferentes direções é a mesma.</li> <li>✓ Ele fica "balançando" porque conforme a velocidade vai diminuindo ele vai perdendo força e consequentemente o equilíbrio.</li> </ul>

Essas respostas foram coletadas com a intenção de fazer uma análise dos conhecimentos prévios dos alunos. É verificado com base nas respostas, que todos os grupos perceberam que há uma relação existente entre, peso, massa, velocidade, rotação, força e formato. A partir disso, será permitido o 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.

Com base nos textos desenvolvidos acerca da física que envolve a mecânica do pião, foi acordado que todos pudessem fazer uma leitura antes dos encontros em sala de aula, visto que o livro é digital e de fácil acesso a todos os integrantes do grupo. O professor tem a tarefa de explanar os conteúdos de forma simples à medida que pretende esclarecer as dúvidas estabelecidas por cada grupo, abrindo o espaço para que os alunos possam fazer seus próprios questionamentos sobre os tópicos trabalhados do Capítulo 1 do roteiro didático.

## ✓ Aula 2

No dia 12 de março continuamos o nosso encontro com 1h e 30 min de aula, nele explanamos os conteúdos do Capítulo 1 do roteiro didático, através de métodos didáticos, contemplando os assuntos de centro de massa, movimento rotacional e inércia. Em paralelo a aula expositiva, contextualizamos com os fatos do dia a dia, e sempre os redirecionando em cada tópico ao próprio exemplo do pião e outro brinquedo (João bobo), em que podemos observar na Figura 46 a interação do estudante com o brinquedo ao verificar a posição do centro de massa, e o relacionar a condição de equilíbrio. Contudo, foi possível relacionar com o conteúdo de física, as respostas escritas pelos grupos durante o encontro anterior, quando adquirido o conhecimento prévio sobre o movimento do pião.

Como recurso didático para esta aula utilizamos o vídeo do *youtube* (<https://www.youtube.com/watch?v=15VgOdgpRg&t=21s>) para exemplificar a inércia rotacional e direcionar para a introdução do próximo item.

**Figura 46.** Testando centro de massa através do brinquedo “João Bobo”.



Durante o encontro os alunos ressaltaram que testaram as teorias com suas próprias ideias. Sobre o centro de massa, abriram e colocaram água dentro do pião, para obterem a certeza da condição de equilíbrio, na velocidade angular lembraram sobre o sentido que de abertura das garrafas e do manuseio de parafusos.

Devido ao curto tempo, a participação dos grupos em relação à elaboração dos questionários que seriam respondidos pelo professor, foi repassada para o próximo encontro.

### ✓ Aula 3

No dia 16 de março a nossa aula seria de 50min, destinamos esse tempo para a participação dos grupos (Figura 47). Neste momento foi possível trabalhar todas as dúvidas apresentadas, as quais estão dispostas no Quadro 3 abaixo.

**Quadro 3.** Questionamentos propostos por cada grupo.

Questionamentos dos alunos sobre os tópicos Centro de massa, Movimento rotacional, Inercia.	
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Como um pião exerce movimento rotacional e translacional?</li> <li>✓ Aplicação da fórmula de centro de massa.</li> <li>✓ Definição dos movimentos angulares.</li> <li>✓ Um centro de massa pode se deslocar?</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ O centro de gravidade é no mesmo centro de massa?</li> <li>✓ <math>X_{CM}</math> é à distância da primeira partícula até o centro de massa ou é a distância da partícula que tem menos massa até o centro de massa?</li> <li>✓ A velocidade média associada à posição angular altera o centro de massa em relação à superfície?</li> <li>✓ Como as forças externas atuam no processo de desaceleração do peão levando ele a parar e interferindo na posição do peso em relação ao centro de massa? (Que passa a ficar fora)</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dúvida nas equações 1.4 e 1.5 sobre o sistema de partículas aplicado no pião.</li> <li>✓ Se a base do pião fosse maior, ele teria o mesmo tempo de duração na rotação dele?</li> <li>✓ Se seu interior ao invés de ser oco fosse preenchido ele teria mais velocidade?</li> <li>✓ Se partisse um objeto em partes seu Centro de Massa iria alterar?</li> <li>✓ Dúvida em relação ao sistema de partículas discretas e contínuas.</li> <li>✓ Qual é o efeito que o centro de gravidade exerce sobre o centro de massa?</li> <li>✓ Tem como mudar o centro de massa de lugar?</li> </ul>

Com base nos questionamentos dos grupos, possibilitou a revisão dos aspectos trabalhados na aula anterior, trazendo novos exemplos, que tornassem mais

compreensíveis os conceitos abordados e a partir da reorganização das ideias e da compreensão alcançada, pode-se passar ao novo tópico.

**Figura 47.** Alunos construindo questionamentos.



#### ✓ **Aula 4**

Esta aula ocorreu no dia 19 de março com a duração de 1h e 30 minutos, ela destinou-se aos assuntos de torque e momento angular, que devem ser vistos separadamente dos tópicos anteriores, por necessitar de um tempo muito maior para a compreensão desses assuntos. Durante a aula expositiva pode-se trazer exemplos de torque que estão no próprio ambiente da sala, e com o pião, material pedagógico distribuído no primeiro dia do encontro. Utilizamos como recurso auxiliar o vídeo do *youtube* (<https://www.youtube.com/watch?v=fVvh062JAwk>) com o objetivo de mostrar a analogia existente do pião com o movimento da Terra, neste vídeo é possível exemplificar o movimento de precessão.

Posteriormente destinamos o espaço para novas elaborações dos questionários, trabalhando todas as dúvidas existentes nesses conteúdos (Quadro 4).

**Quadro 4.** Questionamentos dos alunos sobre os tópicos.

Torque e momento angular	
A	Não houve perguntas
B	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ O Torque é o produto da força que promove qualquer movimento ou só o de rotação?</li><li>✓ Como funciona a função tangente e radial, na prática, do peão? E qual a diferença delas? E a relação?</li><li>✓ Sendo o sentido horário para baixo mantendo o peão mais fixo por que o Torque tem movimento sempre anti-horário? Como funciona?</li></ul>
C	Não houve perguntas

Com base nas dúvidas apresentadas, puderam-se reformular corretamente algumas perguntas, objetivando a compreensão sobre os assuntos de torque e momento angular.

Após a inserção dos assuntos levamos os alunos a responderem novos questionamentos a respeito da mecânica do pião. Pois, após reconstruir o conhecimento em relação ao movimento, podemos de modo dinâmico e interativo levamos a outra brincadeira, na qual utilizamos os mesmos princípios do pião.

A brincadeira do *beyblade* ocorre com a intenção de verificar se houve ou não aprendizado. Como proposto na teoria de Vygotsky apresentada no item 2.3, até o momento foi permitido atuar na Zona de Desenvolvimento Proximal dos alunos, e para considerar a existência de aprendizado, é permitido a eles pensamentos mais complexos, ou seja, na formação de conceitos científicos.

- ✓ Guerra de *beyblade*

É proposto 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 com fins de identificar se o aprendizado fora atendido. Como mencionando na seção 2 no subitem 2.3 sobre as teorias de Vygotsky, estamos trabalhando nas Zonas de Desenvolvimento Real e Potencial do alunado. Na Figura 48 é observado à interação dos alunos durante a batalha.

**Figura 48.** Disputa entre “beyblade”.



É importante ressaltar que a confecção do *beyblade* foi realizada pelos próprios grupos, com o objetivo de empregar a física na construção com o propósito de obter a melhor rotação. Durante a brincadeira percebe-se a relevância na aplicação do torque, as forças externas que estão agindo sobre cada *beyblade* e como os formatos deles são importantes para o movimento angular. Com base nisso, foi pedido que cada grupo fizesse uma análise sobre a guerra através dos conhecimentos físicos estudados desde o início da aplicação do projeto (Quadro5), e explicassem o “porque” que o vencedor de todas as batalhas foi o grupo B.

**Quadro 5.** Análise física dos grupos em relação a guerra do beyblade.

<b>Brincando com o beyblade</b>	
Através das explicações físicas como é possível vencer na batalha do beyblade?	
<b>A</b>	A base circular existente no pião, definiu a localização do seu centro de massa. Os outros materiais, como a tampa do adoçante, localizou a região que formara o torque. Em geral, a força adquirida pelo pião, seja pela forma que o fio fora puxado, quanto a região da superfície plana que proporcionou a rotação constante do pião, favorecendo o mesmo. Analisamos que a região metálica da base da equipe vencedora, em união com as características mencionadas anteriormente, fez com que, ao chocar com os adversários, desestabilizasse o nosso, conseqüentemente o balanceamento e a posterior parada tirou as vantagens das outras equipes. Então é por meio de piões cujo tenham um equilíbrio total com seu centro de massa e o torque, favorecendo seu maior tempo rotacionando

<p><b>B</b></p>	<p>Análise da Beyblade</p> <p>Nós, da equipe II(B), fizemos uma beyblade com bacia de bicicleta e tampa de detergente. A bacia, por ser simétrica e circular mantém seu centro de massa ao meio, fora do objeto, em uma dimensão retilínea com a base (fixa e simétrica também). Logo abaixo da bacia, deixamos um espaço para enrolar a linha para fazer o Torque de 90 graus com o eixo Z do pião, para facilitar o impulso à rotação do objeto. Esse espaço de, aproximadamente, 2 cm ajudou na proporção equilibrada do pião e à evitar o contato da parte superior do pião com a superfície na qual se encontrava, evitando que mais uma força externa o atrapalhasse. A distribuição de massa em relação ao eixo de rotação determinou, satisfatoriamente, a duração do giro. A linha, de aproximadamente 50 cm, junto ao torque determinou a força aplicada para pôr em movimento e foi responsável pelo aumento da inércia/resistência. Na qual, mesmo ao bater e tocar em outras bayblades (do grupo A e C) ainda se manteve estável e resistente. A linha enrolada no sentido horário fazia a beyblade girar no sentido anti-horário, mantendo mais fixada e equilibrada.</p>
<p><b>C</b></p>	<p>Para vencer a batalha é necessário que o Centro de Massa do pião se mantenha no eixo fixo e vertical "z" e em direção a base para que ele tenha equilíbrio e assim continue com a sua velocidade angular.</p> <p>Em relação à Inércia, a partir do momento em que o pião começa a entrar em movimento somente forças externas como o atrito da superfície onde ele está girando, a ação da gravidade, dentre outros, fará ele parar, pois quanto maior for a distribuição de massa em relação ao eixo de rotação, ou seja maior o pião for, maior vai ser a inércia e mais difícil vai ser para-lo.</p> <p>Em relação ao Torque, a “força” responsável por provocar a rotação do pião, é utilizado um fio que quanto mais enrolado maior vai ser a duração do movimento. Para ter maior facilidade é necessário que a “força” Torque seja para cima e também que esteja a uma certa distância do Centro de Massa ou eixo de rotação.</p> <p>Outras medidas necessárias é que o pião tenha uma ponta bem fina, para que ele seja menos atingido pela força de atrito e também que a sua base esteja á uma certa distância do Centro de Massa.</p>

Essa parte do projeto é fundamental, pois tem o propósito de incentivar o senso crítico dos alunos através das informações adquiridas, pois se consegue obter suas opiniões a respeito da criação do seu próprio experimento.

O grupo A, conseguiu explicar parcialmente os conceitos estudados, porém a importância do torque e do centro de massa, quanto o equilíbrio ainda fora mencionado, o que faz da resposta satisfatória.

Com isso, no grupo B é constatado através da resposta que houve aprendizado satisfatório, uma vez que o grupo conseguiu explicar e aplicar os conhecimentos físicos adquiridos durante as aulas. O grupo C também conseguiu explicar conscientemente cada tópico abordado, porém o conceito de torque ainda é aplicado com pequenos erros.

No Quadro 6 investigamos a eficiência da metodologia de ensino aplicada, contatando o aprendizado através de outras indagações, com parâmetros diferentes envolvendo o objeto experimental do *beyblade*<sup>33</sup>.

**Quadro 6.** Resposta do questionário – Roteiro didático.

<b>Brincando com o <i>beyblade</i></b>	
Se lançarmos a <i>beyblade</i> no espaço fora da Terra ele apresentaria o mesmo movimento se fosse lançado propriamente na Terra?	
<b>A</b>	Não, visto que o movimento do pião não pode ser o mesmo porque os componentes existentes no planeta terra não são os mesmos existentes no espaço. Fatores relacionados ao movimento rotacional como posição, deslocamento, velocidade e aceleração distinguem, assim como as forças externas aplicadas ao pião, como a gravidade, que é praticamente nula no espaço e aproximadamente 10 na terra.
<b>B</b>	Não, Pois para obter movimento rotacional é necessário: velocidade, equilíbrio e rotação. O movimento do pião tem a ver tanto com o centro de massa quanto com o centro de gravidade. Quando ele não tem o centro de gravidade ele perde sua função rotacional. Também porque no espaço, fora da terra, ele não consegue manter fixo sobre uma superfície rígida, tornando inviável sua projeção rotacional, cinemática angular.
<b>C</b>	Não, pois na Terra ela sofre a ação da gravidade que contribui para a sua velocidade de rotação que é chamada de velocidade angular de precessão, que necessita de gravidade para que ocorra, e como no espaço a gravidade é baixa acaba deixando a velocidade da Beyblade menor, demorando assim mais tempo para ela girar e também pelo fato de não ter o atrito da base que tem na Terra ela vai ficar mais tempo girando.

O grupo A, conseguiu perceber que há uma diferença no movimento rotacional quando posto a girar fora da Terra, e que as condições em que ambos estão são determinantes para o movimento de rotação. No grupo B, não conseguiu atingir corretamente a resposta, pois anulou qualquer movimento de rotação, quando não há gravidade. O grupo C, explanou corretamente a resposta, pois conseguiu relacionar a condição da gravidade e a inexistência de forças dissipava do movimento.

#### ✓ **Aula 5**

A segunda etapa deu continuidade nas atividades, no dia 02 de abril com duração de 1h e 30 minutos, usamos este momento para apresentar o experimento do pião

<sup>33</sup> O *beyblade* é um brinquedo baseado no *beigoma*, uma espécie de pião tradicional japonês, porém em uma versão mais tecnológica. Sua produção foi iniciada pela empresa japonesa Takara Tomy em 1997. Em 2002, a Hasbro produziu beyblades baseadas na série de TV.

com transmissão eletromagnética, cada grupo possuía o aparato experimental para que pudessem observar o movimento e descrevê-lo (Figura 49). Para tal, fez-se o seguinte questionamento do quadro 7.

**Quadro 7.** Respostas dos conhecimentos prévios dos grupos em relação ao pião com transmissão eletromagnética.

Porque o pião apresenta um giro “eterno”?	
<b>A</b>	A base da experiência do pião é composta por um CD, um espelho e um ímã, o qual ao entrar em contato com o piaó, que também possui um ímã, promove a estabilidade e equilíbrio do pião graças a interação existente nos polos magnéticos. Além disso, a base ligada na tomada recebe uma corrente elétrica que é repassada ao pião, tornando seu movimento constante. Desse modo, a interação do ímã e da corrente elétrica aparenta ao pião um movimento eterno.
<b>B</b>	Percebe-se que o pião faz giro eterno pelos seguintes fatores: O aparelho apresentado recebe correntes elétricas gerando impulsos eletromagnéticos que auxiliados ao ímã no centro da superfície, mantém o equilíbrio, a velocidade constante e a rotação eterna do pião. Como sua aceleração é constante, não haverá força, logo se transforma em inerte e em equilíbrio. A corrente elétrica garante que o torque seja favorável ao movimento do pião. O torque é impulsionado pelo giro contrário do CD, tendo efeito parecido com o torque obtido pela linha no Beyblade manual.
<b>C</b>	A eletricidade passada da tomada para o ímã contido na base, é passada através do espelho que é um bom condutor de eletricidade e também tem menos atrito, faz com que o pião gire eternamente já que seu material é atraído pelas cargas contidas no ímã, até porque se a superfície em que o pião gira fosse de plástico, papel ou outro material isolante ele não iria girar eternamente, porque esses materiais são mal condutores de eletricidade.

Constatamos a partir das respostas obtidas no quadro 7 que as equipes tentaram analisar o movimento do pião embasados nos conhecimentos adquiridos na primeira etapa do trabalho, pois já conseguem descrever os motivos do equilíbrio, notaram que há a presença de um torque para que o pião continue rotacionando. Deduziram ainda que a rotação ocorre devido à relação existente entre corrente elétrica, ímã e a rotação do disco que está localizado abaixo do espelho, no qual conseguiram verificar que a presença do mesmo é responsável pela diminuição do atrito.

Porém, verificamos que as respostas não estão absolutamente corretas, o que faz parte do objetivo inicial, pois ao fim poderemos rever as respostas e perceber os erros cometidos por cada grupo. E para alcançar a compreensão do alunado em relação aos

assuntos abordados no experimento do pão com transmissão eletromagnética, é permitido que solicitasse aos grupos que continuem a leitura do roteiro didático, no qual estarão adentrando ao Capítulo 2.

**Figura 49.** Alunos analisando o pão com transmissão eletromagnética.



#### ✓ Aula 6

O mestrado em Ensino de Física propõe a presença do orientador docente universitário para verificação da metodologia que está sendo aplicada pelo professor mestrando do ensino básico na escola que está ocorrendo o projeto. Mediante isto, no dia 03 de abril, a escola Paralelo do Vinhais recebeu o professor Dr. Oliveira para ministrar uma palestra de abertura da semana das profissões com o título “A ciência tem que ir onde o povo está”, que teve duração de 2h, e aproveitou o momento para estender a todos os alunos do Ensino Médio.

Durante a palestra foi enfatizado a importância do profissional cientista, mostrando suas contribuições através das evoluções tecnológicas. Mostrou as atividades de Extensão promovidas pelo Laboratório Ilha da Ciência, como o planetário digital e observação pelo telescópio, ressaltando a participação dos alunos de graduação do curso de Física. Contudo a seguinte palestra conclui expondo os experimentos produzidos pelo Laboratório de Divulgação Científica, e dentre eles o experimento do pão com transmissão eletromagnética.

Também aproveitamos o momento para demonstrar como estava sendo aplicado a proposta de Ensino do Produto Educacional ao qual o professor teve a oportunidade de está presente trocando informações com os alunos a respeito do andamento das sequencias das aulas e fazendo suas inferências sobre como deveriam proceder a respeito do experimento do pião.

Findamos a presença do professor Dr. Oliveira na escola com momentos de descontração (Figura 50) com os alunos, percebendo o entusiasmo crescente pela ciência.

**Figura 50.** O Professor Dr. Oliveira comparecendo a aplicação do projeto.



#### ✓ Aula 7

No dia 09 de abril ocorreu mais um encontro da aplicação do projeto com duração de 1h e 30 minutos (Figura 51). Os próximos assuntos abordados serão do Capítulo 2 do roteiro didático, eletricidade, campo elétrico e corrente elétrica, esses assuntos já foram trabalhados desde o início do ano letivo. Mediante isto, para testar o conhecimento teórico é aplicado um *Quiz* através da ferramenta pedagógica *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.

O quadro abaixo mostra a pontuação alcançada por cada grupo, em relação às questões objetivas. Percebe-se que nessas questões os grupos A e B obtiveram um empate, pois acertaram menos questões que o grupo C. Porém, em relação ao total das questões

objetivas, todos acertaram mais da metade o que permite constatar que o aprendizado sobre eletricidade, conteúdo didático do pertencente ao 3º ano está sendo compreendido.

**Quadro 8.** Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.

Nome ↑	Ponto (#)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
grupo a	8	C	C	UMA	E	Falso	Os avanc	C	UMA	diferenç	B	convenci	Verdade	Falso
Grupo c	10	C	C	D	E	Falso	É uma base	C	UMA	um difere	B	O real:	Verdade	Verdade
Grupob	8	C	C	UMA	E	Falso	No mundo	C	UMA	duas	D	Um corren	Verdade	Verdade
Total da Classe		100%	100%	33%	100%	100%		100%	100%		67%		100%	67%

Fonte: Elaboração da pesquisadora (2018).

Já nas questões teóricas como consta em 6, 9 e 11, as respostas deverão ser avaliadas qualitativamente. Sendo assim, temos para cada grupo as seguintes afirmações referentes aos questionamentos:

**Quadro 9.** Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.

6. Defenda em poucas frases "a importância da eletricidade para atualidade"	
<b>A</b>	✓ Os avanços tecnológicos atuais, somente são possíveis devido a influencia de energia elétrica, que trouxe diversos benefícios incluindo a prolongação da vida humana na terra, além disso, tornou-se a principal fonte de luz e calor.
<b>B</b>	✓ No mundo contemporâneo a eletricidade se tornou fundamental para a vida humana. É através dela que tivemos a oportunidade de progredir no meio social, tecnológico e ambiental.
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ É à base do desenvolvimento tecnológico, econômico e social.</li> <li>✓ Teve e tem grande importância para evolução humana.</li> </ul>

No quadro 8, a pergunta leva os alunos a refletirem sobre a importância que a eletricidade tem para atualidade, e por se tratar de resposta pessoal não requer uma avaliação.

No quadro 9, o questionamento coloca os alunos a analisarem as semelhanças existentes entre a Lei de Coulomb proposta por Coulomb e a Lei da Gravitação Universal proposta por Newton.

**Quadro 10.** Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.

9. Quanto a Lei de Coulomb, faça uma analogia com a Lei da Gravitação Universal e defina qual a única diferença entre elas.	
<b>A</b>	Diferença – os fatores da multiplicação são de naturezas diferentes onde a lei de Coulomb são cargas elétricas e na lei da gravitação são massas em quilogramas
<b>B</b>	As duas leis tem força, distância e atração, porém somente a força de Coulomb tem atração e repulsão.
<b>C</b>	A diferença entre a lei de Coulomb e a lei da gravitação universal é que na lei da gravitação é utilizado a gravidade vezes o produto das massas, já na lei de Coulomb é utilizado a constante que depende do meio, que utiliza-se usualmente a do vácuo, vezes o produto das cargas.

De acordo com as respostas, a equipe A não conseguiu completar a interpretação correta sobre as diferenças entre as duas Leis. Enquanto a equipe B soube se posicionar melhor quanto à resposta. Na equipe C, a referente resposta não conseguiu explicitar realmente a diferença entre as Leis.

No quadro 10, findamos com a intenção de saber se os alunos já conseguem compreender o que é corrente elétrica e como ocorre sua obtenção.

**Quadro 11.** Resultado do questionário que trabalha as questões objetivas.

11. Explique como se comporta uma corrente que se move no sentido convencional e real?	
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Convencional – os elétrons são distribuídos no sentido positivo para o negativo.</li><li>✓ Real – a corrente tem o sentido do negativo para o positivo.</li></ul>
<b>B</b>	✓ A corrente elétrica convencional se move do positivo para o negativo. e a real se move do negativo para o positivo.
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ O real: Ocorre a movimentação dos elétrons de forma ordenada do sentido negativo ao positivo, contrario ao campo elétrico.</li><li>✓ O convencional: Ocorre a movimentação dos elétrons do sentido positivo para o negativo que é o mesmo do campo elétrico.</li></ul>

O objetivo do Capítulo 2 do roteiro didático é fazer com que os alunos compreendam como ocorre a obtenção da corrente elétrica, e de que forma seus efeitos podem ser associados ao experimento do pião com transmissão eletromagnética. Com isso, destinamos o próximo encontro para discutir o princípio de funcionamento do experimento.

**Figura 51.** Alunos respondendo o Quis através da sala online Socrative.



### ✓ Aula 8

Está aula ocorreu no dia 19.04, com duração de 2h e 30min, foram 3 horários destinados ao último encontro de aplicação do produto educacional. Durante o primeiro e o segundo horário trabalhamos com Capítulo 2 do roteiro didático os assuntos de magnetismo, o átomo, campo magnético, propriedade magnética dos materiais e eletromagnetismo. No fim não foi possível montar a tabela de perguntas, pois durante as aulas muitos questionamentos foram levantados aleatoriamente por qualquer grupo.

Posteriormente cada grupo recebeu o pião e pôde-se observar novamente o funcionamento de cada parte do experimento, contextualizando com a física apresentada durante as últimas aulas.

Deste modo, é pedido que cada grupo possa fazer a análise do movimento envolvendo os assuntos estudados respondendo o seguinte questionário do Quadro 12, como forma de avaliação final do aprendizado.

**Quadro 12.** Respostas da análise do movimento do pião com transmissão eletromagnética.

Se cessar a corrente elétrica o pião ainda permanecerá em movimento?	
<b>A</b>	O pião ainda admitirá uma velocidade, no entanto, não possuirá a mesma frequência e a mesma intensidade de velocidade. A corrente elétrica conectada ao disco promove a formação de um campo magnético em conjunto ao ímã presente no pião.
<b>B</b>	Não, pois através da eletricidade há a produção do Torque através do campo magnético produzido pelo CD. Se não tem torque, não tem giro.

C	<p>Segunda Faraday, para obter a força eletromotriz ( propriedade que qualquer dispositivo, especialmente geradores, tem de produzir corrente elétrica) é necessário que haja variação no fluxo magnético. O ímã do experimento ( contido no pião) produz o campo magnético e o disco preso ao motor quando gira cruza a região do campo ocasionando a variação desse fluxo. Nesse momento na superfície do disco( no experimento foi utilizado um HD) surge correntes elétricas induzidas chamadas de Correntes de Foucault. De acordo com a lei de Lenz a corrente que surgiu circulará provocando uma variação contrária à corrente que o produziu, ou seja, o fluxo magnético. Desta maneira a medida que o disco girar, haverá atração ou repulsão localizada entre o pião e o disco fornecendo o torque, que fará o pião girar eternamente. Logo se não houver corrente elétrica, não haverá torque e o pião não permanecerá e nem entrará em movimento.</p>
---	--

De acordo com os resultados obtidos, pode ser verificado que o grupo A conseguiu alcançar parcialmente a compreensão do objeto educacional, uma vez que a Lei de Faraday e Lenz ainda se confundem na ideia de que o campo é gerado no disco paramagnético com a corrente elétrica recebida. Já o grupo B, mesmo com a resposta resumida conseguiu estabelecer a relação do campo gerado pelo disco e o torque no pião. O grupo C, foi quem melhor se posicionou em relação ao resultado, em razão de que a resposta conseguiu abranger realmente o objetivo desejado do produto educacional.

Ao fazer um comparativo com as respostas dos conhecimentos prévios recolhidos na primeira apresentação do experimento, é possível observar que as respostas se diferenciam do quadro 7, agora há a ideia de presença de campos magnéticos, elétricos e a corrente de Foucault para a realização do movimento de rotação constante.

Para finalizar a aplicação do projeto a última etapa trouxe um equipamento digital, o tacômetro óptico (modelo P4740 da *Cussons*), esse tem a finalidade de medir com precisão a velocidade angular do pião usado no experimento. Com isso, os alunos puderam interagir com um pouco de tecnologia e avaliar individualmente a rotação do pião pertencente ao seu grupo.

Contudo, colocou-se um pedaço pequeno de fita refletora na parte superior do pião, à medida que ele gira há uma reflexão dos raios infravermelhos emitidos pelo tacômetro que será interrompido a cada revolução. O tacômetro registra estes impulsos, por isso foi possível calcular a velocidade correspondente de cada rotação.

É pedido que os três grupos preenchessem a tabela com a velocidade do pião pertencente ao seu experimento, demonstrando a eficiência e importância da presença da superfície espelhada, em comparação ao pião mecânico que gira em qualquer outra superfície.

Com base nisso, o quadro 13 traz as medidas obtidas pelos seus respectivos grupos juntamente com os cálculos vistos no primeiro Capítulo do roteiro didático, e na Figura 54, podemos observar a aula prática desenvolvida.

**Quadro 13.** Análise dos resultados obtidos com o uso do tacômetro.

Registro da velocidade angular do pião com transmissão eletromagnética

**A**

Grupo A

→ CÁLCULO REFERENTE AO REGISTRO DA VELOCIDADE ANGULAR DO PIÃO COM TRANSMISSÃO ELETROMAGNÉTICA!

$1 \text{ Hz} \rightarrow 60 \text{ rpm}$ $x \rightarrow 832,6$	$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad / \quad T = \frac{1}{f}$
$60x = 832,6$ $x = \frac{832,6}{60}$ $x = 13,87 \text{ Hz}$	$\frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$ $\omega = 2\pi f$ $\omega = 2\pi \cdot 13,87 = 27,74\pi \text{ rad/s}$ $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 13,87$ $2 \cdot 3,14 \cdot 13,87 = 87,10 \text{ rad/s}$

**B**

### Grupo 2

- Registro da velocidade angular do pião com transmissão eletromagnética.

$$1 \text{ Hz} \text{ --- } 60 \text{ rpm}$$

$$x \text{ --- } 655 \text{ rpm}$$

$$60x = 655$$

$$x = \frac{655}{60}$$

$$x = 10,9 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad T = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 10,9$$

$$\omega = 21,8\pi$$

$$\omega = 68,45 \text{ rad/s}$$

**C**

### # Cálculo da Velocidade Angular

Dados:

De acordo com o tacômetro a frequência angular do pião com transmissão eletromagnética é 961 rpm.

$$1 \text{ Hz} \text{ --- } 60 \text{ rpm}$$

$$x \text{ --- } 961 \text{ rpm}$$

$$60x = 961$$

$$x = \frac{961}{60} \Rightarrow x = 16,01$$

Período

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$\omega$  = Velocidade Angular

Período  
obs:  $T = \frac{1}{F}$  → Frequência

$$\frac{1}{F} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\omega = 2\pi \cdot F$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 16,01$$

$$\omega = 100,5428 \text{ rad/s}$$

Velocidade Angular

Na Figura 52 temos os alunos fazendo suas próprias medições, pois cada grupo possui um pião diferente, logicamente cada pião possuirá uma velocidade angular de rotação, dados que estão presentes no quadro 13.

**Figura 52.** Alunos fazendo a medição da velocidade angular do pião.



Com base na explanação teórica somada a aplicação visual da prática como o proposto ao início do trabalho obtemos as conclusões sobre a eficiência da metodologia aplicada. Para isto, a próxima seção é destinada a avaliação dos alunos da aplicação do produto educacional.

## 6. AVALIAÇÃO DO GRAU DE SATISFAÇÃO REFERENTE AO PRODUTO EDUCACIONAL: QUALITATIVA.

A Pesquisa de Opinião foi produzida com o intuito de fazer um levantamento sobre a impressão que os alunos obtiveram sobre a proposta de Ensino apresentada pelo Produto Educacional a que lhes foram aplicadas. Com base nos resultados adquiridos, pode-se aderir como sugestão, para que posteriormente outros profissionais da educação possam fazer melhor uso da metodologia.

Para isso, segue-se os questionários com as perguntas e repostas, as quais estão representadas por gráficos (quantitativamente), e abaixo foram selecionados alguns resultados qualitativos dos alunos.

1. Em sua opinião, as atividades experimentais desenvolvidas pelo professor conseguiram abordar a compreensão física desejada?

Gráfico 1. Distribuição das escalas da primeira pergunta referente a Pesquisa de Opinião



Aluno 2 – “Sim, pois com os experimentos, os alunos interagiram com o professor, fazendo com que o conteúdo estudado fosse compreendido”.

Aluno 9 – “Sim, a forma experimental estimulou a maior compreensão e interação dos alunos”.

Aluno 12 – “Sim, quando uma coisa é praticada na vida real, tudo se torna mais fácil de entender, porque sai apenas da teoria”.

Aluno 15 – “Em partes, em algumas partes das atividades, fiquei com um pouco de dúvida”

Aluno 16 – “Sim, as atividades experimentais ajudaram a despertar a curiosidade”;

Aluno 18 – “Sim, pois com a dinâmica dos experimentos juntamente com a teoria, fez com que todos compreendessem muito bem.

De acordo com o questionamento sobre as atividades experimentais desenvolvidas, 89% responderam de forma positiva, o que torna evidente, que os experimentos proporcionaram a interatividade e facilidade na compreensão dos fenômenos físicos. Apenas 11% aceitaram parcialmente os experimentos como objeto didático, tendo em vista que geraram duvidas na associação ao conteúdo.

2. A proposta do roteiro didático por via *WhatsApp* melhorou a metodologia de aplicação dos experimentos?

**Gráfico 2. Distribuição das escalas da segunda pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 9 – “Sim, pois era mais acessível e usual”.

Aluno 10 – “Sim, pois foi uma maneira prática e acessível para todos os alunos”.

Aluno 12 – “Em partes, porque alguns alunos como eu não tinham whatsapp ou- no meu caso- não tinha telefone”.

Aluno 14 – “Sim, trouxe mais facilidade e interesse sobre os assuntos abordados”.

Aluno 16 – “Sim, ficou muito fácil e simples a troca de informação”.

Quanto ao uso do aplicativo de comunicação via internet *WhatsApp*, para a troca de informações com o professor, e entre eles, 55% da turma viram como uma iniciativa positiva, pois acharam uma maneira fácil e menos burocrática. Mas, 45% não gostaram dessa metodologia, em virtude que alguns participantes não possuem celular, ou não terem o aplicativo.

Tal metodologia, por ficar mediana quanto a porcentagem, leva ao professor repensar em outra forma de trabalhar o roteiro didático, de modo que venha facilitar a comunicação entre todos os envolvidos.

3. Em sua opinião, as explicações do professor facilitaram o entendimento dos experimentos?

**Gráfico 3. Distribuição das escalas da terceira pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 2 – “Sim, pois no decorrer que o professor explicou o assunto, ele também explicava como ocorria os experimentos. Isso fez com que facilitasse o entendimento”.

Aluno 9 – “Sim, pois foi de total importância para associar os conhecimentos práticos aos teóricos”.

Aluno 14 – “Em partes, não entendo alguns assuntos e explicações”.

Aluno 18 – “Em partes, tirando a parte do cálculo, tudo ficou claro”.

Ao serem indagados sobre a explicação do professor na facilitação da compreensão dos experimentos, 72% da turma avaliaram positivamente, visto que

conseguiram associar a prática à teoria. Já 28% responderam de forma parcial, pois sentiram dificuldades quanto aos cálculos.

4. Na sua equipe, você interagiu com os experimentos?

Gráfico 4. Distribuição das escalas da quarta pergunta referente a Pesquisa de Opinião



Aluno 2 – “Sim, como o trabalho era em equipe, deveria ter a participação de todos os alunos”.

Aluno 14 – “Sim, isso fez com que eu aprendesse mais”.

Aluno 13 – “Sim, pois como teve os questionamentos, e as práticas, todos os grupos tinham que interagir com os experimentos”.

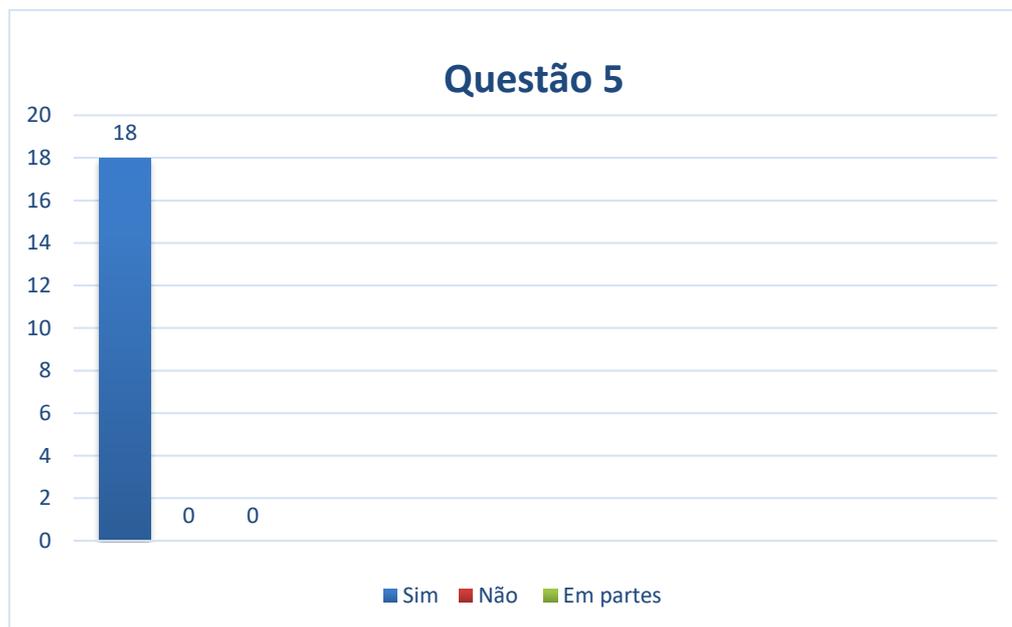
Aluno 15 – “Sim, deixei minha opinião em cada atividade”.

Aluno 17 – “Sim, pois os experimentos foram muito importantes para pôr em prática o conteúdo teórico dado no livro digital”.

No quesito, interação com os experimentos, 94% da turma apresentaram contentamento, pois atribuíram positivamente à associação em grupo, visto que promoveu maior interação e participação entre os integrantes, na indagação sobre suas observações e formulações das respostas aos questionários em que eram submetidos.

5. Os experimentos têm relação com os conteúdos estudados em sala de aula?

Gráfico 5. Distribuição das escalas da quinta pergunta referente a Pesquisa de Opinião



Aluno 1 – “Sim, teve força elétrica/Lei de Coulomb”.

Aluno 9 – “Sim, pois todos os experimentos estavam dentro do conteúdo proposto”.

Aluno 10 – “Sim, a teoria estudada foi aplicada nos experimentos”.

Aluno 12 – “Sim, pois remeteram à assuntos dados em séries passadas e todos os experimentos estavam relacionados ao assunto”.

Aluno 17 – “Sim, pois os experimentos estavam relacionados com os conteúdos dados em sala de aula”.

Quanto a relação da abordagem do experimento e os assuntos vistos em sala de aula, 100% da turma responderam positivamente. Em razão, que puderam lembrar de assuntos de séries passadas e somar com os assuntos vistos no ano atual. A eletricidade e o magnetismo conseguiram ganhar realidade a partir de teorias.

6. As aulas ficaram mais interativas e interessantes com o uso de brinquedos?

**Gráfico 6. Distribuição das escalas da sétima pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 1 – “Sim, pois não ficou uma aula monótona”.

Aluno 2 – “Sim, pois houve mais interesse por parte dos alunos, o que se tornou o assunto menos abstrato”.

Aluno 6 – “Em partes, muitas vezes as aulas eram ótimas, porém o assunto não era muito interessante”.

Aluno 9 – “Sim, pois trouxe mais dinâmica à aula, se tornando mais divertida”.

Aluno 12 – “Sim, porque acaba trazendo divertimento para aula e chama mais o interesse para o que está sendo transmitido”.

Aluno 14 – “Sim, foi uma forma divertida de aprender física”.

Quando questionados sobre a adesão do brinquedo como ferramenta pedagógica, 94% da turma viram como uma boa alternativa para facilitação do aprendizado, pois o lúdico inspira o entusiasmo pelo conhecimento.

7. Você conseguiu aderir ao pião como uma ferramenta de aprendizado?

**Gráfico 7. Distribuição das escalas da oitava pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 10 – “Sim, porque houve a relação do pião, algo tão simples, como material de estudo físico”.

Aluno 15 – “Sim, consegui entender como funcionava pela física”.

Aluno 17 – “Sim, pois através do estudo do pião, houve a compreensão de outros assuntos da física”.

A opinião dos alunos em relação ao uso do pião como ferramenta pedagógica teve 89% de aceitação, visto que boa parte da turma conseguiu entender que para um simples brinquedo pode ser atribuído diversos fenômenos físicos e fazer um paralelo a outras situações que estão ao nosso redor.

8. Estudar física brincando é uma metodologia eficiente capaz de despertar o interesse pela Física?

**Gráfico 8. Distribuição das escalas da nona pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 2 – “Sim, porque muita gente acaba não compreendendo a Física apenas com o uso das teorias. E com a metodologia aplicada, os alunos acabam tendo interesse por ela.

Aluno 5 – “Sim, porque a física de fato não é minha área, mas a dinamicidade aplicada pelo projeto mostrou como a física ultrapassa a sala de aula.

Aluno 6 – “Sim, para os jovens é perfeito e chama atenção”.

Aluno 10 – “Sim, pois nos mostrou que a física faz parte de todas as coisas”.

Aluno 12 – “Sim, pois como eu não gosto de física é mais fácil dela entrar na minha cabeça de forma interativa e divertida”.

Sabendo que brincar é diferente de brincadeira, então questionamos sobre o ato de brincar durante a aula, 89% da turma viram como um critério de aprendizado inovador. Já que, o público jovem é estimulado por entretenimento, e é visto como uma boa alternativa para os que têm aversão a disciplina devido a quantidade de cálculo.

9. Ao elaborar seu próprio brinquedo (*Beyblade*), você conseguiu aplicar os conceitos físicos aprendidos com o material pedagógico que foi cedido a sua equipe?

**Gráfico 9. Distribuição das escalas da décima pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 2- “Sim, porque o material pedagógico explicava os conceitos físicos do brinquedo, ajudando a elabora-lo”.

Aluno 7 – “Sim, foi explicado os conceitos e isso foi possível para desenvolver o brinquedo”.

Aluno – “Sim, consegui aprender com a física como o beyblade funcionava”.

Aluno 17 – “Sim, pois para produzir e também ganhar a guerra do Beyblade era necessário ter a compreensão dos conceitos físicos”.

Considerando o primeiro capítulo do roteiro didático, foi utilizado a produção do brinquedo *beyblade* para a sedimentação do conhecimento. Quando indagados sobre a utilização desse recurso, 89% dos alunos se mostraram satisfeitos com a proposta, dado que, a partir de suas produções conseguiram atribuir os conceitos físicos adquiridos.

10. Você se sentiu motivado em aprender física utilizando o pião com transmissão eletromagnética, equipamento disponibilizado pelo Laboratório de Divulgação Científica Ilha da Ciência?

**Gráfico 10. Distribuição das escalas da décima primeira pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 2 – “Sim, pois se tornou mais interessante para os alunos, porque a professora trouxe uma novidade para a turma”.

Aluno 7 – “Sim, as descobertas sobre várias coisas interessantes”.

Aluno 12 – “Sim, pois nunca pensei que existisse um pião que poderia rotacionar para sempre”.

Aluno – “Não, pois não gosto muito de física, mesmo achando legal entender como funciona o pião”.

Aluno 17 – “Sim, pois dessa forma os alunos tiveram a compreensão de assuntos mais complexos.

Quanto a relevância ao uso do pião com transmissão eletromagnética, 89% da turma demonstrou satisfação quanto ao uso do dispositivo experimental, visto que não é comum terem acesso regularmente nas aulas. Em virtude disso, boa parte da turma se mostrou motivados em conhecer o Laboratório Ilha da Ciência para terem acesso a outros experimentos. Apenas 11% não acharam interessante, embasados no pressuposto de que não gostam da disciplina de Física.

11. Em sua opinião, a Física se tornou menos abstrata com o uso de brinquedos e equipamento científico?

**Gráfico 11. Distribuição das escalas da décima segunda pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluna 1 – “Sim, porque foi possível não ficar só lendo e aplicando fórmulas”.

Aluno 2 – “Sim, porque o uso de brinquedo ajudou na compreensão do assunto, fazendo com que a gente aprendesse na prática”.

Aluno 10 – “Sim, com certeza, porque mostrou a física com coisas do nosso cotidiano”.

Aluno 15 – “Sim, pois desenvolveu mais os nossos conhecimentos com os equipamentos científicos”.

Quando questionados sobre o uso de brinquedos e equipamentos para a viabilização dos conceitos físicos, 94% dos alunos aderiram como eficiente esse processo. Por tanto, o desenvolvimento do conhecimento foi propício para uma futura elaboração de outro artefato que possam aplicar mesma metodologia.

12. Você se sentiu menos tímido para tirar dúvidas com o professor durante a realização das atividades?

**Gráfico 12. Distribuição das escalas da décima terceira pergunta referente a Pesquisa de Opinião**



Aluno 7 – “Sim, a professora facilita a interação e não sou tímida”

Aluno 17 – “Sim, pois a professora deu bastante atenção para as dúvidas dos alunos”.

Aluno 14 – “Sim, a professora e estimulou a tirar mais dúvidas”.

Aluno 18 – “Sim, um ambiente agradável na qual a professora nos deixou muito a vontade para perguntar”.

Aluno 15 – “Sim, consegui expor minhas opiniões”.

Aluno 16 – “Em partes, consegui desenvolver mais essa minha parte da timidez”.

Aluno 10 – “Sim, foram aulas bem tranquilas e com bastante paciência por parte da professora”.

Fez-se o questionário se a postura do professor foi acessível, quanto a isso 78% dos alunos se sentiram à vontade para perguntar e expor seus conhecimentos. Deste modo, foi permitido assegurar um diálogo aberto e proveitoso. Os outros 22% são inibidos devido a timidez.

### 13. Comente sobre o que achou da metodologia aplicada?

Aluno 2 – “A metodologia aplicada foi muito eficaz para o entendimento da física do pião. O livro digital, além de facilitar na interação e participação dos alunos com o professor, ajudou na compreensão dos conteúdos estudados diante do uso da tecnologia, pois a maioria dos alunos hoje em dia tem celulares e gostariam que fizessem o uso durante as aulas, como por exemplo, fazendo exercícios e leituras em PDF’s, tornando uma coisa menos abstrata”.

Aluno 11 – “Poderia ser aplicado em outras matérias também, pois se torna mais atraente e interessante”.

Aluno 5 – “A metodologia em si favorece uma interação maior entre aluno-professor, visto que é fato que a matéria física não é muito agradável aos olhos dos alunos. Então, a metodologia aplicada com o uso de materiais e brinquedos favoreceu o aprendizado mais claro”.

Aluno 17 – “Achei interessante pelo fato da professora ter trago vários recursos que ajudaram os alunos a compreender assuntos que para os alunos eram de difícil compreensão. E também através dos brinquedos, além de ter uma compreensão maior, aumentou a interatividade entre os alunos e a professora deixando o assunto mais interessante”.

Aluno 6 – “Foi uma metodologia atual, utilizando brinquedos para chamar atenção até de pessoas que não gostariam da física”.

Aluno 9 – “Eficiente, pois trouxe de forma experimental sólido e prático os conteúdos teóricos que são abstratos, facilitando nosso entendimento. Além do livro digital eu facilitou o acesso ao conteúdo e as aulas teóricas bem explicadas e interativas (conceitos e, exemplos...)”.

Aluno 10 – “Uma metodologia muito bem aplicada e de sucesso, pois traz a relação da física com objetos do nosso cotidiano. Trouxe uma forma bem didática e menos cansativa de aprendizado”.

Quanto a aplicação da metodologia, houve 94% de comentários positivos em relação ao projeto de Ensino. O que leva a outros professores também adaptarem suas didáticas, através de materiais alternativos que promovam o conhecimento e a melhoria da forma de avaliação, contribuindo para o descobrimento de outras habilidades que os alunos possuem.

14. Você tem sugestões para melhorar a metodologia aplicada?

Alunos – “Não”.

Aluno 12 – “Ser mais abrangente em relação as atividades”.

Aluno – “Apenas algumas melhorias no arquivo em PDF, pois o mesmo deu erro algumas vezes de envio de algumas respostas”.

Finalizando a Pesquisa de Opinião com 87% de aceitação, se analisarmos em relação a todos os questionários o número de “Sim” respondidos sobre a aplicação do Produto Educacional, proposto pelo Mestrado em Ensino de Física. Com isso, consideramos que segundo os estudantes, o projeto é uma boa ferramenta para o Ensino/Aprendizagem, colaborando para a sedimentação do conhecimento e explorando as habilidades que cada aluno possui. Também elogiaram a organização em que foi processada.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da utilização de brinquedos como metodologia de Ensino-aprendizagem proposta por Vygotsky, possibilitou aos alunos que buscassem a ressignificação dos fenômenos físicos, através da aquisição de conhecimento por leitura e atividades práticas.

O esquema do modelo de Sistema de Ensino foi fundamental para limitar os objetivos do que se desejou ensinar, e como se quer alcançar a reorganização da estrutura mental por meio da transposição didática. Com base nisso, o uso de uma linguagem descomplicada e facilitadora com brinquedos, demonstrações experimentais e figuras ilustrativas, foram determinantes para o desenvolvimento do projeto.

Durante a aplicação das atividades experimentais da sequência didática foi observado o quanto os alunos mostraram interesse pelos experimentos e as explicações físicas que estavam por traz de cada acontecimento. Pois, aderindo a metodologia de sala de aula investida, possibilitou aos alunos estarem fazendo uma leitura prévia do conteúdo, e ter acesso a vídeos didáticos referentes aos assuntos discutidos, e fazer a construção do seu próprio experimento com os conhecimentos adquiridos.

Deste modo, observou-se o aumento do nível de comprometimento entre todos os participantes, pois facilitou o desenvolvimento do trabalho em grupo, proporcionando discussões mais interessantes e potencializando o aprendizado a respeito de cada assunto abordado. Salienta-se ainda como as investigações proporcionaram aos alunos fazerem suas descobertas a respeito do que está sendo observado, mostrando que os conhecimentos prévios que eles possuem podem ser reconstruídos.

Percebe-se que as avaliações foram feitas qualitativamente, baseando-se em um pré e pós teste, preocupando-se em saber primeiramente, o que o aluno conhece a respeito de um determinado assunto, para posteriormente trabalhar o real sentido dos fenômenos físicos e por fim, fazer que eles percebam o quanto a estrutura do conhecimento mudava ao fechamento de cada atividade. As respostas desenvolvidas pelos alunos foram descritas nos quadros e representados por grupos, foram esses registros que possibilitaram a avaliação diagnóstica do que precisava ser feito para melhorar a compreensão do que estava sendo ensinado.

A decisão de trabalhar a física conceitual, foi baseada na aversão da maioria dos alunos pela matemática, sendo assim, buscou-se mostrar os cálculos através das

demonstrações experimentais, e mesmo assim verificou-se que as dificuldades ainda persistiram.

Vale ressaltar que durante o trabalho não vinculamos os assuntos apenas ao uso do pião, pode-se trazer outros brinquedos que expressassem o comportamento físico do que estava sendo estudado. Com isso, o lúdico mostrou que realmente funciona com um bom incentivo a construção do pensamento crítico físico, facilitando a aprendizagem através do brinquedo e da brincadeira.

Com o Questionário de Opinião pode-se inferir que o trabalho foi satisfatório, uma vez que os alunos se sentiram sujeitos ativos no processo de aprendizagem, motivando a constante participação. Essa postura assumida pelo professor, em colocar o aluno atuante e ser mediador do conhecimento, foi trabalhada durante o curso de Mestrado, motivando-nos a repensar na didática de aplicação das aulas a serem menos tecnicista.

## REFERÊNCIAS

- AFFONSO, Dalva Mariana. **Uso de um objeto de aprendizagem no ensino de ciências tomando-se como referência a teoria sócio-construtivista de Vygotsky** / Bauru. SP. UNESP. 2008.
- ALVES FILHO, José de Pinho. **Instrumentação para o Ensino de Física A**. Coord., Carlito Lariucci - 3. ed.- Goiânia: FUNAPE, 2012. v. 6. 244p.
- BERNI, Regiane Ibanhez Gimenes. **Mediação: um conceito central na teoria de Vygotsky**. XI Simpósio Nacional e I simpósio Internacional de Letras e Linguística e Mediação. Catalão- GO. 2006
- 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.
- FERRARO, Nicolau Gilberto, PENTEADO, P. C. M; TORRES, C. A. A. **Física - Coleção Vereda Digital**. 1. ed. São Paulo - SP: Moderna, 2012. v. 1. 596p
- FRIGOTTO, Gaudêncio, & CIAVATTA, Maria (orgs.). **Ensino Médio - Ciência, Cultura e Trabalho**. Brasília: SEMTEC/MEC, 2004.
- GIUSTA, A. da S. 1985. **Concepções de Aprendizagem e Práticas Pedagógicas**. In: Educ.Rev. Belo Horizonte, v.1: 24-31.
- Halliday, David, 1916- **Fundamentos de física, volume 1: mecânica** / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução revisão técnica Ronaldo Sergio de Biasi. 8 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- 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.
- Konder, Leandro. **O que é dialética / Leandro Konder**. — São Paulo: Brasiliense, 2008. — (Coleção Primeiros Passos: 23) 6a reimpr. da 28. ed. de 1981. ISBN 978-85-11 - 01023-7 1. Dialética 2. M aterialismo dialético I. Título. 11. Série. 08-08779 CDD-146.32
- KOZULIN, Alex. **O conceito de atividade na psicologia soviética: Vygotsky, seus discípulos, seus críticos**. In DANIELS, Harry (ed.) Uma Introdução a Vygotsky. São Paulo: Loyola, 2002. 117p.

KRAWCZYK, Nora. **A escola média: um espaço sem consenso** In: FRIGOTTO, Gaudêncio, CIAVATTA, Maria (org.). Ensino médio: ciência, cultura e trabalho. Brasília: MEC, SEMTEC, 2004. 21 p.

Lave, Jean; Wenger, Etienne. Prática, Pessoa, Mundo Social. In: DANIELS, Harry (org.). **Uma Introdução a Vygotsky**. Trad. Marcos Bagno. São Paulo, Loyola: 2002.

Luria, A. R. **Cognitive Development: Its Cultural and Social Foundations**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1976.

MANSON, Michel. **História do brinquedo e dos jogos** – brincar através dos tempos. Lisboa: Editorial Teorema, 2002.

Mézáros, István, 1930 – **A educação para além do capital**/ István Mézáros; tradução de Isa Tavares – São Paulo: Boitempo, 2005.

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

OLIVEIRA, Marta Kohl de. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico** / Marta Kohl de Oliveira- 5ªed. – São Paulo: Scipione, 2010 (Coleção Pensamento e ação na sala de aula)

**Os 400 anos do De magnete** In: Revista Ciência Hoje, v.28, nº 167, dez./2000.

PALANGANA, I. C. **Desenvolvimento e aprendizagem em Piaget e Vygotsky: a relevância do social**. São Paulo: Plexus, 1994.

PESCE, C. P. **Dinâmica dos Corpos Rígidos**. 2001 (APOSTILA DE PÓS-GRADUAÇÃO).

PETRACONI, G; Carvalho Neto, Cassiano Zeferino de; Melo, Maria Taís de; MARTINS, R. A. **Eletromagnetismo - Ímãs e bússolas: Negócio da China**. In: Carvalho Neto, Cassiano Zeferino de. (Org.). **FÍSICA VIVENCIAL: Instituto Galileu Galilei para a Educação - Laborciência ed., 2010, v. único, p. -.**

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.

Thornton, Stephen T. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**/ Stephen T. Thornton, Jerry B. Marior; tradução All Tasks; revisão técnica Fábio Raia. São Paulo: Cengage Learning, 2012. p.293

VIGOTSKI, Lev Semyonovitch. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. Tradução de: José Cipolla Neto, Luis Silveira Menna Barreto, Solange Castro Afeche. 7ªed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

VILLANI et al. **Analisando o ensino de Física: contribuições de pesquisas com enfoques diferentes.** Rev. de Ens. de Física, 4, 1982.

VYGOTSKY, L. S. **A Formação Social da Mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores.** São Paulo: Martins Fontes, 1989. 191 p. 3, 113. 3ª ed.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **A construção do pensamento e da linguagem.** Trad. Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar.** Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A  
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

### 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 resignificação 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

<b>A PROPOSTA DO PRODUTO EDUCACIONAL</b>	<b>5</b>
<b>QUADRO DE OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>A FÍSICA DO PIÃO: ABORDAGEM SUCINTA NO NÍVEL DO ENSINO MÉDIO.</b>	<b>7</b>
<b>CONHECENDO O PIÃO</b>	<b>7</b>
1.1. CENTRO DE MASSA	9
1.2. MOVIMENTO ROTACIONAL	14
1.3. INÉRCIA ( $I$ )	20
1.4. TORQUE ( $\tau$ )	24
1.5. MOMENTO ANGULAR ( $L$ )	29
<b>O PIÃO E O ELETROMAGNETISMO</b>	<b>34</b>
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
<b>CONHECENDO O EXPERIMENTO: PIÃO COM TRANSMISSÃO ELETROMAGNÉTICA</b>	<b>58</b>
3.2 COMO FUNCIONA?	61
<b>DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL NA ESCOLA</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICEB</b>	<b>69</b>

**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 atento 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><b>Objetivos específicos:</b> 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><b>Estratégias didáticas utilizadas:</b> exercícios práticos e teóricos trabalhados em grupos, aulas expositivas dialogadas, também utilização de vídeos.</p> <p><b>Recursos utilizados:</b> pião de brinquedo, projetor, celular, <i>watsapp</i>, <i>Adobe Acrobat</i>, roteiro das aulas de física.</p>
2ª ETAPA	<p><b>Objetivos específicos:</b> colocar em prática todo o conteúdo aprendido na 1ª etapa.</p> <p><b>Estratégias didáticas utilizadas:</b> exercícios práticos com a brincadeira de <i>beyblade</i> trabalhados em grupo e questões problematizadoras.</p> <p><b>Recursos utilizados:</b> <i>beyblade</i> (confeccionado com materiais alternativos)</p>
3ª ETAPA	<p><b>Objetivos específicos:</b> 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><b>Estratégias didáticas utilizadas:</b> exercícios práticos e teóricos desenvolvidos em grupos, aulas expositivas dialogadas, <i>Quiz</i> online e questões problematizadoras.</p> <p><b>Recursos utilizados:</b> 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 Ájax lança uma pedra em Hector, “fazendo-o rodopiar como um pião (*strombos*); o outro corria girando à toa”.

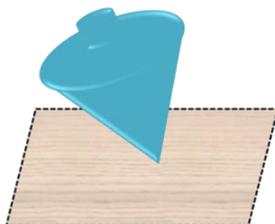
O pião foi disseminado pelo mundo e em todas as épocas fez parte do processo histórico cultural abrangendo as gerações de adultos e crianças. Esse brinquedo se tornou um jogo popular pela fácil acessibilidade em diferentes classes sociais por ser confeccionado simploriamente. Hoje a produção do pião 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).

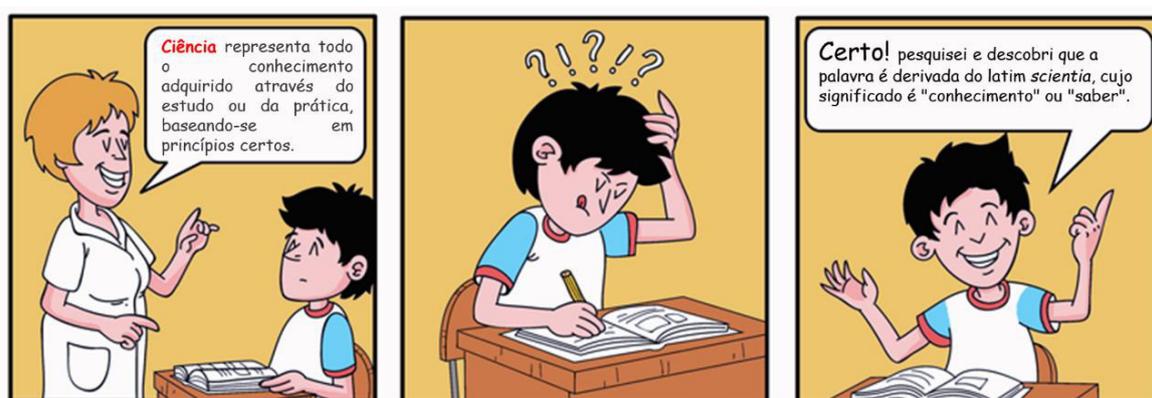


Ilustração – Flávio Coelho

### 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*<sup>1</sup> 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 partículas<sup>2</sup> 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.

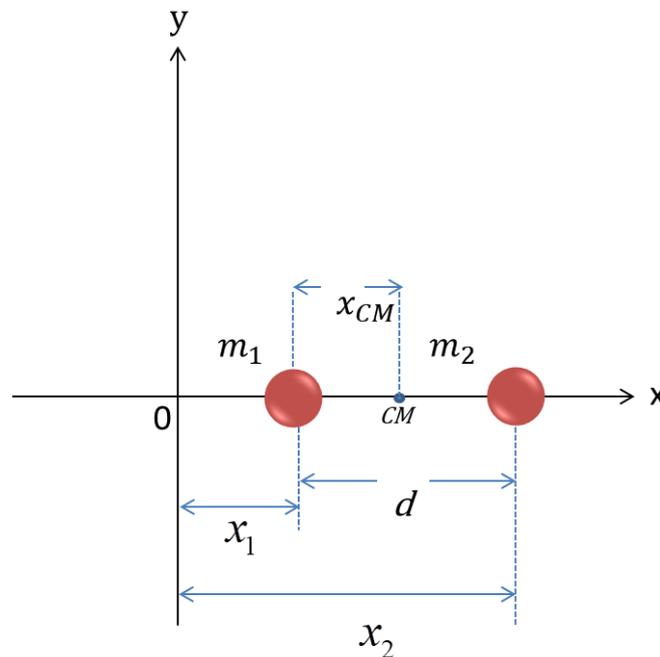
Para tanto, iniciaremos demonstrando um sistema que possui somente duas partículas localizadas na dimensão  $x$  do plano cartesiano como na Figura 2.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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:

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

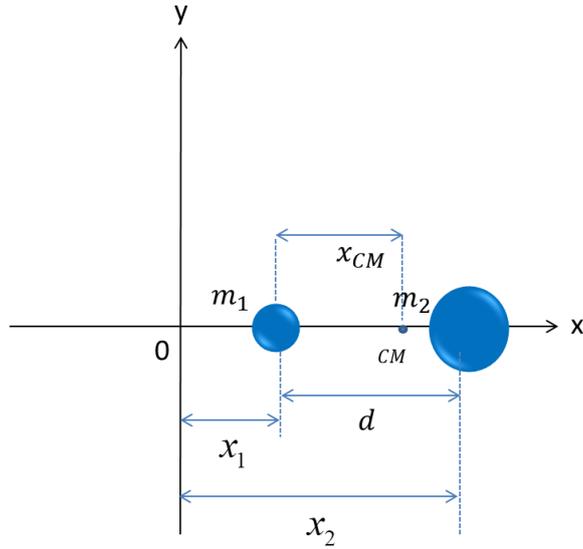
Em que  $m_1$  e  $m_2$  são as massas das partículas,  $M$  é o somatório de todas as massas e  $d$  é a distância correspondente entre as duas partículas situadas no eixo x.

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 projetas.

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.

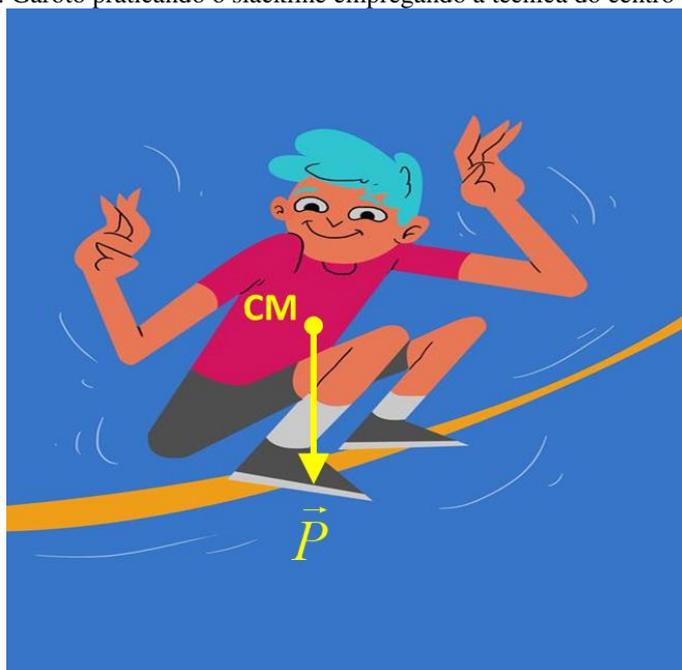
## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

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

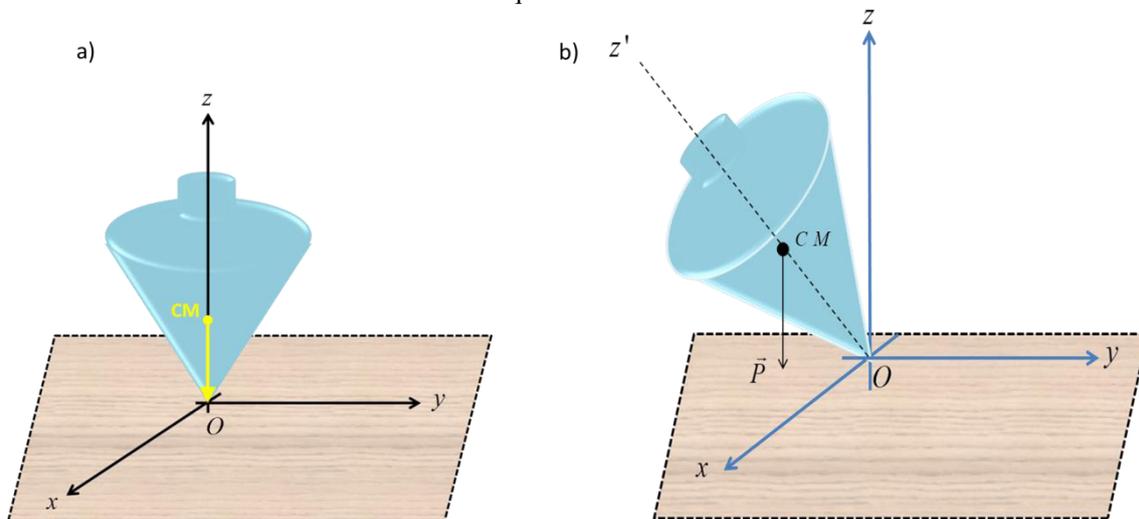
$$x_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (1.4)$$

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

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

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

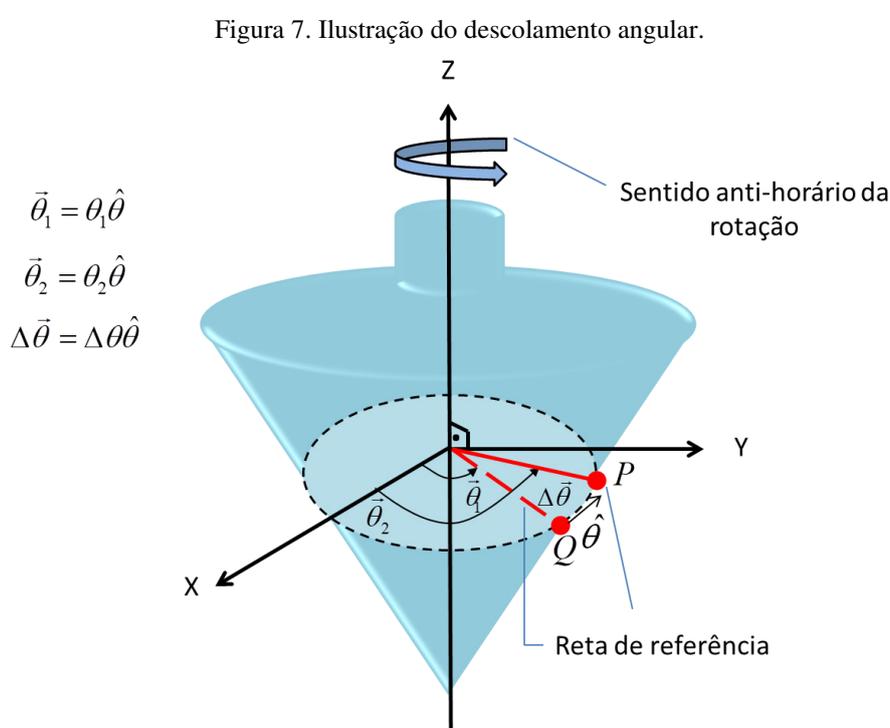


## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Em que  $\theta$  é dado em radianos e  $S$  é o comprimento de um arco da circunferência. Se isolarmos o  $\theta$  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  $\Delta t$  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 ( $\omega$ )

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.

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

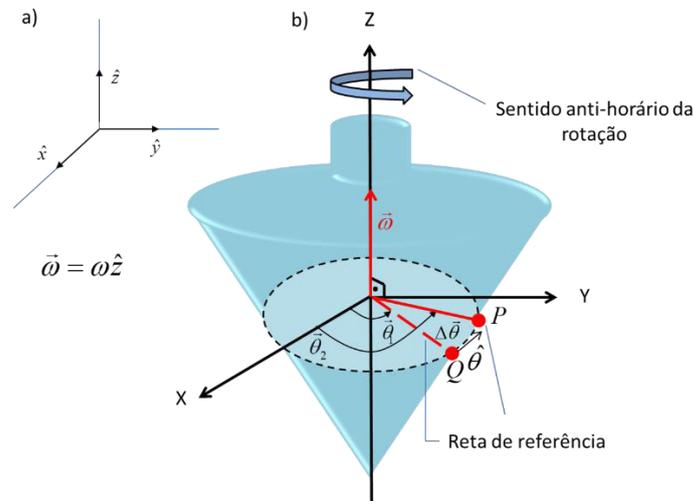
Em que  $\omega_{méd}$  é dada pelas unidades de medida radianos por segundo ( $\frac{rad}{s}$ ). Lembrando que o parâmetro para a conversão de radianos é:

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

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  $2\pi$  e é medido em radianos ( $rad$ ), dividido pela velocidade angular medido em radiano por segundo ( $rad/s$ ).

### ✓ Aceleração angular ( $\alpha$ )

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  $\omega_1$  no tempo  $t_1$  e à medida que se movimenta assumi outra velocidade angular  $\omega_2$  no tempo transcorrido  $t_2$ .

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

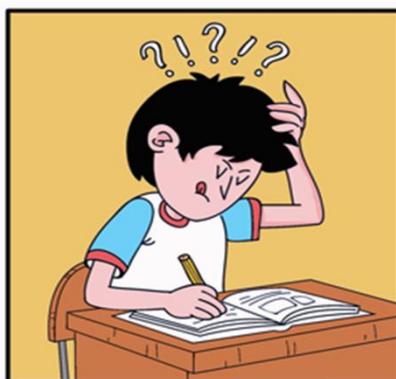
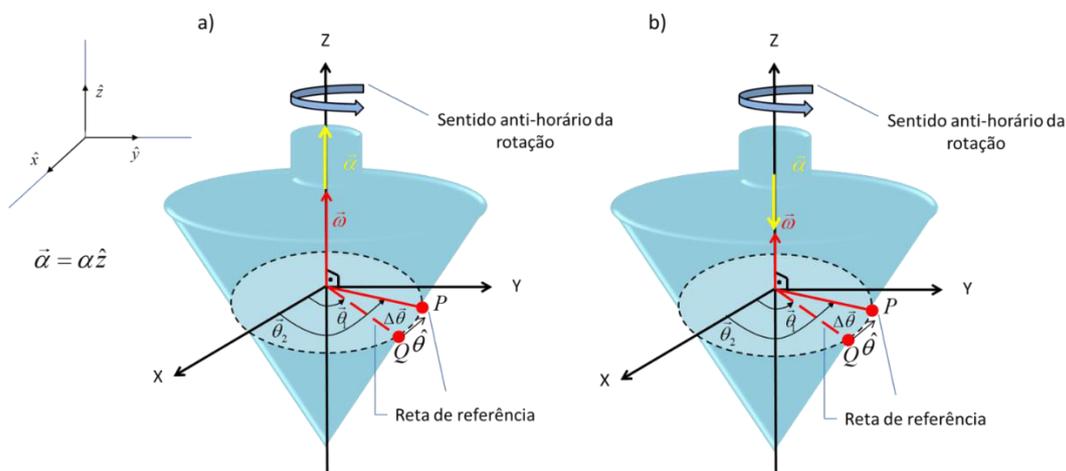
$$a_{tg} = \alpha \cdot r \quad (1.13)$$

# Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

Em que  $a_{tg}$  é a aceleração tangencial a circunferência dada em  $(m/s^2)$ ,  $\alpha$  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 continuamente<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> [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)

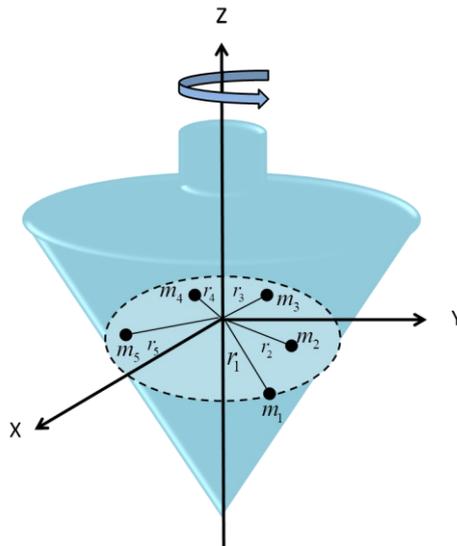
Sobre isso, voltamos ao caso do pião que sem a ação de qualquer força externa ele permanecerá parado sem nenhum movimento, mas a partir do instante que lhe é aplicado uma força, entrará em rotação. Esse movimento executado pelo pião estará exposto a interferências de forças externas, sejam elas o atrito 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:

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

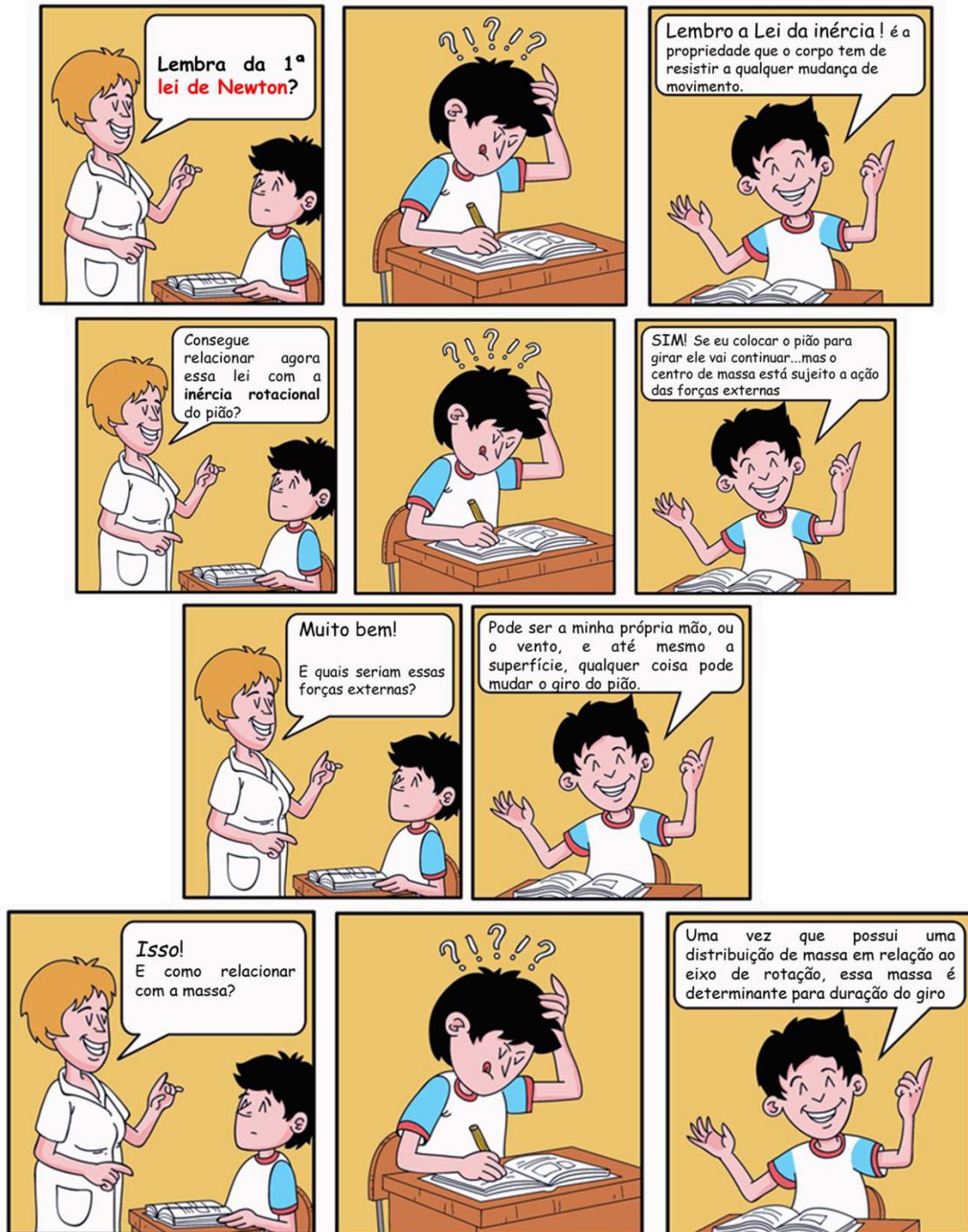
$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (1.1)$$

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 ( $kg.m^2$ ).

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

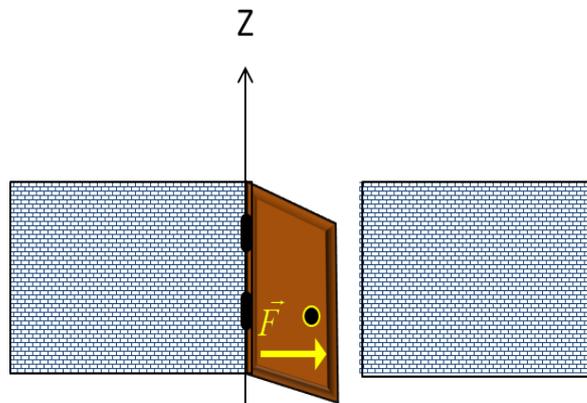


## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

### 1.4. Torque ( $\tau$ )

Nas secções anteriores sempre houve a menção de que existia 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 fazê-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 puxá-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.



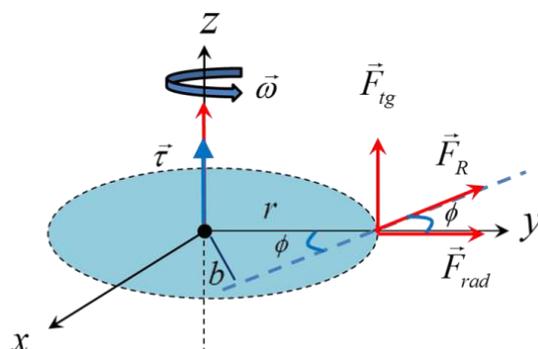
Observamos na Figura 14, que o garoto enrola o pião com barbante, com objetivo de lançar liberando o comprimento do fio, que provocará o giro. Por senso comum é percebido que quanto mais

## 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.

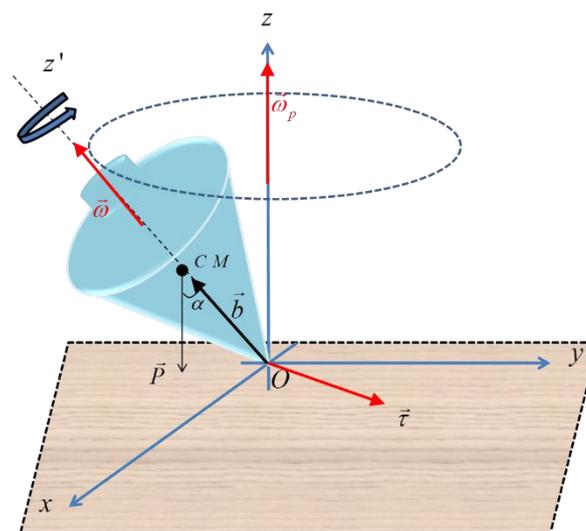
No início do capítulo, foi definido como encontrar o centro de massa do corpo rígido e a partir dele ficou definido o centro de gravidade do pião. É a partir desse ponto traçamos a componente da força peso que também é uma das forças que atuam no pião e é dada por:

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

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,  $\Delta t$  é a variação do tempo e  $\vec{\tau}_{ext}$  é o somatório de todos os torques externos que estão

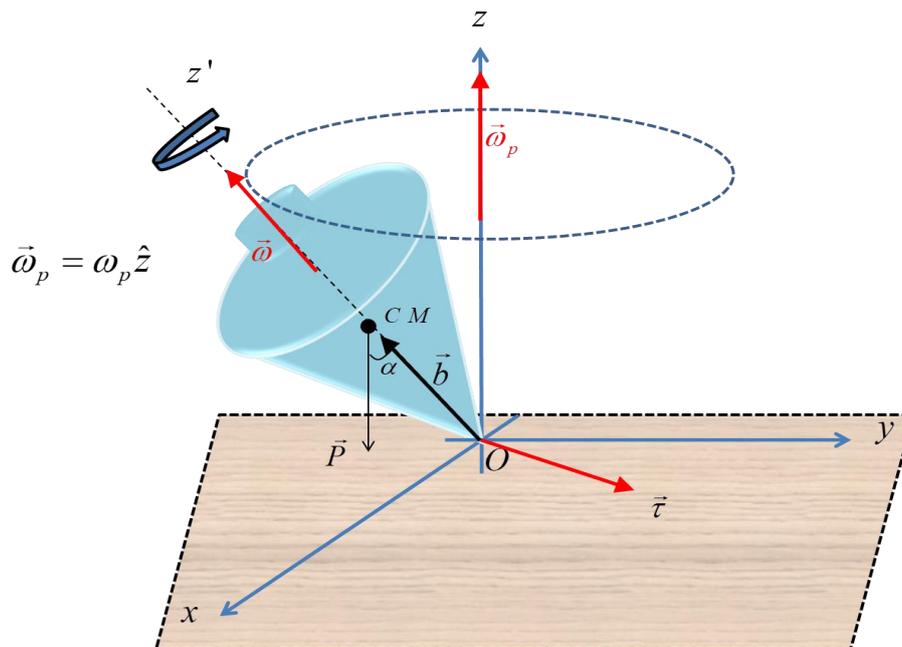
## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

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

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 NASA<sup>4</sup>, 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 roda<sup>5</sup>.

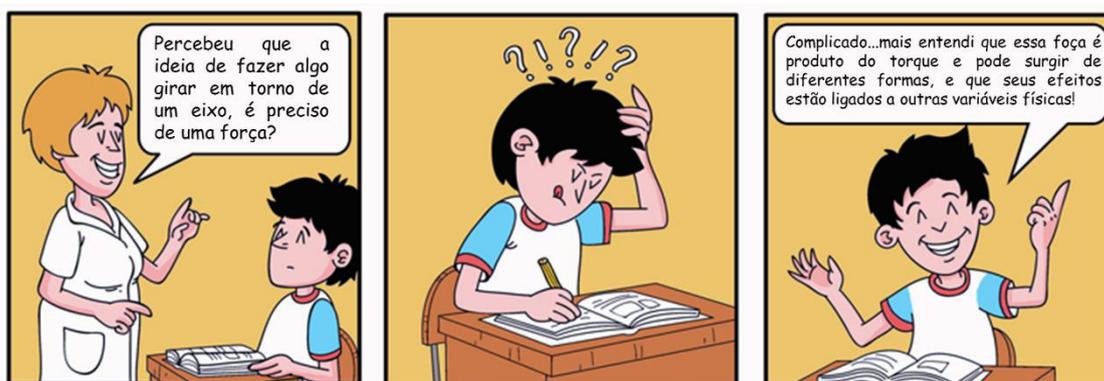


Ilustração – Flávio Coelho

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> [Informação obtida em [http://www.ccvalg.pt/astrofomia/noticias/2011/05/6\\_gravity\\_probe\\_b.htm](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

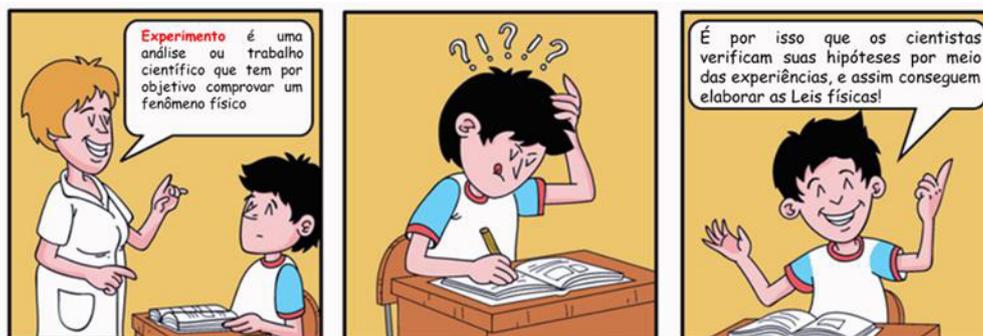


Ilustração – Flávio Coelho

### 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 Mileto<sup>6</sup> (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 Gilbert<sup>7</sup> (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

<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> 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.

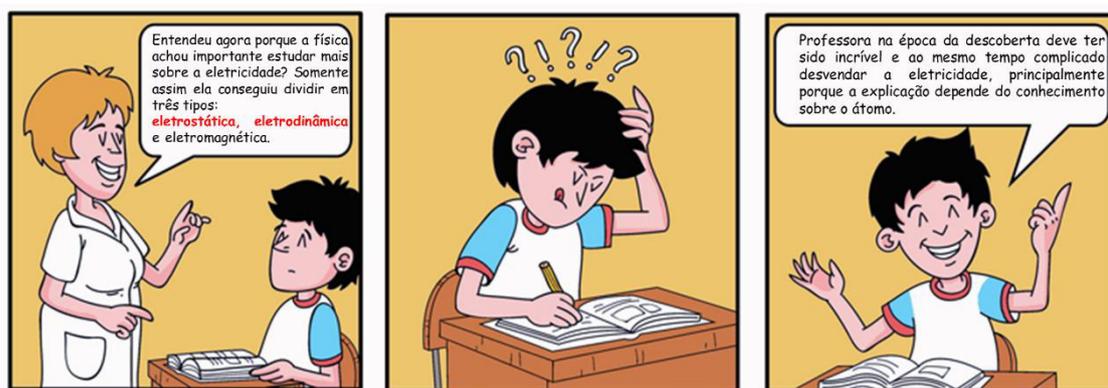


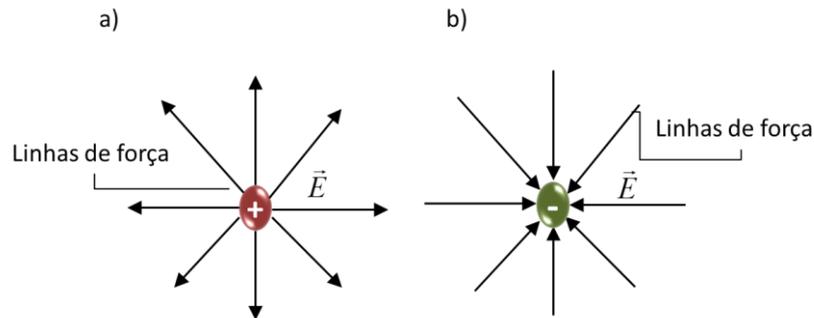
Ilustração – Flávio Coelho

### 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

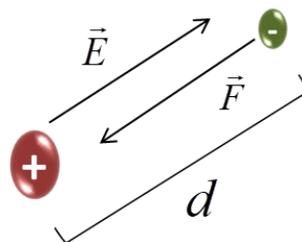
Figura 19. a) Comportamento das linhas de campo de uma carga positiva;  
b) Comportamento das linhas de campo de uma carga negativa.



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.

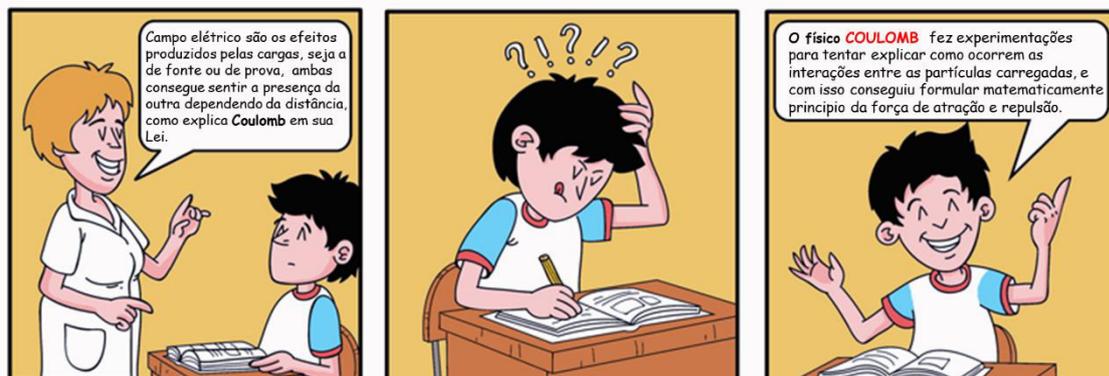


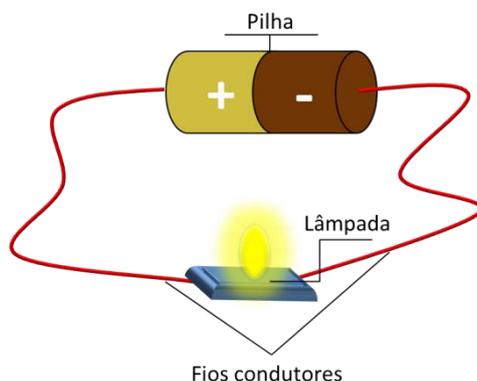
Ilustração – Flávio Coelho

### 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.

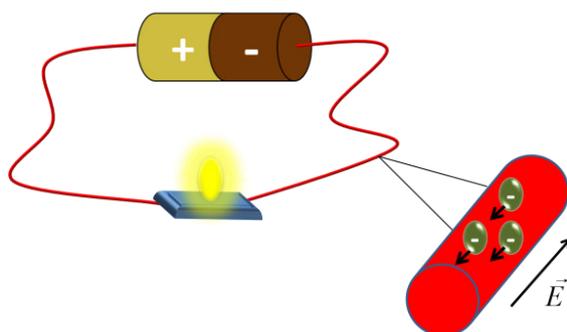
## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

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.

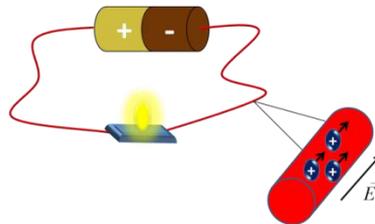
Figura 22. Ilustração do aparato experimental mostrando o sentido dos elétrons em um condutor metálico.



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.



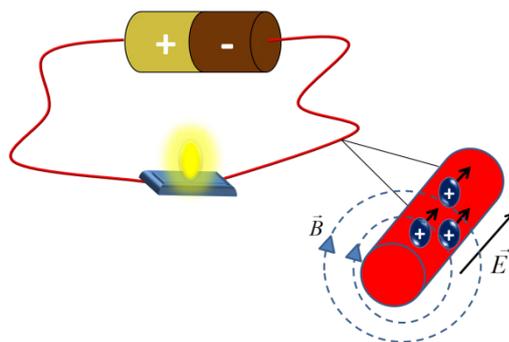
Na figura acima verificamos o sentido convencional da corrente com o deslocamento das cargas imaginárias positivas no sentido do campo elétrico. Essa definição de corrente elétrica pode ser expressa matematicamente como:

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

Em que  $i$  é a corrente elétrica dada pela unidade de medida Ampère ( $A$ ),  $\Delta Q$  é quantidade de carga dada em Coulomb ( $C$ ), e o tempo  $\Delta t$  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.

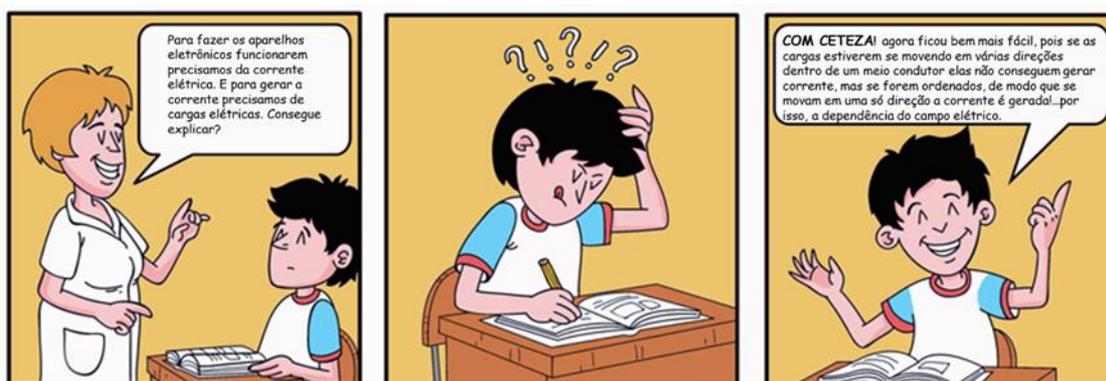
Vale demonstrar que toda corrente elétrica produz um campo magnético formando círculos concêntricos ao longo de um fio condutor representando pelo vetor indução magnética ( $\vec{B}$ ) como pode ser visto na Figura 24, esses fenômenos ligados ao magnetismo serão estudados com exatidão nos próximos capítulos.

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 paramagnético<sup>8</sup>, 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).

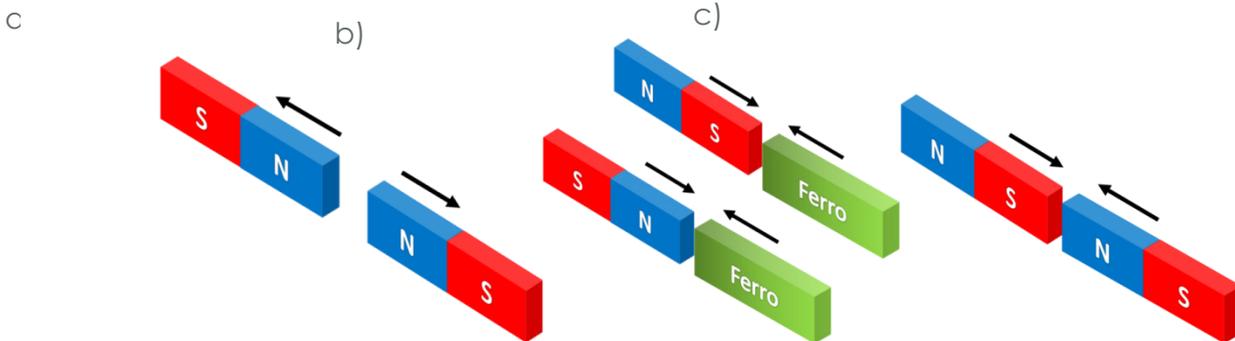
Houve quem fez o uso da pedra para as mais variadas criações como monumentos e objetos como a bússola, com o intuito da “adivinhação”. Porém, um dos inventos mais relevantes que dimensionou um “salto” nas civilizações surgiu quando os chineses conseguiram criar um método de localização no espaço por 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.

<sup>8</sup> 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?

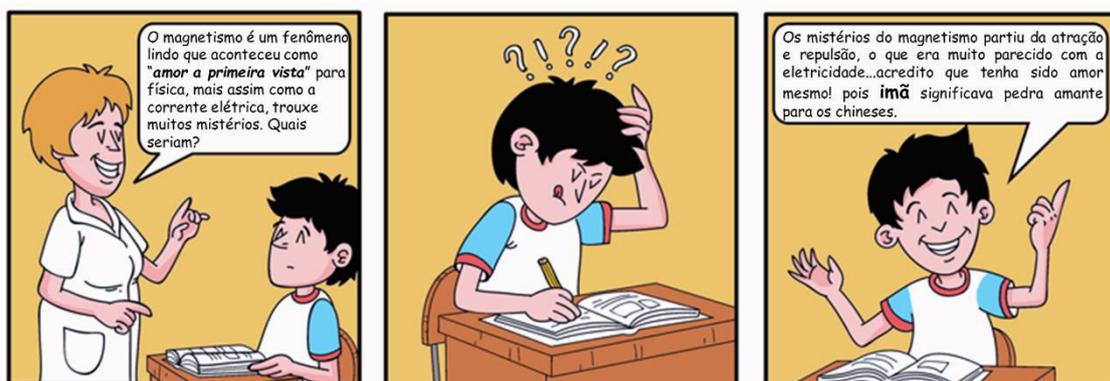


Ilustração – Flávio Coelho

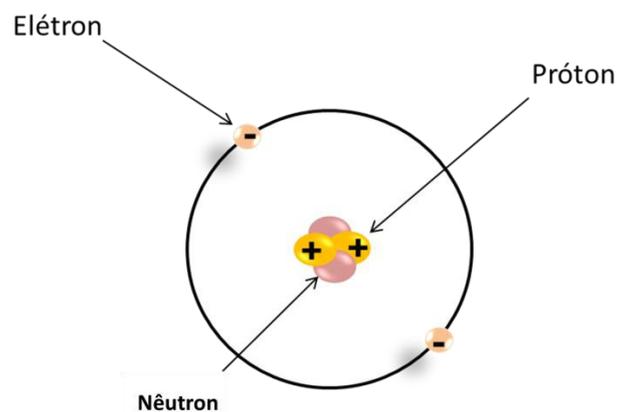
## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

### 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.

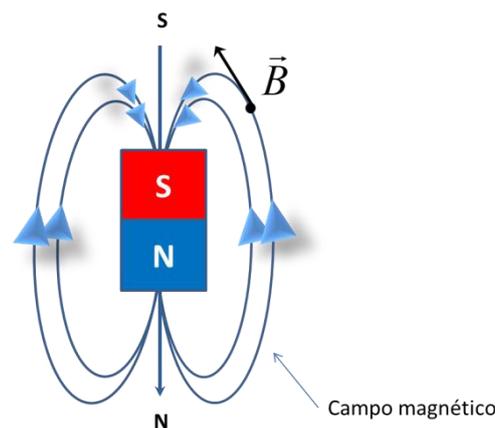
Vimos que enquanto o elétron “rotaciona” em torno do seu eixo, ele produz um campo magnético. Além disso, na medida em que ele translada (ao redor do núcleo atômico), produz um campo magnético

## 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

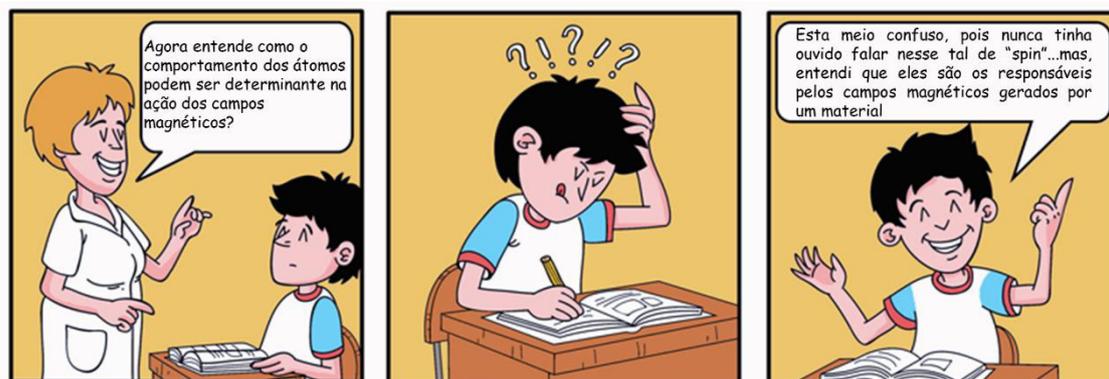


Ilustração – Flávio Coelho

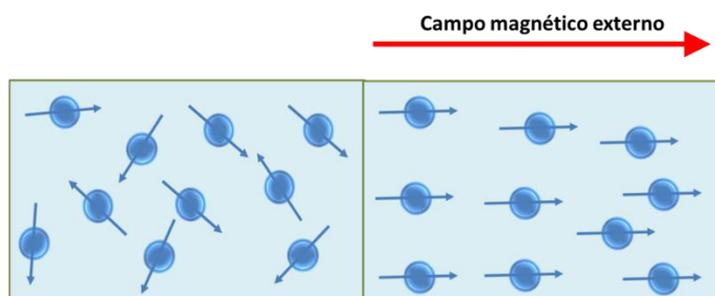
Os efeitos magnéticos dos materiais dependem da estrutura eletrônica que cada elemento possui como explicado anteriormente, o *spin* do elétron, mas para definir e classificar cada material é preciso da aplicação de campos magnéticos externos sobre os átomos e observar como se comportam. Deste modo poderemos 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, sódio<sup>9</sup>

<sup>9</sup> [Informação obtida em [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_materiales.htm/](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/) Acessado em 21 de janeiro de 2018].

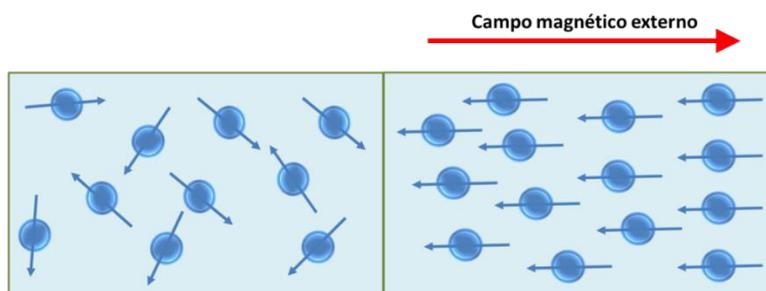
## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

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)<sup>10</sup>.

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



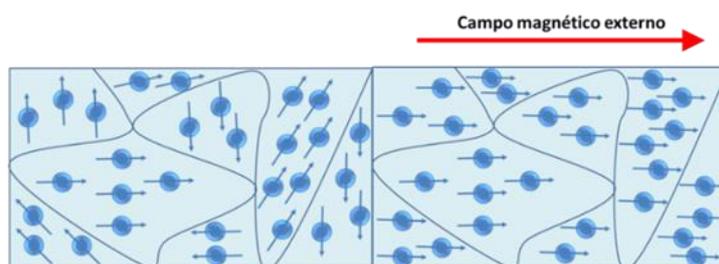
Observa-se que tanto nos materiais paramagnéticos quanto nos diamagnéticos a estrutura eletrônica é fundamental para entendermos como ocorre ou não o magnetismo, analogamente teremos nos materiais ferromagnéticos em que na camada de valência haverá elétrons desemparelhados. Os átomos que irão compor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

<sup>10</sup> [Informação obtida em [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_materiales.htm/](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, cobalto<sup>11</sup>.

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 Oersted<sup>12</sup> 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 disco<sup>13</sup>. 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.

<sup>11</sup> [Informação obtida em [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_materiales.htm/](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_materiales.htm/) Acessado em 21 de janeiro de 2018].

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

<sup>13</sup> O disco rígido (HD) de computador é feito de alumínio.

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



Ilustração – Flávio Coelho

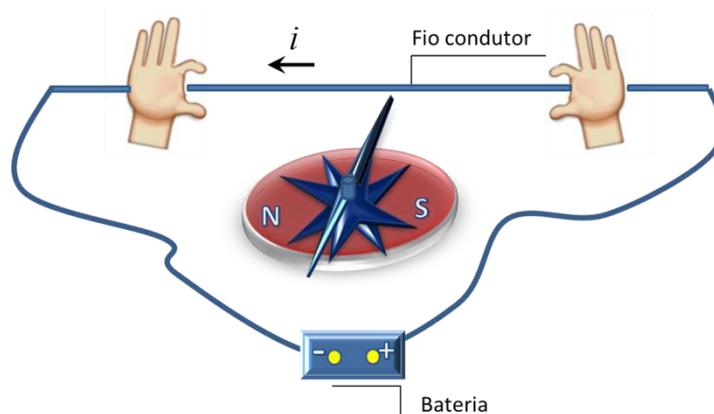
### 2.8 ELETROMAGNETISMO

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

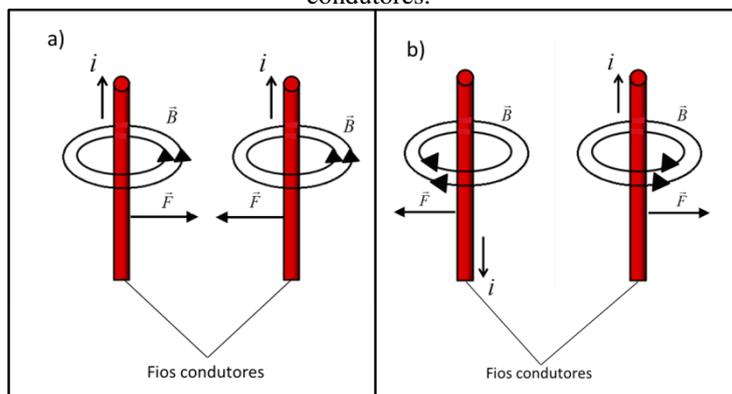
A partir da experiência de Oersted surgiu a primeira conexão entre eletricidade e magnetismo que mais tarde chama a atenção do inglês físico e químico Michael Faraday<sup>14</sup> (1791-1867).

*...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 Ampère<sup>15</sup> (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.

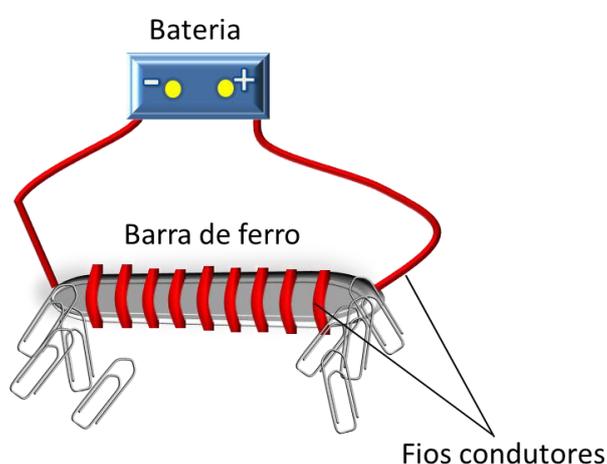
<sup>14</sup> Michael Faraday, físico e químico inglês. Foi o criador do primeiro motor eletromagnético e das leis da eletrólise. É de sua autoria os termos técnicos usados na eletrólise como: eletrodo, eletrólito, íons, entre outros. Seu nome foi imortalizado numa importante unidade de capacidade elétrica,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

<sup>15</sup> 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 Arago<sup>16</sup> (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.

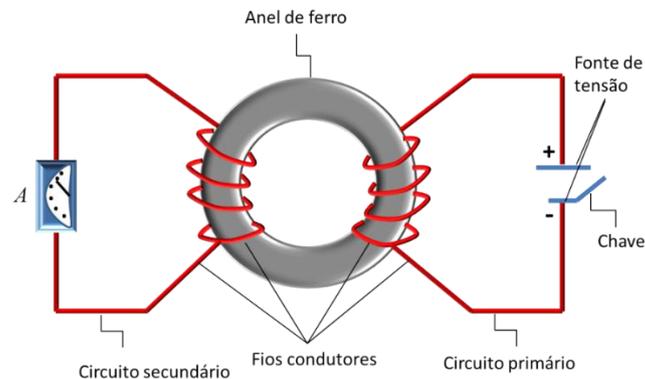


Faraday se preocupou em fazer o contrário de Arago e buscou produzir corrente elétrica a partir do magnetismo, e propôs o experimento que consistia em um anel enrolado em dois fios ambos os lados, um dos lados possuía medidor de corrente o amperímetro ( $A$ ) e do outro uma bateria (fonte de tensão) 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.

<sup>16</sup> 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).

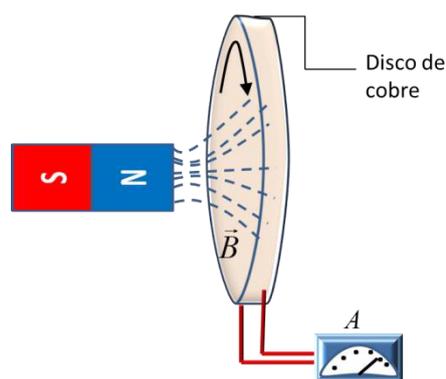
## Roteiro didático para ensinar movimento rotacional com uso do pião

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.

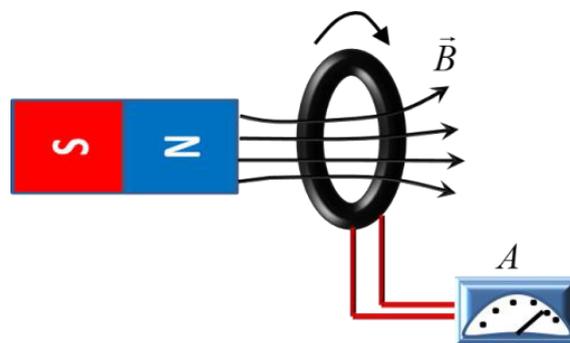
É observável que nesse experimento Faraday admite que o campo magnético seja constante e o que move é o condutor, por isso é possível produzir corrente elétrica. Porém, o mesmo efeito é verificado se o condutor (espira) estiver parado e o campo magnético estiver variando, ou seja, deslocando o ímã em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

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

Essa expressão demonstra que a força eletromotriz induzida em uma espira  $\mathcal{E}$  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  $\Delta t$  segundos ( $s$ ) para realizar essa variação. O sinal negativo presente na equação é explicado pela Lei de Lenz<sup>17</sup> – 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.

<sup>17</sup> 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 Maxwell<sup>18</sup> (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 cognição<sup>19</sup>, 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

---

<sup>18</sup> 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.

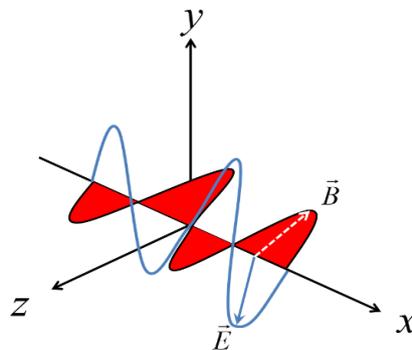
<sup>19</sup> Área do conhecimento que se propõe ao estudo da estrutura e funcionamento do pensamento.

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

já calculada experimentalmente por Fizeau<sup>20</sup> e Foucault<sup>21</sup>. 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.

<sup>20</sup> 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.

<sup>21</sup> 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

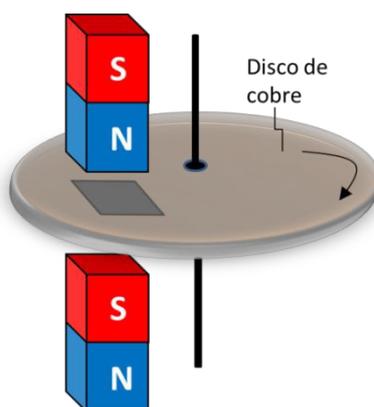


Ilustração – Flávio Coelho

### 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

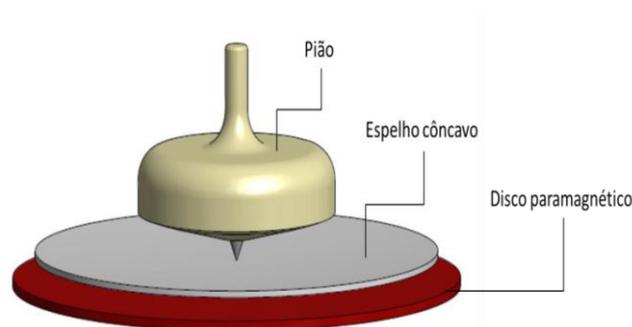
O Pião com transmissão eletromagnética é um experimento patenteado pelo pesquisador Antônio José Silva Oliveira professor associado III da Universidade Federal do Maranhão. O experimento foi desenvolvido com a finalidade de fabricação em larga escala com o intuito de abranger a rede de ensino básica 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

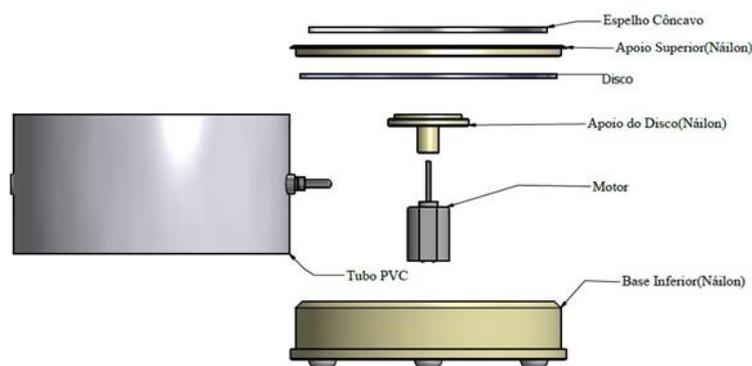
A base (Figura 40) é a parte do experimento em que ocorrerá todo movimento do pião, e para sua confecção são usados materiais bem simples como o PVC que pode ser facilmente encontrado em lojas de matérias de construção, o Náilon que pode ser moldado de acordo com as dimensões desejadas no laboratório 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.

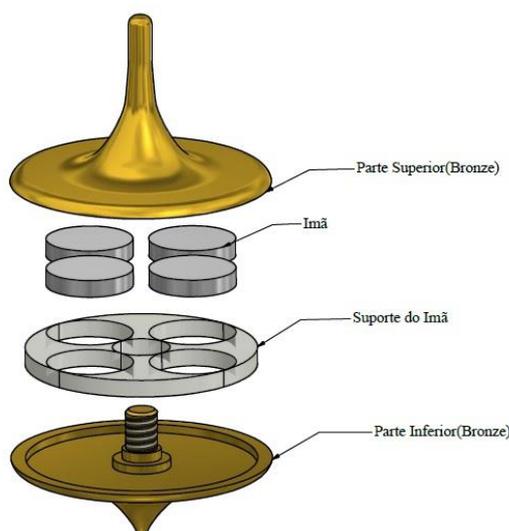


### b) O PIÃO

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?

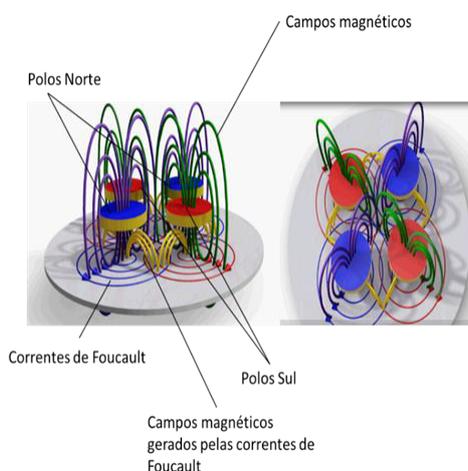
Ao ligar a fonte que está conectada a base percebemos que o pião rodopia incessantemente, ou seja, há realização de movimento mecânico, mas não existe nenhum tipo de ligação direta entre o pião e a base, por isso devemos trabalhar com a concepção de que existam forças no sistema que podem agir a distância 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.

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

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?	
<b>GrupoA</b>	
<b>GrupoB</b>	
<b>GrupoC</b>	

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?	
<b>GrupoA</b>	
<b>GrupoB</b>	
<b>GrupoC</b>	

## 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”?	
<b>GrupoA</b>	
<b>GrupoB</b>	
<b>GrupoC</b>	

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?	
<b>GrupoA</b>	
<b>GrupoB</b>	
<b>GrupoC</b>	

## 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	
<b>GrupoA</b>	
<b>GrupoB</b>	
<b>GrupoC</b>	

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**. 11<sup>a</sup> 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.