

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS CAMPO MOURÃO

CLAUDINEI GOMES DE OLIVEIRA

UMA PROPOSTA PARA A INSERÇÃO DO CONTEÚDO DE
MOMENTO ANGULAR NO ENSINO MÉDIO

CAMPO MOURÃO
2019

CLAUDINEI GOMES DE OLIVEIRA

**UMA PROPOSTA PARA A INSERÇÃO DO CONTEÚDO DE
MOMENTO ANGULAR NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling
Coorientadora: Prof^a Dr^a Natalia Neves Macedo Deimling

CAMPO MOURÃO
2019

O48p

Oliveira, Claudinei Gomes de.

Uma proposta para a inserção do conteúdo de momento angular no ensino médio / Claudinei Gomes de Oliveira. -- 2019.

119 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling

Coorientadora: Profa. Dra. Natalia Neves Macedo Deimling

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Campo Mourão, 2019.

Inclui bibliografias.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Momentos angulares. 3. Ensino médio. 4. Física - Dissertações. I. Deimling, Cesar Vanderlei, orient. II. Deimling, Natalia Neves Macedo, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Título.

CDD (22. ed.) 530.07

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco

CLAUDINEI GOMES DE OLIVEIRA

**UMA PROPOSTA PARA A INSERÇÃO DO CONTEÚDO DE
MOMENTO ANGULAR NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Ivan Marcelo Laczkowski
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Profa. Dra. Mariana Moran Barroso
Universidade Estadual de Maringá- UEM

Campo Mourão, ____ de _____ 2019

Dedico este trabalho aos meus pais que me deram o Dom mais precioso do universo: A VIDA. Já por isso seria infinitamente grato. Mas vocês não se contentaram em presentear-me apenas com ela, reverteram minha existência de amor, carinho e dedicação. Cultivaram na criança todos os valores que a transformaram em um adulto responsável, consciente. Abriram a porta do meu futuro, iluminando o meu caminho com a luz mais brilhante que puderam encontrar: O ESTUDO. Muitas foram as vezes em que meu cansaço e preocupações foram sentidos e compartilhados por vocês, numa união que me incentivaram a prosseguir.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar. Criador de todo universo, autor de nossas vidas, nos dando a oportunidade de iniciarmos este curso e forças para concluí-lo. Tenho a certeza que sem ele não estaria agora escrevendo estas palavras de agradecimentos.

Agradecimento especial aos meus orientadores, Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling e Prof. Dr^a Natalia Neves Macedo Deimling, pelo apoio, incentivo, motivação e, principalmente, não mediram esforços para que pudesse concluir com êxito essa realização da dissertação. O meu sincero agradecimento por terem me aceitado como orientando. Agradeço também a Empresa Junior Quark's Up, formada por alunos do curso de engenharia eletrônica da UTFPR, campus Campo Mourão, pelo apoio na elaboração do medidor de velocidade do kit de conservação de momento angular, o qual utilizamos no desenvolvimento de nosso trabalho.

Em especial também a todos os amigos do curso pela acolhida e companheirismo. Estivemos sempre juntos e unidos em todos os momentos.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), pelas suas contribuições e ensinamentos no decorrer do curso, as quais muito contribuíram para o meu aperfeiçoamento e crescimento na área das Ciências.

Aos alunos e demais profissionais do colégio no qual pude desenvolver o produto educacional.

Jamais poderemos compreender o que o outro espera de nós e o que esperamos do outro. Mas ainda é preferível fazer, mesmo errando, a nada fazer pelo medo de errar. Àqueles que buscaram ajudar, minha eterna gratidão. Aos obstáculos que surgiram sou grato, pois dificuldades são para vencer. Eis aqui a minha vitória. Fica a certeza de que tudo foi feito buscando o melhor e a única preocupação foi a de fazer deste curso algo inesquecível.

(Peter Bamm).

OLIVEIRA, Claudinei Gomes de. **Uma proposta para a inserção do conteúdo de momento angular no ensino médio**: 2019.119 fls. Dissertação (Mestrado Profissional De Ensino De Física) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Campo Mourão, 2019.

RESUMO

Neste trabalho objetivamos elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático-pedagógica para o ensino do conteúdo de conservação de momento angular na disciplina de Física do ensino médio, o qual tem sido pouco discutido atualmente com os estudantes em sala de aula, tendo em vista sua relevância. Para tanto, tomamos como referencial teórico-metodológico a Pedagogia Histórico-Crítica, uma teoria educacional que está baseada no método dialético de ensino, tem como ponto de partida e de chegada a prática social dos homens historicamente situados. Em um primeiro momento foi realizada uma revisão bibliográfica, a fim de que fosse possível identificar o atual contexto do tema, foco deste trabalho. Em um segundo momento, tendo em vista contribuir e ampliar as discussões e produções já realizadas, desenvolvemos uma pesquisa-intervenção de abordagem qualitativa com uma turma do 1º ano do ensino médio de um colégio Estadual pertencente ao Núcleo Regional de Educação de Assis Chateaubriand, Paraná, no período vespertino, abrangendo um total de 30 alunos. Para tanto, elaboramos alguns materiais e recursos que constituirão nosso produto educacional. Este produto, inicialmente composto por um Plano de Unidade, que detalha a montagem e desenvolvimento de atividades teórico-práticas, teve por finalidade oferecer uma alternativa diferenciada, acessível e aprofundada aos professores e estudantes na abordagem do conteúdo de momento angular no ensino médio. Este trabalho se faz parte integrante de uma pesquisa de Mestrado vinculada ao programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física ofertado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Campo Mourão.

Palavras-chave: Ensino de Física. Momento Angular. Ensino Médio.

OLIVEIRA, Claudinei Gomes de. **A proposal for the insertion of angular momentum content in high school**: 2019. 119 fls. Dissertation (Professional Master of Teaching Physics) - Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão, 2019.

ABSTRACT

In this work we aim to elaborate, develop and evaluate a didactic-pedagogical proposal for the teaching of the conservation content of angular momentum in the discipline of Physics of secondary education, which has been little discussed currently with students in the classroom, in view of their relevance. For that, we take as a theoretical-methodological reference the Historical-Critical Pedagogy, an educational theory that is based on the dialectical method of teaching, has as its starting point and arrival the social practice of historically situated men. At first, a bibliographic review was carried out, in order to identify the current context of the theme, the focus of this work. In a second moment, in order to contribute and expand the discussions and productions already made, we developed a qualitative-intervention research with a class of the 1st year of high school of a State college belonging to the Regional Center of Education of Assis Chateaubriand, Paraná, in the afternoon period, covering a total of 30 students. To do so, we elaborate some materials and resources that will constitute our educational product. This product, initially composed of a Unit Plan, which details the assembly and development of theoretical-practical activities, had the purpose of offering a differentiated, accessible and in-depth alternative to teachers and students in the approach of angular momentum content in high school. This work is an integral part of a Master's research linked to the National Professional Master's Program in Physics Teaching offered by the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Campo Mourão Campus.

Keywords: Physics Teaching. Angular momentum. High school.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 2.1 FÍSICA, MOVIMENTO E APRENDIZAGEM | 16 |
| 2.2 O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CRÍTICA..... | 18 |
| 2.3 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE MOMENTO ANGULAR E CONSERVAÇÃO DE MOMENTO ANGULAR | 23 |
| 2.3.1 O produto vetorial | 26 |
| 2.3.2 Torque e momento angular | 28 |
| 3. MÉTODO E PROCEDIMENTOS | 33 |
| 3.1 PROCEDIMENTO DE CONTRUÇÃO DOS DADOS | 33 |
| 3.2 PERFIL DA ESCOLA DE INTERVENÇÃO DO PRODUTO E DA TURMA ESCOLHIDA | 35 |
| 3.2.1 Procedimentos de análise dos dados | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |
| 4.1 PARTINDO DA PRÁTICA SOCIAL INICIAL: CINEMÁTICA DAS ROTAÇÕES..... | 42 |
| 4.2 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS CULTURAIS:MOMENTO DE INÉRCIA E TORQUE | 47 |
| 4.3 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS CULTURAIS: MOMENTO ANGULAR E A CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR..... | 49 |
| 4.4 RETORNANDO À PRÁTICA SOCIAL – A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO PARA A COMPREENSÃO E TRANSFORMAÇÃO DA REALIDADE | 58 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 66 |
| REFERÊNCIAS | 68 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE A: PLANO DE UNIDADE-PRODUTO EDUCACIONAL | 72 |
| APÊNDICE B: TERMO DE CONSENTIMENTO..... | 115 |
| APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO INICIAL | 117 |
| APÊNDICE D: QUESTIONÁRIO FINAL | 118 |

1 INTRODUÇÃO

O modo como a Física tem sido ensinada e como o aluno conseguirá assimilar seus conceitos, tem causado crescentes preocupações de professores e pesquisadores na atualidade (VILLATORRE; HIGA; TYCHANOWICZ, 2009). Considerando o atual cenário, torna-se fácil verificar que os alunos se encontram cada vez mais envolvidos com recursos tecnológicos, redes sociais, que frequentemente não estão voltados à sua aprendizagem. Neste sentido, Agassi (2018) afirma que até os professores apresentam, com alguma frequência, dúvidas relacionadas à aplicabilidade do conteúdo por eles lecionado, sendo que as mais citadas foram: “Para que serve?”, ou “Onde vou utilizar?”. Embora alguns trabalhos tenham indicado vários progressos nessa área, sabemos que ainda há muitas lacunas para serem aprofundadas, dentre as quais, o fator motivacional relacionado à aplicabilidade dos conteúdos abordados ao longo da disciplina se mostrou um desafio quase intransponível (AGASSI, 2018).

É de comum consenso que a Física é uma área abrangente, voltada aos estudos dos fenômenos naturais, descrevendo os mesmos por meio de teorias e modelos que aplicam a linguagem matemática, permitindo prever resultados experimentais com grande precisão, gerando com isso aplicações tecnológicas, das quais muitas delas transformaram consideravelmente nosso modo de vida (BEMDOV, 1996). Nesse contexto, é fundamental ressaltar que a Física se efetivou como ciência a partir de descobertas baseadas em sérias e criteriosas observações e análises de importantes estudiosos e filósofos ao longo da história. Esta ciência apresenta objetivos de ordem especulativa, ou seja, de desvendar os mistérios da natureza com a finalidade de nos fazer entender e conscientizar sobre a nossa relação com o mundo e o universo (ANJOS, 2012). Além disso, a Física também apresenta objetivos práticos, tais como canalizar tecnologias a fim de nortear objetivos de esclarecer mitos sobre diferentes fenômenos (MENEZES, 2005).

Considerando o modo como a Física vem sendo trabalhada nas escolas, muitos são os motivos que podem influenciar na escolha dos conteúdos abordados ao longo da disciplina: o arcabouço cultural construído e acumulado pela humanidade ao longo da história, os objetivos educacionais, a formação docente, as leis, diretrizes e bases curriculares nacionais, os recursos humanos e materiais disponíveis na instituição escolar, as condições objetivas e subjetivas de trabalho, as avaliações nacionais e

internacionais da educação básica, entre outros. A despeito de todos esses fatores, a escolha dos conteúdos curriculares tem se pautado, quase que exclusivamente, nos índices de desempenho apresentados pelos estudantes em avaliação nacionais e internacionais da educação básica, as quais, muitas vezes, não consideram as condições precárias de trabalho enfrentadas pelos profissionais da educação nas escolas, especialmente da rede pública. Tais condições – as quais podem incluir, entre outros aspectos, a falta de investimento em ciência e tecnologia, salas de aulas superlotadas, a desvalorização social e profissional docente, e carga reduzida para a grande maioria das disciplinas no Ensino Médio - influenciam diretamente no desenvolvimento das atividades de ensino e na apropriação ou não dos conteúdos por parte dos estudantes. No que se refere ao ensino de Física, essas condições podem ser ainda mais prejudiciais.

Atualmente, o número de horas/aula de Física na rede pública de ensino varia de duas a três semanais, conforme indicam os dados da Secretaria de Estado da Educação do Paraná, através da INSTRUÇÃO Nº 04/2005 - SEED/SUED. Tendo em vista esse cenário desfavorável, o aparente descaso das autoridades governamentais, a desvalorização social e financeira do professor, o empobrecimento do currículo do ensino de Física, marcado por fragmentações e pela lógica rígida de alguns pré-requisitos adotados, consideramos necessárias medidas que visem superar tais dificuldades. Todavia, essa superação deve considerar a realidade concreta na qual estamos imersos. Se a disciplina de Física conta, atualmente, com uma carga horária reduzida no currículo do ensino médio, precisamos considerar soluções que visem trazer contribuições dentro dessa realidade. Porém acredita-se que a grande falha a respeito de muitos não terem entendimento e conhecimento de tal assunto, dá-se em parte as carências que alguns livros didáticos apresentam, não aprofundando adequadamente certos conteúdos, apresentando os mesmos de forma resumida, frequentemente sem ligação com a realidade, fazendo com que o estudante fique cada vez mais distante das aplicações práticas proporcionadas por essa ciência.

O trabalho com a disciplina de Física nas escolas de Educação Básica apresenta desafios enfrentando também em outras áreas do conhecimento, como por exemplo, a articulação entre teoria e prática. Pensando nos desafios atuais, é preciso compreender “a escola como o espaço do confronto e diálogo entre os conhecimentos sistematizados e os conhecimentos do cotidiano popular. Essas são as fontes sócio-históricas do conhecimento em sua complexidade” (PARANÁ, 2009, p. 21).

Para que o ensino de Física articule efetivamente teoria e prática na formação discente, é necessário compreender sua extensão e sua presença nas práticas sociais. Fundamentalmente, o professor precisa compreender e levar seus alunos a compreenderem que:

A Física não se limita à história de seus protagonistas. Antes ao contrário: é uma história do pensamento em que ideias surgem e desaparecem, em que pensamentos, diversas vezes completamente despropositados na época em que apareceram, tomam forma e ultrapassam as barreiras profissionais contemporâneas. Não aquela Física em geral apresentada nos colégios, uma caricatura muito mal elaborada e, para o físico, meramente anacrônica. (BEM-DOV, 1996, p.7).

A ânsia de levar esse ponto de vista sobre a Física ao estudante é grande. Ele precisa se fazer protagonista sobre a forma como fenômenos físicos são abordados. É nesse sentido que dominar as ferramentas que são utilizadas para descrever os fenômenos físicos, compreender os conceitos já existentes e aprender a pesquisar compõe um conjunto de ações que podem levar ao estudante a avançar no domínio da conceituação desses fenômenos.

Contudo, o estudo da Física acaba envolvendo estratégias de raciocínio matemático, percepções e conceitos das ciências, além da busca pelo conhecimento, que é de âmbito da Filosofia. Vale lembrar que conforme as diretrizes curriculares de Física (PARANÁ, 2009, p.57), os conteúdos estruturantes da Física são o movimento, a termodinâmica e o eletromagnetismo. Embora esses conteúdos sejam bastante extensos e amplos, é sobre o primeiro deles que a presente pesquisa está inserida. Como se há de verificar, elencar os conteúdos estruturantes de uma disciplina é imprescindível para o bom trabalho didático com a mesma. Segundo as DCEs (2009):

Em cada conteúdo estruturante estão presentes ideias, conceitos e definições, princípios, leis e modelos físicos, que constituem como uma teoria. Desses estruturantes derivam os conteúdos que compõem as propostas pedagógicas curriculares das escolas. (PARANÁ, 2009, p. 57).

Elencando o conteúdo estruturante, o profissional da educação poderá definir seu trabalho pedagógico, o que é importante e como desenvolver esse objetivo em sala de aula. Na prática, possibilitar o domínio dos conteúdos estruturantes de uma disciplina é possibilitar ao educando agir e redefinir uma prática social.

Mediante essas considerações, faz-se necessário questionar o que é necessário para uma educação básica, ou seja, como determinar a seleção de um

conteúdo em detrimento do outro. Este é, pois, um dos objetivos do presente trabalho: discutir como tem sido desenvolvido o conteúdo de momento angular no currículo do primeiro ano do ensino médio e qual sua relevância para a Educação Básica. O produto educacional desenvolvido neste trabalho foi composto por um plano de unidade de conteúdo contendo atividades teórico-práticas e um questionário – sendo ele aplicado nos momentos iniciais e finais da intervenção – que objetivou inicialmente avaliar os conteúdos já dominados pelos alunos. Ao final da intervenção o questionário novamente foi aplicado com o objetivo de avaliar o aprendizado dos estudantes. Este questionário está incorporado no plano de unidade de conteúdo (parte integrante do produto educacional) do qual inclui os pré-requisitos assim como os conteúdos relacionados com o tema momento angular. O conteúdo disposto no plano de unidade de conteúdo contou com atividades teórico-práticas envolvendo a construção de um kit experimental, que serviu para abordar conteúdos relacionados com o tema momento angular, utilizando materiais de baixo custo e de fácil acesso para o professor. Tais reflexões vão ao encontro de uma das bases teóricas das Diretrizes Curriculares Estaduais do Paraná (DCE), a Pedagogia Histórico-Crítica, teoria que, a partir dos estudos desenvolvidos por Saviani (2008), defende a difusão do conhecimento construído, sistematizado e acumulado pela humanidade ao longo da história a todos, indistintamente.

Para essa discussão, realizamos um levantamento bibliográfico inicial em alguns livros como os de Saviani(1992;2008), Escola e Democracia, Pedagogia Histórico Crítica, e, Bem-Dov, (1996), Convite a Física, bem como os PCNs(1997), as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (2000; 2006), além das DCEs (2008), Currículo Básico para as Escolas do Paraná(1992), como também artigos de autores falando sobre o tema, dentre eles Cisneros e Lujan (1996), Duarte (2012), Machado e Machado(2015), Oliveira(2010), Wurz (2013), Menezes(2005).

A partir desses levantamentos, procuramos conceituar o conteúdo, propondo questões que estariam relacionadas com fenômenos físicos que pudessem atender os anseios presente no seu cotidiano, ou seja, que fosse voltado para sua realidade, diferentemente do que observamos no momento. Assim, de acordo com Sorte (2018),

[...] a produção de recursos educacionais que busquem favorecer essa articulação entre conteúdos abstratos e realidade concreta torna-se um

importante instrumento, tanto para a internalização do conhecimento científico quanto para compreensão do contexto social (SORTE, 2018, p. 18).

Entendemos que, a partir desses recursos possamos contribuir para que conhecimentos científicos e situações cotidianas estejam articulados no processo ensino-aprendizagem, que possam ser um elo de ligação entre professores e alunos, onde ambos sejam capazes de reelaborarem, complementarem e mediar o acesso a tais conteúdos, contribuindo para uma melhor compreensão, bem como para mostrar a sua relevância.

Portanto, quando se discute o ensino da Física, faz-se necessário pensar em um trabalho diferenciado voltado para essa ciência e, neste caso o produto educacional, que contempla o conteúdo de momento angular, aparece como alternativa para construir um conhecimento, voltado para situações práticas cotidianas dos alunos. Concordando com o discurso anterior, as DCEs de Física (2009), também apontam para a necessidade de buscar mostrar ao educando os conceitos estudados a partir da realidade imediatas dos mesmos. Dessa forma, o presente estudo observou como os estudantes compreendem o conteúdo de momento angular e sua relação com a realidade.

Para uma melhor organização, o nosso trabalho se encontra da seguinte maneira: no capítulo segundo, apresentamos com mais detalhes a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica deste trabalho que contemplam, dentre outros pontos, os motivos para a escolha do tema e seguimento do estudo de pesquisa. Após essa breve discussão, apresentamos no capítulo terceiro o ensino de Física na perspectiva histórico-crítica, que norteia o nosso referencial teórico no desenvolvimento desse estudo. O capítulo quarto, intitulado métodos e procedimentos, trará a nossa proposta de trabalho, ponto chave do nosso Produto Educacional e fará alguns esclarecimentos de como o produto será aplicado, destacando a quantidade de aulas, alunos, em qual turno, colégio e como será coleta de dados. O capítulo quinto denominado resultados e discussões, buscamos apresentar as contribuições deste estudo, bem como sua relevante importância às práticas docentes contribuindo para uma melhor compreensão, por parte dos estudantes, e finalizando, no capítulo sexto apresentamos as nossas considerações finais referente a implementação do produto educacional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FÍSICA, MOVIMENTO E APRENDIZAGEM

Segundo alguns trabalhos já mencionados neste texto assim como os PCNs, BRASIL, (2006, p. 56), concordamos que “no ensino da mecânica, por exemplo, o princípio de conservação dos movimentos e da energia são assuntos de grande relevância e merecem atenção principal”.

Na Física, o movimento é um conceito basilar, estruturante, junto a eletromagnetismo e a termodinâmica (PARANÁ, 2008). Partindo do conceito de movimento aplicado em diferentes situações, experiências e apontamentos podem ser conduzidos considerando o movimento de rotação de um corpo rígido em torno de um eixo fixo, permitido o aprofundamento da compreensão de grandezas Físicas relacionadas, como momento angular, entidade que tende a conservar seu valor na ausência de torques externos (CISNEROS; LUJAN, 1996, p.1). Dessa forma, desenvolver o conteúdo de momento angular a partir dos estudos do movimento circular envolvendo demonstrações de situações práticas pode levar o educando a compreender de maneira mais ampla os conceitos de inércia, rotações, torque e como esses estados estão envolvidos em diferentes situações do seu cotidiano.

Até o ano de 1992, no Currículo Básico para as Escolas do Paraná só contemplava o ensino de Ciências, o qual não se aprofundava nas questões fundamentais do movimento e de como aconteciam as transformações envolvendo calor, força e tempo. O momento angular foi descrito pela primeira vez nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL,1997) como conteúdo e objetivo de aprendizagem. De acordo com o documento,

Será preciso desenvolver competências para lidar com as leis de conservação (da quantidade de movimento linear e angular e da energia), compreendendo seu sentido, e sabendo utilizá-las para fazer previsões e estimativas. Assim, quando as leis de Newton comparecem como um caso particular da conservação da quantidade de movimento, abre-se espaço para uma compreensão mais ampla de interações reais, nas quais o tempo de colisão tem um papel preponderante. Nesse contexto, investigar movimentos não pode se limitar a um extenso tratamento da Cinemática, que nessa nova abordagem comparece apenas para dar significado às variações dos movimentos, através dos conceitos de velocidade e aceleração. (BRASIL, 1997, p. 69).

Antes de tudo, vale lembrar que apesar dos PCNs indicarem esse conteúdo, o fazem de maneira muito genérica, tendo como principal fundamento as habilidades e

as competências em detrimento da formação ampla, global e crítica dos estudantes a partir dos conhecimentos científicos. Entretanto, as atuais Diretrizes Estaduais para o Ensino de Física não trazem esse conceito, tratando do movimento a partir das leis de Newton, movimento, inércia e impulso e abordando a necessidade do trabalho com a conservação da energia e ideias associadas à termodinâmica do século XIX (PARANÁ, 2008, p.43-58) ou a própria história da Física e de seu método de estudo e linguagem científica.

Trabalhos como os de Duarte (2012) apontam que esse conceito - momento angular - não consta em muitos livros de Ensino Médio. Muitos outros materiais didáticos ou paradidáticos que visam promover a melhoria do ensino se mostram também deficitários, apresentando-se em boa parte de forma fragmentada. Nessa linha de análise, torna-se necessário pensar em reformular o currículo, levando em conta as mudanças estruturais que alteram a produção e a própria organização da sociedade que identificamos como fator econômico (BRASIL 2000; 2006). Em linhas gerais, embora as ciências exatas venham, ao longo dos séculos, cunhando seu caráter cientificista e abstrato, é papel da escola proporcionar conhecimento pleno a todos. Isso implica, entre outros aspectos, no investimento em metodologias alternativas que garantam a aprendizagem de todos os conteúdos. Como afirma Saviani (1992), a aprendizagem real e total é um desafio da Educação Básica. Em se tratando da Física e das demais ciências exatas, entendemos que o abismo entre o que se precisa aprender e o desempenho dos alunos pode ser ainda maior do que se imagina para o momento.

De acordo com Oliveira (2010), poucos estudos, projetos ou posturas pedagógicas dão conta de levar conceitos próprios da Física à sala de aula. Por outro enfoque, é possível notar a presença do conteúdo de momento angular em iniciativas e trabalhos de pesquisadores que buscam aulas diferenciadas e interdisciplinares para o ensino de Física, tais como o trabalho de Wurz (2013), no qual, por meio do lúdico, o autor buscou explorar os conceitos envolvidos no movimento da plataforma giratória, do ioiô e do pião, visando tornar mais palpável a sistematização do conteúdo de momento angular. Embora as atividades desenvolvidas no estudo acima descrito apresentem uma metodologia diferenciada, a avaliação dessa atividade foi realizada por meio de um questionário, com intuito de monitorar a qualidade do aprendizado dos educandos.

Nessa mesma perspectiva, Machado e Machado (2015), trabalharam esse conceito por meio de instrumentos de medidas, tais como sensores de tempo, cronômetro digital, régua e dinamômetro, tendo em vista apresentar a relação entre o impulso angular e a variação do momento angular de um corpo rígido por meio de atividades teórico-práticas que contemplavam, também, aspectos do cotidiano. Essa atividade foi desenvolvida em um laboratório de Física da Universidade Braz Cubas em um dos cursos de engenharia na disciplina de Física I. Assim como nesse estudo, entendemos que a utilização de exemplos do cotidiano onde se faz presente a conservação do momento angular como o sistema de rotação da hélice do helicóptero, engrenagem acopladas a um eixo, cadeira giratória, patinadora no gelo e até mesmo no andar da bicicleta, entre outros exemplos, podem auxiliar na compreensão dos conceitos científicos envolvidos com o tema.

Considerando a especificidade e fragmentação dos currículos de Física adotados na Educação Básica entendemos que o conteúdo de momento angular pode ser inserido na realidade dos estudantes por meio de uma extensão natural do conteúdo de movimento circular. Contudo, vale lembrar que para a grande maioria dos educandos, a educação básica é composta por conteúdos extremamente complexos que exigem certos cuidados ao serem tratados em sala de aula, como é o caso do conteúdo de momento angular, que está presente no cotidiano do educando e que, devido à ausência de conhecimento científico, desconhece suas aplicações.

2.2 O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CRÍTICA

Quando pensamos na maneira como a disciplina de Física vem sendo ensinada, nos leva a uma reflexão sobre novas metodologias, a fim de que possamos mudar o cenário atual em sala de aula. Certamente, o problema da educação brasileira, especialmente a pública, não está apenas relacionado à métodos e técnicas de ensino mas, sobretudo, aos objetivos educacionais e as condições objetivas e subjetivas de trabalho existentes (ou ausentes) nas escolas. Todavia, considerando o processo educativo como um fenômeno concreto, entendemos que a questão metodológica também ganha importância quando se discute sobre a melhoria da qualidade da educação, em toda e qualquer área do conhecimento.

Entendemos que um dos fatores imprescindíveis para alcançar melhorias no ensino e, neste caso particular, no ensino de Física, passa pela utilização de aulas

teórico-práticas que permitam aos alunos vivenciarem o fenômeno abordado e discutirem os principais fatores que influenciam os resultados obtidos, criando um vínculo real entre teoria e prática e contribuindo para a aprendizagem. De acordo com Costa e Barros (2015):

No país, especialmente na escola pública, o ensino de ciências físicas e naturais ainda é fortemente influenciado pela ausência do laboratório de ciências, pela formação docente descontextualizada, pela indisponibilidade de recursos tecnológicos e pela desvalorização da carreira docente (COSTA; BARROS, 2015, p. 10981).

Como já mencionado, entendemos que uma mudança na forma como a Física vem sendo tratada nas escolas não depende apenas de mudanças na metodologia de ensino ou na forma como o conteúdo vem sendo desenvolvido com os educandos, mas também de condições objetivas de trabalho, as quais envolvem recursos materiais e financeiros para a condução de práticas docentes diferenciadas que motivem os alunos e facilitem a obtenção das respostas: hoje a escola cumpre seu papel? Professores e alunos cumprem sua função? E nós enquanto cidadãos, desempenhamos nossa função?

Portanto entende-se que a Pedagogia Histórico-Crítica, constitui uma teoria que, a partir dos estudos desenvolvidos por Saviani (2008), defende a difusão do conhecimento construído, sistematizado e acumulado pela humanidade ao longo da história a todos, indistintamente. Discussões dessa natureza também vão ao encontro de uma das bases teóricas das Diretrizes Curriculares Estaduais do Paraná (DCE). Todavia, quando buscamos mudanças na sala de aula, ou no cotidiano escolar, recaímos exclusivamente na figura do professor, tanto no ponto de vista político quanto didático pedagógico. Porém, sabemos que todo processo pedagógico engloba um contexto bastante complexo. Este é, pois, o objeto de estudo do presente trabalho: discutir como o tem sido desenvolvido o conteúdo de momento angular no currículo do primeiro ano do ensino médio e qual sua relevância para a Educação Básica, abordando algumas vertentes presente no cotidiano, que foram se perdendo ao longo do tempo no processo educacional como: o momento de inércia e sua relação no movimento de rotação, torque e a energia cinética de rotação, além de atividades teórico-práticas que relacionam os conceitos físicos sobre o tema.

Para tanto, de acordo com Saviani (1991 apud Gasparin,2003) “este é, portanto, um momento de reflexão da maior relevância porque traduz, para efeitos do

trabalho com os alunos no interior da sala de aula, uma teoria da educação que se quer, ao mesmo tempo, crítica e transformadora”. Mesmo após 15 anos dessa citação, verifica-se a concordância com o atual contexto escolar, sendo necessária muita clareza quanto a sua ação pedagógica do professor, para que possa fazer dessa didática um instrumento que leve ao verdadeiro conhecimento.

Desde o início do século XIX no Brasil, era visível perceber que o acesso à educação era voltado para uma minoria de pessoas que detinham grande poder capitalista, sendo a maioria das pessoas menos abastadas esquecida no marasmo. Apesar do tempo, essa realidade, respeitados os avanços já conquistados ao longo da história, ainda parece longe de ser diferente nos dias atuais. Concordamos com Paro (2012) quando afirma que:

No atual contexto da sociedade capitalista em que vivemos, a transformação social precisa ser entendida num sentido que extrapole o âmbito das meras “reformas”, de iniciativa da classe que detém o poder, e que visam tão somente a acomodar a seus interesses os antagonismos emergentes na sociedade. Em seu sentido radical, a transformação social deve estar comprometida com a própria superação da maneira como se encontra a sociedade organizada. Não, portanto, a mera atenuação ou escamoteação dos antagonismos, mas a eliminação de suas causas, ou seja, a superação das classes sociais (PARO, 2012, p.107).

Assim, como citado anteriormente e considerando a atual conjuntura social, política e econômica que estamos inseridos, o papel do professor em sala de aula deve ser voltado a formação de cidadãos críticos, capazes de compreender e alterar sua realidade, usando como ferramenta o método dialético em que se insere prática-teoria-prática, ou seja, partir sempre da prática social empírica atual, contextualizando-a, passando, em seguida, à teoria que ilumina essa prática cotidiana, a fim de chegar a uma nova prática social mais concreta e coerente. Desta forma, trabalhar os conteúdos contextualizando-os com a prática social mais ampla é o fundamento da pedagogia histórico-crítica que levará o educando a uma reflexão sobre a sua participação na sociedade em que atua.

Partindo desse pensamento Gasparin (2003), apresenta uma proposta que descreve cinco passos para que a pedagogia histórico-crítica seja aplicada em sala de aula, trazendo como ponto de partida para a elaboração de uma aula, a prática social. O primeiro passo, a prática social inicial, que implica segundo ele: “em partir do saber, do conhecimento que os educandos já possuem sobre o conteúdo” (GASPARIN, 2003, p.17). Para que isso ocorra é necessário que o professor detenha,

além dos conhecimentos específicos do conteúdo, um conhecimento prévio da realidade, de maneira mais clara e mais sintética que os alunos, pois estes possuem apenas uma percepção inicial de senso comum.

Passando para o segundo passo, a problematização, temos a fase que consiste, na verdade, em selecionar e discutir problemas que tem sua origem na prática social. É nesse momento que os alunos vão apreender a se questionar, investigar, refletir, ir ao fundo para encontrar um caminho que possa solucionar as questões que foram levantadas na prática social. Partindo dessa ideia “deve ser feita uma seleção do que é fundamental”, tendo em vista a compreensão do todo social, e não apenas do cotidiano imediato (GAPARIN,2003, p.36). Os questionamentos com base nos dados assinalados pelos alunos serão conduzidos pelo professor que iniciará uma reflexão mais ampla possibilitando entender tais problemas e a necessidade que os conteúdos científicos terão para solução dos mesmos. Agora o estudo já não consiste em apenas reproduzir algo e sim em encaminhar soluções, ainda que teóricas, para os desafios apontados pela realidade. Nesta fase é que se inicia a verdadeira tomada de consciência.

O terceiro passo, a instrumentalização, de acordo com Gasparin (2003, p.107) é a fase na qual, de fato, “ocorre a aprendizagem do conhecimento científico, ou seja, dos conceitos científicos”. O processo dialético de construção do conhecimento é efetivado pelo educando e o professor, na instrumentalização, saindo do conhecimento baseado na experiência (empírico) para o concreto. É o momento de evidenciar que os estudos dos conteúdos propostos vão ser colocados em prática, ou melhor é retornar a prática para transformá-la. Para tanto é indispensável à presença do professor que agirá como mediador interagindo com os alunos para que possam apreender o conhecimento historicamente produzido sobre os diferentes temas, auxiliando-os a elaborarem sua representação mental do objeto do conhecimento. Trata-se efetivamente do momento da análise. Gasparin (2003), ao discutir sobre o papel do professor, comenta:

Ao assumir o papel de mediador pedagógico, o professor torna-se provocador, contraditor, facilitador, orientador. Torna-se também unificador do conhecimento cotidiano e científico de seus alunos, assumindo sua responsabilidade social na construção/reconstrução do conhecimento das novas gerações em função da transformação da realidade (GASPARIN, 2003, p.113).

Nesse sentido, podemos afirmar que a partir do momento em que o aluno, com a ajuda do professor, consegue entender os novos conhecimentos, este se transforma num cidadão mais autônomo, ou seja, um cidadão crítico e participativo que ao término do período escolar conseguirá formar conceitos mais elaborados sem a participação direta do professor. Quando os alunos atingirem esse nível de compreensão o professor terá cumprido sua função.

O próximo passo, a catarse, segue depois de se ter estudado os conteúdos e os processos de sua construção, necessária para determinar qual foi o nível de aprendizagem do aluno, ou seja, qual é a sua nova maneira de ver o conteúdo e a prática social. Com isso faz-se necessário por meio de textos ou oralmente que o aluno faça uma síntese demonstrando o grau de assimilações dos novos conteúdos. É por meio desta atividade que se poderá perceber o novo posicionamento intelectual dos alunos, situando o conteúdo histórico-concreto na totalidade. Segundo Gasparin (2003), p.130), “na catarse o educando é capaz de situar e entender as questões sociais postas no início e trabalhadas nas demais fases, o conteúdo em uma nova totalidade social e dando a aprendizagem um novo sentido”. Dessa forma o educando manifesta que assimilou os conteúdos e os métodos de trabalho em função das questões anteriormente enunciadas, enfim, passou da antítese à síntese. Vale ressaltar que esses cinco momentos pedagógicos não são rígidos e estáticos. Pelo contrário, eles se entrelaçam e se articulam ao longo de todo o processo de ensino-aprendizagem.

O quinto passo, a prática social final, consiste na retomada da prática social, agora com uma compreensão mais ampla, crítica e sintética da realidade. A prática social final está relacionada diretamente com a prática social inicial, porém com uma diferença: se antes o conhecimento da realidade era apenas do senso comum, agora foi adquirido um conhecimento elaborado, uma aprendizagem científica, portanto a ação do educando na sociedade deverá ser evidenciada no seu dia-a-dia, mostrando uma disposição em pôr em prática o novo conhecimento.

Esse novo conhecimento no entanto deve ser percebido na ação dos alunos tanto em sala de aula como também fora dela, mesmo porque como afirma Gasparin (2003, p.145), “a finalidade da escola, em todos os níveis e áreas do conhecimento, não é apenas preparar um profissional, mas um cidadão”. A proposta é de que o aluno ao tomar consciência de que algo pode ser mudado e que ele é sujeito da história e portanto faz parte da mesma, sinta-se comprometido, uma vez que esse método de

estudo tem como pressuposto a articulação dialética entre educação e sociedade. O ensino escolar deve produzir desenvolvimento, superação, enquanto a teoria-prática não se dá na prática pode-se dizer que o processo do conhecimento não alcançou o objetivo da Pedagogia Histórico-Crítica na sua totalidade.

Partindo dos apontamentos acima apresentados, desenvolvemos nosso Plano de Unidade (produto educacional) sobre Momento Angular e Conservação do momento Angular, tomando como base os princípios da Pedagogia Histórico-Crítica, uma vez que percebemos a ausência desse relevante conteúdo no currículo do primeiro ano do Ensino Médio das escolas pertencentes ao Núcleo Regional de Assis Chateaubriand, PR. Com isso, tivemos a intenção de contribuir para o enriquecimento da compreensão dos alunos sobre os efeitos vinculados ao estudo das rotações.

2.3 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE MOMENTO ANGULAR E CONSERVAÇÃO DE MOMENTO ANGULAR

De acordo com ideias retiradas de Tipler e Mosca (2006) o momento angular é a grandeza Física rotacional análoga à quantidade de movimento linear. Assim, um carrossel, mostrado na Figura 1, que gira com atrito desprezível tende a manter inalterado a grandeza momento angular, a menos que um torque externo atue sobre ele.

Figura 1: Representação de um carrossel.

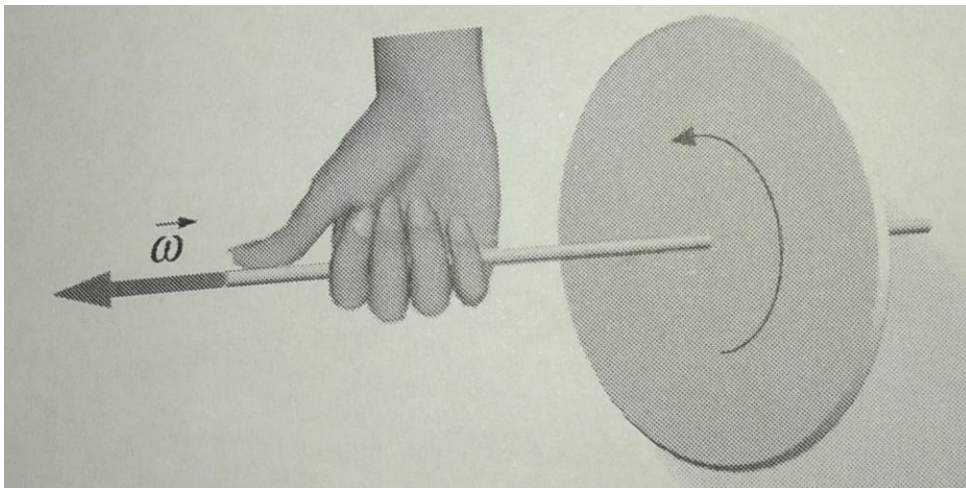


Fonte: Disponível em: ¹

¹Disponível em:
<<https://www.google.com.br/search?q=pesquisar+imagens+peoas+se+move+pr%B3ximo+ao+centro+de+um+carrossel->
acesso em 23/12/2018>.

A correlação entre as grandezas rotacionais e lineares ocorre também com o sentido da rotação em relação a um determinado eixo com orientação fixa, que pode incluir sinais positivo e negativo para indicar o sentido da velocidade angular, do torque ou do momento angular e também é utilizado para indicar o sentido da velocidade nos movimentos unidimensionais. Todavia, quando a direção do eixo de rotação não é fixa no espaço, os sinais positivo e negativo não são adequados para descrever a orientação de uma velocidade angular e nesses casos, costumeiramente os problemas são abordados utilizando um formalismo escalar. Para tanto, esse problema é superado ao se tratar a velocidade angular como um vetor $\vec{\omega}$ orientado sobre o eixo de rotação. Por exemplo, podemos verificar que o sentido de um disco que gira, representado na Figura 2, tem a orientação de $\vec{\omega}$ determinada pela convenção conhecida como a regra da mão direita. Conforme essa regra, ilustrada na Figura 2, os dedos da mão direita devem ser orientados no sentido de rotação do disco e o dedo polegar indicará a direção e sentido positivo do movimento. Logo se o sentido for invertido, o sinal da velocidade angular $\vec{\omega}$ também será.

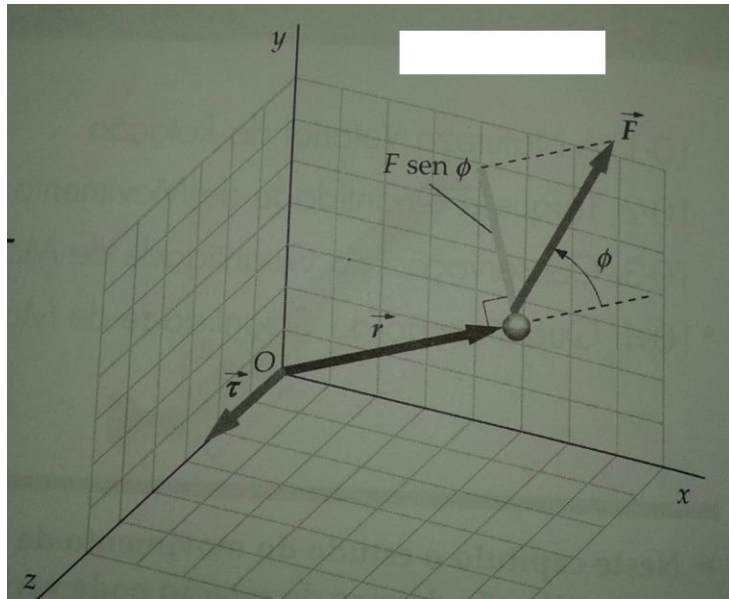
Figura 2: Verificação da velocidade angular através da regra da mão direita



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

Do mesmo modo, podemos realizar considerações similares ao torque e ao momento angular. A Figura 3 mostra o vetor força \vec{F} atuando sobre uma partícula localizada pelo vetor \vec{r} em relação à origem O. Neste caso a componente $F \sin \phi$, perpendicular ao vetor \vec{r} será responsável pela geração do torque e por sua vez, pela modificação no estado rotacional da partícula.

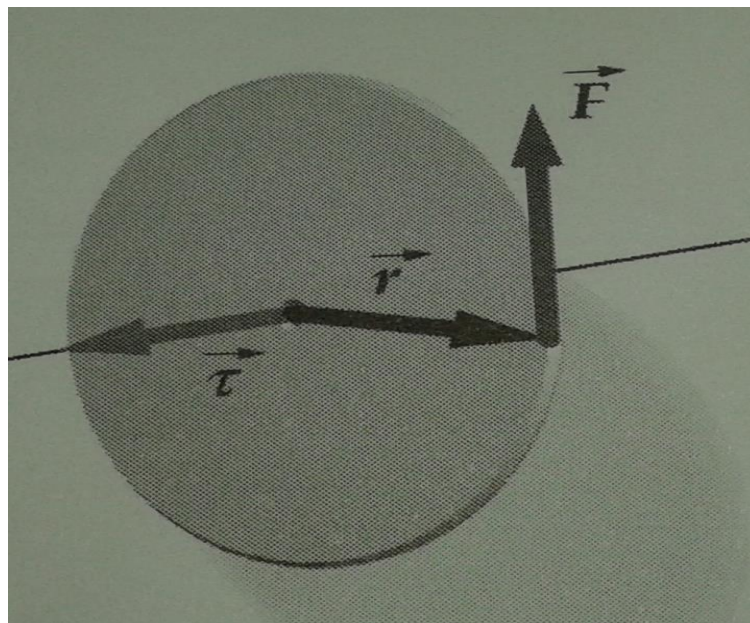
Figura 3: Força atuando sobre uma partícula posicionada pelo vetor \vec{r}



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

Logo o torque $\vec{\tau}$ exercido por essa em relação a origem O é definido como um vetor perpendicular ao plano formado por \vec{F} e \vec{r} , tendo um módulo igual a força $F r \sin \phi$, onde ϕ é o ângulo entre \vec{F} e \vec{r} . Se \vec{F} e \vec{r} estiverem no plano xy, conforme Figura 4, o vetor torque estará apoiado sobre o eixo z. Mas se a força \vec{F} for aplicada na borda do disco de raio r, formando ângulo de 90° , conforme podemos visualizar na Figura 4, o módulo do vetor torque será dado pelo produto dos módulos de F e r.

Figura 4: Força aplicada na borda do disco de raio r.



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

2.3.1 O produto vetorial

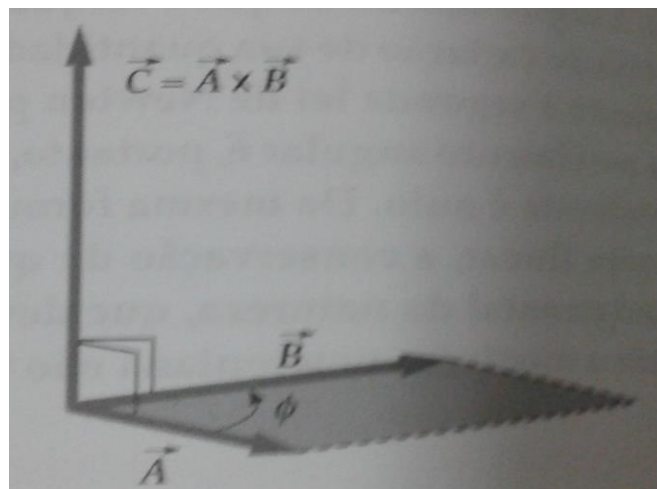
Da mesma forma que a massa do corpo aparece nas equações como um momento de inércia, onde observamos a distribuição de massa em torno do eixo de rotação, é importante notar que para a determinação do torque – quantidade análoga à força no caso translacional, torna-se necessária uma relação entre a força, sua direção e a sua distância de aplicação, determinada sempre perpendicular, partindo do eixo de rotação até o ponto de aplicação. De fato, uma experiência comum, que podemos utilizar para compreender melhor o torque, é a abertura de uma porta. As maçanetas estarão sempre localizadas o mais longe possível das dobradiças objetivando minimizar a força despendida pela pessoa ao abrir a porta. Com efeito, se tentamos abrir a porta aplicando uma força perto das dobradiças teremos que usar uma força de intensidade muito maior para produzir a mesma rotação. Por outro lado podemos sentir a diferença se aplicamos uma força perpendicular ao plano da porta ou segundo qualquer outro ângulo².

Logo, conforme descrito em Tipler e Mosca (2006), o torque é definido matematicamente pelo produto vetorial através dos vetores \vec{F} e \vec{r} :

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

O produto de dois vetores \vec{A} e \vec{B} é definido como o vetor $\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$ cujo o módulo é igual à área do paralelogramo formado por dois vetores como podemos verificar através da Figura 5.

Figura 5: Definição do produto de dois vetores.

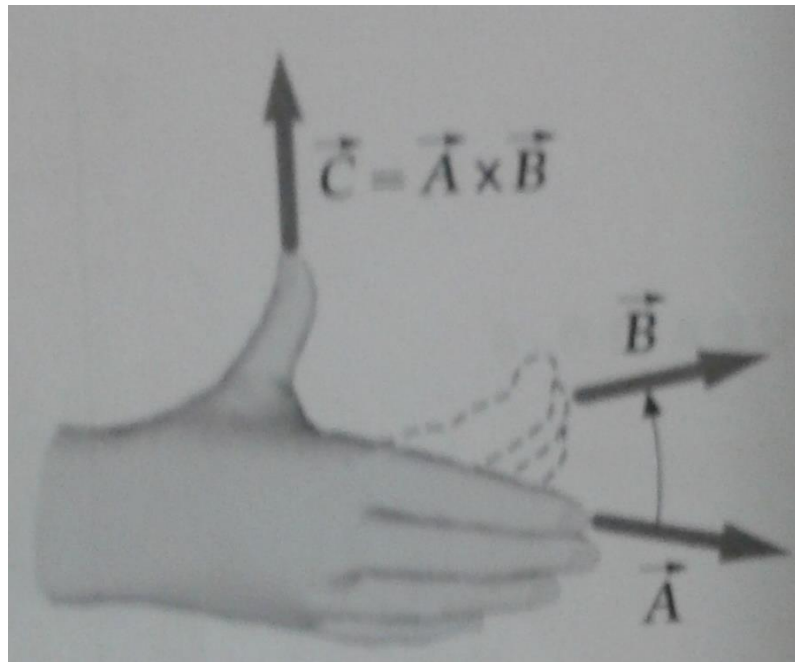


Fonte: Tipler e Mosca (2006).

²Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira-acesso-em-23/12/2018>>.

Assim como o torque, o vetor \vec{C} é perpendicular ao plano que contém \vec{A} e \vec{B} , e tem a orientação estabelecida pela regra da mão direita, isto é, como se os dedos se curvassem no sentido do vetor \vec{A} para o vetor \vec{B} , conforme podemos verificar através da Figura 6.

Figura 6: O sentido dos vetores \vec{A} e \vec{B}



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

Logo se θ é o ângulo entre dois vetores e \hat{n} é um vetor unitário perpendicular a cada um dos vetores com a orientação de \vec{C} , o produto vetorial de \vec{A} por \vec{B} , será: $\vec{A} \times \vec{B} = AB \sin\theta \hat{n}$. Sendo assim, se \vec{A} e \vec{B} forem paralelos, o produto vetorial entre \vec{A} e \vec{B} será igual a zero.

Nesse caso, alguns cuidados relacionados às operações matemáticas necessitam de atenção especial, como a ordem da multiplicação dos dois vetores em produto vetorial. Apresentamos abaixo algumas propriedades do produto vetorial de dois vetores que são:

1º) lei distributiva da adição.

$$\vec{A} \times (\vec{B} + \vec{C}) = (\vec{A} \times \vec{B}) + (\vec{A} \times \vec{C}) \quad (2)$$

2º) na condição em que \vec{A} e \vec{B} forem funções de alguma variável, como t, a derivada do produto $\vec{A} \times \vec{B}$ segue uma regra usual do produto para derivadas:

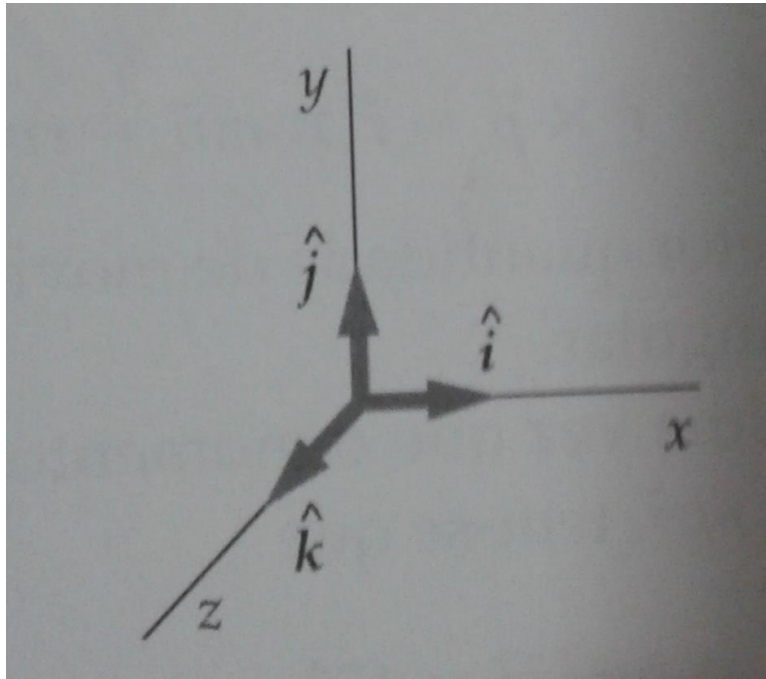
$$\frac{d}{dt} (\vec{A} \times \vec{B}) = \left(\vec{A} \times \frac{d\vec{B}}{dt} \right) + \left(\frac{d\vec{A}}{dt} \times \vec{B} \right) \quad (3)$$

3º) lei comutativa.

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A} \quad (4)$$

Neste contexto, a Figura 7 possibilita visualizar melhor a relação matemática entre o produto vetorial de dois vetores e os vetores unitários \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} – que determinam as direções dos eixos x, y e z respectivamente.

Figura 7 : Vetores unitários \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} .



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

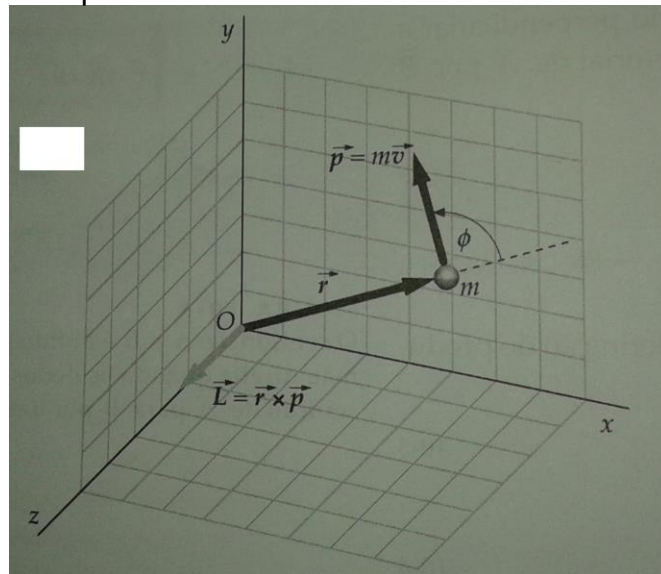
Logo de acordo com Tipler e Mosca (2006), os vetores unitários são mutuamente perpendiculares, representados por: $\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}$, $\hat{j} \times \hat{k} = \hat{i}$, e $\hat{k} \times \hat{i} = \hat{j}$. Portanto temos que: $\hat{i} \times \hat{i} = \hat{j} \times \hat{j} = \hat{k} \times \hat{k} = 0$

2.3.2 Torque e momento angular

Com base nos apontamentos de Tipler e Mosca (2006), para uma partícula de massa m descrita na Figura 8, movendo a uma velocidade \vec{v} em uma posição \vec{r} em relação a sua origem O, a quantidade de movimento linear (ou apenas momento linear) da partícula será $\vec{p} = m\vec{v}$. O momento angular \vec{L} da partícula em relação à origem O é definida como sendo o produto vetorial de \vec{r} por \vec{p} :

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (5)$$

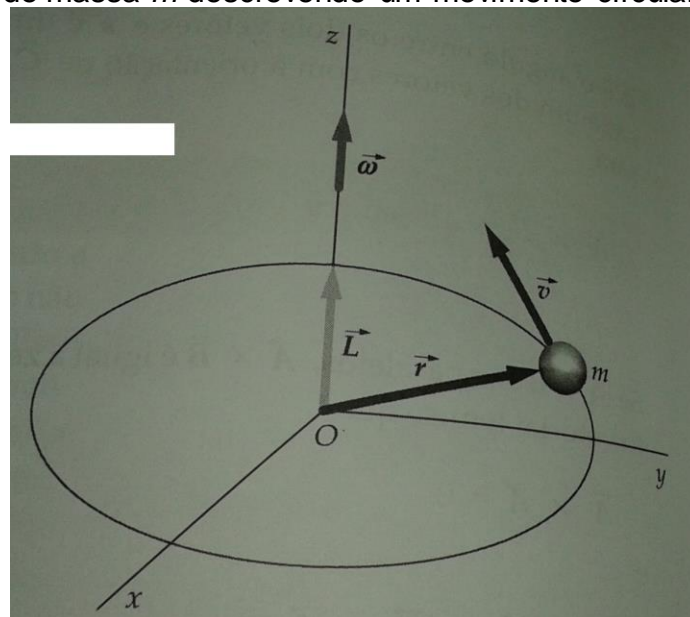
Figura 8: Movimento da partícula de massa m .



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

Se \vec{r} e \vec{p} forem vetores localizados no plano xy de acordo com a Figura 9 o vetor \vec{L} será paralelo ao eixo z e definido por $\vec{r} \times \vec{p} = mvr \sin\phi \hat{k}$. Portanto, assim como para o caso do torque, o momento angular definido em relação a um ponto no espaço pode ser obtido a partir de vetores associados a cinemática das rotações, como mostrado abaixo na Figura 9 que mostra a partícula de massa m e velocidade v que realiza um movimento circular no plano xy com centro na origem.

Figura 9: Partícula de massa m descrevendo um movimento circular.



Fonte: Tipler e Mosca (2006).

Importante lembrar que velocidade angular é definida pela razão entre o deslocamento angular sofrido por um móvel e o tempo necessário para realizá-lo, sendo ela expressa por rad/s. Por outro lado, a velocidade angular também pode ser representada em termos da frequência e do período do movimento. Para que isso aconteça, precisamos considerar que, em um giro completo, o deslocamento angular é de 360° (2π rad). Assim o tempo gasto em uma volta completa corresponderá exatamente ao período (T) do movimento, ou seja:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (6)$$

Como a frequência é o inverso do período, podemos escrever que:

$$\omega = 2\pi f. \quad (7)$$

Outro enfoque está voltado para relação entre a velocidade angular, ω , e a velocidade linear, v , onde, sabendo que a velocidade linear pode ser definida como a razão entre o espaço percorrido (Δs) e o intervalo de tempo (Δt), podemos determinar uma relação entre velocidade angular e velocidade linear para um objeto que executa movimento circular³. Para isso, é preciso entender que, em um giro completo, o espaço percorrido corresponde ao comprimento da circunferência ($2\pi r$) e que o tempo gasto para uma volta completa é justamente o período (T) do movimento. Sendo assim, podemos escrever:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta T} \rightarrow v = \frac{2\pi r}{T} \rightarrow v = \omega r. \quad (8)$$

Sendo assim, analisando a Figura 10, torna-se interessante lembrar que a velocidade v e a velocidade angular estão relacionados por $v = r\omega$ e que a orientação do vetor velocidade angular é a mesma que a do vetor momento angular. O momento angular da partícula em relação ao centro do disco será expressa por:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} = rmv\text{sen}90^\circ\hat{k} = rmv\hat{k} = mr^2\omega\hat{k} = mr^2\vec{\omega} \quad (9)$$

O vetor momento angular tem a mesma orientação do vetor velocidade angular. Avaliando a equação (1), podemos definir a grandeza momento de inércia, I , de uma partícula em relação ao eixo z, que neste caso (partícula girando) vale mr^2 , teremos: $\vec{L} = mr^2\vec{\omega} = I\vec{\omega}$. Importante elencar que para que a equação (9) tenha validade, a variável r necessita ser definida como a distância perpendicular entre o eixo de rotação e a partícula que está se movendo.

³ Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/movimento-circular-uniforme-ou-mcu-1.htm>> acesso em 23/12/2018

O momento angular de um conjunto de partículas em relação a um ponto de referência é definido como a soma do momento angular de todas as partículas em

relação a esse ponto. Assim:
$$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{l}_i$$
, onde \vec{l}_i é o momento angular da partícula i , e N é o número total de partículas. O mesmo raciocínio pode ser tomado quando estamos tratando do momento angular de um corpo rígido, e para tanto, consideraremos que o corpo será dividido em N pequeníssimas partes, e pela

definição acima temos:
$$\vec{L} = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \vec{l}_i$$
.

Nesse caso, para que o corpo rígido possa ser considerado contínuo do ponto de vista da matemática, necessitaríamos que o mesmo fosse dividido em infinitas partes, e por sua vez, para a determinação do momento angular desse corpo, precisaríamos somar a contribuição de infinitos termos, ou seja, um procedimento matemático que envolve o processo de integração, costumeiramente tratado nos cursos de ensino superior. A partir da equação (9), considerando um corpo rígido como uma distribuição contínua de massa podemos reescrever o momento angular conforme a equação (10).

$$L = \int \omega r^2 dm \quad (10)$$

Certos casos, como na determinação do momento angular ou da energia cinética de um disco que gira pelo seu eixo, alguns procedimentos matemáticos podem ser simplificados permitindo a aplicação no ensino médio, por meio de operações alternativas de divisões de infinitesimais – pequenas porções – ou de somatório de pequenas partes. Para tanto, trataremos o disco como uma coleção de partículas com diferentes velocidades tangenciais. Somando as energias cinéticas de cada partícula encontraremos a energia cinética do corpo como um todo. Assim teremos que:

$$K = \sum_{i=1}^N \frac{m_i v_i^2}{2} \quad (11)$$

no qual m_i é a massa da i -ésima partícula com velocidade tangencial v_i . Um problema é que nessa equação as velocidades v_i são diferentes para todas as partículas. Como todas as partículas giram com a mesma velocidade angular $\vec{\omega}$, podemos usar a relação $v = \omega r$ onde r é a distância do eixo de rotação, de modo a simplificar a equação da energia.

$$K = \sum_{i=1}^N \frac{m_i (\omega r_i)^2}{2} = \sum_{i=1}^N \frac{(m_i r_i^2) \omega^2}{2} \quad (12)$$

A grandeza entre parênteses chamada de momento de inércia, (I), consiste em um fator puramente geométrico e nos mostra de que forma a massa do corpo está distribuída ao redor do eixo de rotação. Dessa forma a equação (12) podem ser reescritas como:

$$K = \frac{I \omega^2}{2},$$

onde:

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

Podemos notar que assim como na equação de energia cinética de translação, para o caso da rotação também encontramos o 1/2. Todavia, é importante elencar que o momento angular se torna útil na resolução de sistemas rotacionais, sejam eles formados por corpos rígidos ou por sistemas de partículas.

Uma outra forma de definir o torque aplicado a um corpo emerge da análise da variação temporal do momento angular, conforme descreve a equação (13)

$$\tau = \frac{dL}{dt}$$

Analisando a definição do torque, sempre que o momento de inércia seja constante, ou seja, que as partículas não mudem suas massas e suas distâncias com relação ao eixo de rotação, considerando pequenos intervalos de tempo, Δt , podemos simplificar seu equacionamento conforme segue abaixo,

$$\tau = \frac{I \Delta \omega}{\Delta t} = I \alpha \quad (14)$$

onde α define a aceleração angular medida em radianos por segundo ao quadrado (rad/s^2) no SI.

Conclui-se então, que sempre que o torque total tender se a zero o momento angular manter-se-á constante. Pois usualmente, nos sistemas isolados, as forças que agem internamente entre os corpos geram torques que se anulam, pois tais forças são usualmente centrais (sua linha de ação passa pelo centro geométrico do corpo) o que faz com que os pares ação-reação anulem os torques⁴.

⁴ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Momento_angular>-acesso em 23/12/2018>

3. MÉTODO E PROCEDIMENTOS

O objetivo do nosso trabalho foi o de elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático-pedagógica para o ensino do conteúdo de conservação de momento angular na disciplina de Física do ensino médio, o qual tem sido pouco discutido atualmente com os estudantes do primeiro ano em sala de aula, tendo em vista sua relevância. Para tanto, utilizamos como referencial teórico-metodológico para esse trabalho a Pedagogia Histórico-Crítica. Visando contribuir e ampliar as discussões e produções já realizadas, desenvolvemos uma pesquisa-intervenção de abordagem qualitativa com 1 turma do 1º ano do ensino médio de um colégio estadual pertencente ao núcleo regional de educação de Assis Chateaubriand, Paraná, no período vespertino, abrangendo um total de 30 alunos. Sendo assim, foram elaborados alguns materiais e recursos presentes no nosso produto educacional. Este produto, é composto por um Plano de Unidade, com a finalidade de oferecer uma alternativa diferenciada, acessível e aprofundada a professores e estudantes na abordagem do conteúdo de momento angular no ensino médio.

Dessa forma, considerando esses objetivos, a opção por uma pesquisa-intervenção de abordagem qualitativa leva a observação direta, permitindo também que o observador chegue mais perto da “perspectiva dos sujeitos”, um importante alvo nas abordagens qualitativas (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

3.1 PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DOS DADOS

Para essa discussão, passamos por algumas etapas, nas quais a primeira realizamos um levantamento bibliográfico em alguns livros, artigos e demais produções bibliográficas, servindo como ponto de partida para a construção do nosso referencial teórico-metodológico norteador do estudo. Esse também foi o momento onde aprofundamos a parte teórica sobre o tema, refinando os objetivos do nosso estudo. Durante esse momento aprimoramos nossa leitura sobre alguns teóricos, buscando subsídios para que se concretizasse como base de apoio e obtenção de dados que nos dessem condições para a elaboração e desenvolvimento do produto educacional, além de ser o objeto de estudo e toda a sua especificidade.

A segunda etapa se concretizou na efetiva construção dos dados, o que implicou na elaboração do produto educacional e em seu desenvolvimento num

contexto concreto de sala de aula, constituindo o processo de intervenção. Com o intuito de alcançarmos os objetivos propostos, elaboramos um Plano de Unidade, ponto de partida de nosso trabalho de intervenção. O conteúdo de momento angular, assim como seus pré-requisitos, foram abordados com os alunos por meio de atividades teórico-práticas que estão disponibilizadas detalhadamente no Plano de Unidade (em anexo), tendo por finalidade oferecer aos professores e estudantes uma alternativa diferenciada, acessível e aprofundada para o trabalho com este tema.

Para o seguimento desse estudo e ao longo de todo o processo, de acordo com os objetivos apresentados, tomamos como base a Pedagogia Histórico-Crítica, visto sua total contribuição e relevância no aprendizado dos estudantes, uma vez que esse plano de unidade contemplou uma abordagem sobre os pré-requisitos, as curiosidades, as questões problematizadoras, as ações didático-pedagógicas, os recursos e as sínteses integradoras necessárias para o desenvolvimento do conteúdo. Vale lembrar que este Plano de Unidade (produto educacional) incorporou todo o conteúdo teórico-prático, dentre eles as atividades experimentais e os recursos para o desenvolvimento do trabalho relacionado ao tema em sala de aula.

Juntamente com o plano de unidade, foi desenvolvido em parceria com a Empresa Junior Quark's Up, formada por alunos do curso de engenharia eletrônica da UTFPR, campus Campo Mourão, um kit sobre conservação de momento angular, objeto de estudo de nosso produto educacional. Este experimento teve como foco principal avaliar o comportamento de várias grandezas físicas, em particular, a velocidade angular dos discos, a obtenção da força de atrito que atua sobre o rolamento, a conservação do momento angular e da energia cinética de rotação no acoplamento dos discos.

Elaborado o Plano de Unidade, iniciamos o processo de intervenção em sala de aula. Esse estudo foi desenvolvido em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio de um colégio estadual da rede pública com um total de 30 alunos.

Antes de iniciarmos o desenvolvimento do produto educacional, foi solicitada a concordância do diretor da escola, da equipe pedagógica, da professora regente da turma e dos estudantes envolvidos por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B).

A intervenção foi realizada no 3º trimestre de 2018, em um período de 9 hora/aulas de 50 minutos cada, tendo em vista que o conteúdo de dinâmica já havia sido trabalhado com os educandos, o que permitiu adquirir um melhor entendimento

sobre a proposta de trabalho apresentada no plano de unidade. O Plano de Unidade também incorporou um questionário que foi utilizado em momentos diferentes, no início e no final do desenvolvimento das atividades apresentado a seguir:

Questionário inicial

- 1) O que você entende por movimento de rotação? Justifique sua resposta.
- 2) Qual a diferença entre movimento de rotação e translação? Justifique sua resposta.
- 3) Qual o seu entendimento sobre energia cinética de rotação?
- 4) O que vocês entendem por momento de inércia. Cite alguma aplicação do cotidiano.
- 5) Por que uma patinadora no gelo quando está realizando seu giro, abre e fecha os braços em determinado momento?

Questionário final

- 1) O que você entende por movimento de rotação? Justifique sua resposta.
- 2) Qual a diferença entre movimento de rotação e translação? Justifique sua resposta.
- 3) Qual o seu entendimento sobre energia cinética de rotação?
- 4) O que vocês entendem por momento de inércia. Cite alguma aplicação do cotidiano.
- 5) Por que uma patinadora no gelo quando está realizando seu giro, abre e fecha os braços em determinado momento?
- 6) Qual o seu entendimento por torque e onde ele está presente no dia a dia?
- 7) Em que situações do cotidiano temos Momento Angular e Conservação do Momento Angular?

O questionário aplicado no momento inicial teve como objetivo identificar quais eram os conhecimentos prévios trazidos pelos estudantes ao passo que quando aplicado no momento final, trouxe suporte para identificar – não por si só - se o aprendizado dos alunos foi satisfatório e quais lacunas ainda mereciam atenção.

3.2 PERFIL DA ESCOLA DE INTERVENÇÃO DO PRODUTO E DA TURMA ESCOLHIDA

A Escola Estadual pertencente ao Núcleo Regional de Educação de Assis Chateaubriand, localizado na região oeste do Estado do Paraná faz parte de uma comunidade ativa apresentando algumas dificuldades, mas com qualidades

significativas, tendo seu aspecto econômico predominantemente agrícola, com destaque para produtos agropecuários, como: milho, soja, avicultura, piscicultura, suinocultura e pecuária. A renda familiar dos alunos desta escola é baseada em salário mínimo, onde a grande maioria sobrevive com até um salário mínimo, dificultando a aquisição de materiais escolares, sendo que 239 famílias recebem a bolsa-família beneficiando 267 crianças. Outra grande parte da comunidade escolar ganha entre 1 e 2 salários mínimos mensal, sendo que apenas a minoria recebe mais que três salários mínimos. No contexto familiar podemos diagnosticar, através das pesquisas, que a ocupação dos pais varia entre Funcionário Público, agricultor, profissional liberal e, uma minoria, empregada doméstica⁵.

É importante elencar que através de dados encontrados nos documentos do colégio como o PPP (PROJETO POLÍTICO PEDAGÓGICO) que os pais na sua grande maioria possui Ensino Fundamental incompleto, alguns são analfabetos e uma pequena parcela possui ensino superior. Por outro lado, percebe-se que as famílias são atuantes e presentes na vida escolar dos alunos, pois depois da escola outro local de aprendizagem é o núcleo familiar, de onde as crianças já vêm com atitudes, crenças, costumes, valores e expectativas que podem dificultar o ajustamento na escola. As famílias que compõem a comunidade escolar, mesmo apresentando alguns problemas como baixo salário, desemprego e de saúde, são conscientes da importância dos estudos para seus filhos, acreditando que o estudo poderá formar um cidadão crítico e ativo na sociedade. Nesse sentido, como afirma Saviani (1991) em sua obra *Pedagogia Histórico Crítica: Primeiras Aproximações*, os pais viveram todo um conjunto de experiências mostrando que os estudos fazem falta para sua vida futura”. Assim, diante desses breves levantamentos, optamos por desenvolver nosso produto educacional no referido colégio, em função do seu comprometimento com a aprendizagem, sendo o único do Núcleo Regional a ofertar ensino integral atendendo um total de 569 alunos, sendo 311 no Ensino Fundamental, 227 no Ensino médio, 10 em Atividades Complementares e 21 em Atendimento Educacional Especializado, além de encontrarmos profissionais atuantes em prol do colégio, alunos sempre presentes e engajados com o que é proposto dentro do ambiente escolar. Este colégio também apresenta uma estrutura física muito adequada para as condições de aprendizagem: com aparelhos de ar condicionados em todas as salas de aula,

⁵Disponível em: <<http://www.jsthumberto.seed.pr.gov.br/redeescola/escolas/4/1284/10/arquivos/File/PPP.pdf>> -acesso em 15/12/2018>.

Laboratório de Ciências, quadras cobertas, salas de artes, sala de vídeo, além de alguns projetores multimídia para uso dos professores e televisores com conexão USB em todas as salas.

Este trabalho foi desenvolvido no 3º trimestre, visto que a instituição trabalha o ensino por trimestre e não bimestre como em algumas escolas e também porque o conteúdo trabalhado constitui uma extensão do conteúdo de dinâmica, entendendo que nesse período já estariam mais familiarizado com o assunto. É oportuno dizer que a intervenção ocorreu no período vespertino como já mencionado em capítulo anterior, abrangendo um total de 30 alunos no contraturno escolar. A turma era mais numerosa, mas alguns alunos haviam sido remanejados para o período noturno, uma vez que os mesmo estariam com idades um pouco avançadas em relação aos demais e aptos para ingresso nas empresas da região através do programa Jovem Aprendiz. Ressalta-se ainda que as aulas de Física para intervenção do produto educacional aconteceram no decorrer de uma semana, totalizando 9 horas/aulas.

3.2.1 Procedimentos de análise dos dados

Após a coleta dos dados, iniciamos a terceira etapa da pesquisa, pois de acordo com Lüdke e André (2014) no momento da análise dos dados o pesquisador deve rever suas ideias iniciais, repensá-las, reavaliá-las e reestruturá-las, a fim de que novas ideias possam surgir nesse processo.

Antes de tudo, vale lembrar que quando optamos pela pesquisa qualitativa, estamos sempre e durante todo o processo de desenvolvimento da pesquisa analisando os dados coletados. Depois dessas breves noções preliminares, após a conclusão de todas as etapas da pesquisa, os dados foram organizados de maneira a dar suporte e consistência ao trabalho tendo em vista o referencial teórico adotado, marco principal de direção do referido estudo. Esse foi o momento da pesquisa onde realizamos a articulação do referencial teórico do estudo e as vertentes utilizadas durante o processo de intervenção do produto educacional, dos quais foram: observação, questionários, vídeos, fotos e relatórios das aulas.

Para uma melhor compreensão, interpretação e desenvolvimento do nosso trabalho de pesquisa, realizamos primeiramente a transcrição dos dados obtidos através do questionário inicial. A princípio, não foi de início algo fácil, visto que naquele momento estávamos lidando com diferentes ideias, ou seja, diferentes saberes. Como

afirma Lüdke e André (1986), esse é o momento em que se exige um treinamento, um alto domínio dos sentidos para se centrar nos aspectos relevantes que almeja alcançar. Num segundo momento, após a transcrição dos dados analisados do questionário inicial, recorreremos novamente às fontes disponíveis adequadamente ao nosso trabalho a fim de que fosse possível estabelecer um equilíbrio para a análise dos dados com os objetivos da pesquisa, juntamente com o referencial teórico adotado para o estudo.

Para tanto, em última análise, de posse de todos os dados da pesquisa angariados por meio da intervenção e das atividades avaliativas desenvolvidas, iniciamos a organização e análise dos dados por meio das técnicas de triangulação de fontes e categorização de dados (LUDKE; ANDRÉ, 2013), tendo como base o referencial teórico que norteia o presente estudo.

Através dos dados obtidos, determinando os vértices e os níveis de exploração, foi possível elaborar quatro tópicos de análise apresentados no quadro a seguir.

Quadro 1: Conexão entre os objetivos específicos da intervenção, os instrumentos de construção dos dados e os tópicos de análise

| TÓPICO DE ANÁLISE 1 | |
|--|--|
| Objetivos específicos | Diagnosticar conceitos básicos da cinemática das rotações através de um questionário inicial escrito e de discussão oral, a fim de proporcionar um debate inicial sobre o tema, com o objetivo de explorar os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos e, a partir desse levantamento, iniciar a problematização do conteúdo. |
| Instrumentos de construção de dados | Questionário; Vídeo; Material impresso; Data Show ou Tv multimídia; Quadro de giz; Lista de exercícios; |
| Tópico de análise | Partindo da prática social inicial: Cinemática das Rotações. |

| TOPICO DE ANALISE 2 | |
|--|---|
| Objetivos específicos | Explicar a origem do movimento de rotação; esclarecer o significado de cada variável no movimento de rotação e sua correlação para o movimento de translação; compreender e desenvolver os conceitos e pré-requisitos envolvendo cinemática e dinâmica do corpo rígido, relacionando com a inércia no movimento de rotação, dificuldade em colocar um corpo em movimento. |
| Instrumentos de construção de dados | Material impresso; Laboratório de Física; Experimento sobre atrito do rolamento; Bancada de apoio ao experimento; Data Show ou Tv multimídia; Quadro de giz; Lista de exercícios; |
| Tópico de análise | Problematizando a prática social e instrumentalizando os estudantes com os conteúdos culturais: Momento de Inércia e Torque. |
| TÓPICO DE ANÁLISE 3 | |
| Objetivos específicos | Introduzir a conservação do momento angular revisando os conceitos da dinâmica de corpos rígidos, o torque, relacionando a regra da mão direita com o vetor momento angular, além das condições para a conservação do momento angular e da energia cinética de rotação, de forma que o aluno compreenda esse importante princípio da Física e seja capaz de identificá-lo em diversas situações do cotidiano. |
| Instrumentos de construção de dados | Livros; Material impresso; Aparato experimental sobre momento angular e conservação de momento angular; Celulares para gravação de voz, filmagem do experimento; Quadro de giz. |

| | |
|--|--|
| | Lista de exercícios; |
| Tópico de análise | Problematizando a prática social e instrumentalizando os estudantes com os conteúdos culturais: Momento Angular e a Conservação do Momento Angular. |
| TÓPICO DE ANÁLISE 4 | |
| Objetivos específicos | Discutir com os alunos, os principais conceitos envolvidos através de um questionário final, relacionado com o questionário inicial, com o intuito de avaliar apropriação dos conceitos científicos trabalhado durante os encontros e verificar a existência de possíveis lacunas que mereçam atenção. |
| Instrumentos de construção de dados | Questionário final; Material impresso; Discussão oral dialogada; |
| Tópico de análise | Retornando a prática social com o compromisso e a capacidade de agir e refletir sobre a realidade. |

Fonte: Autoria própria (2018).

Registre-se ainda que a participação dos estudantes neste estudo só foi concedida após a assinatura do “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”. Vale ratificar que todas as informações obtidas tiveram como foco principal a pesquisa, sendo respeitado o sigilo absoluto de todos os participantes. Para garantir a total integridade dos estudantes, tomamos o devido cuidado de usarmos letra e um número para identifica-los, como por exemplo: A01, A02, ..., mediante a análise de seus relatos, firmando assim um compromisso de responsabilidade profissional, moral e ético com o conhecimento científico, possibilitando segurança e ética na condução do trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entendemos que a educação como conhecimento real e de interesse de todos deve servir de ponte e ferramenta para a transformação social. Assim ela é compreendida como instrumento a serviço da democratização, contribuindo para as vivências comunitárias dos grupos sociais, no diálogo para formar pessoas participantes, atuantes na sociedade. Dessa forma, não basta que os conteúdos de ensino sejam bem ensinados, é preciso que eles se liguem à história do educando, ao homem e a sua atuação social.

Autores como Libâneo (1986) e Saviani (1986) são exemplos de pesquisadores que buscaram relacionar as práticas educativas com as teorias pedagógicas, formuladas e utilizadas em diferentes épocas. Todavia, as formas como os saberes vem sendo transmitidos ao longo dos anos vem sofrendo mudanças, enfatizando diferentes aspectos da educação e da sociedade, conforme o momento histórico vigente. Entende-se que diante de alguns estudos, conclui que estas relações acontecem porque a educação não é um fenômeno isolado, mas sim um ato social que faz parte das civilizações, mudando e sendo modificada pelos povos.

Em virtude dessas considerações, e motivados em busca de algo diferenciado na educação, procuramos através da elaboração, planejamento e avaliação da proposta de trabalho de intervenção desenvolver um método dialético de ensino, o qual tem como ponto de partida e de chegada a prática social dos homens historicamente situados. Este método é caracterizado, num primeiro momento, pela leitura da realidade, onde é fundamental o envolvimento do aluno na construção ativa de sua aprendizagem, conscientizando-o de sua importância no processo histórico.

Pensando nesses pressupostos, desenvolvemos nosso produto educacional (Plano de Unidade) visando alcançar o envolvimento do aluno, a sua autonomia na construção ativa de sua aprendizagem dentro e fora da sala de aula. O produto foi desenvolvido e avaliado com alunos do primeiro ano do Ensino Médio e teve como base o conteúdo de “Conservação de Momento Angular”. A intervenção já discutida em capítulo anterior, totalizou em 9 horas/aula. Sabemos que a intervenção não foi uma tarefa fácil, primeiro pelo fato de o professor-pesquisador não ser o regente da turma, segundo pelo cansaço dos alunos, uma vez que, como já mencionado em capítulo anterior, a escola oferta ensino integral e os alunos permanecem durante todo o dia na escola, o que, dependendo da atividade a ser trabalhada, pode criar uma

certa resistência, e isto foi percebido quando aplicamos o questionário inicial, no qual sete dos 30 alunos optaram por não responder as questões. Apesar da dificuldade inicial, procuramos fazer com que aquele momento fosse conduzido da melhor forma possível, procurando atingir os nossos objetivos planejados para aquele momento.

Para uma melhor compreensão e organização dos dados, apresentamos a seguir os resultados da nossa pesquisa-intervenção em quatro tópicos de análise, em concordância com o referencial teórico norteador da pesquisa, ressaltando ainda que a intervenção foi realizada no mês de novembro, último trimestre do ano letivo de 2018.

4.1 PARTINDO DA PRÁTICA SOCIAL INICIAL: CINEMÁTICA DAS ROTAÇÕES

Partimos da ideia de que devemos tomar consciência da realidade dos alunos e a partir disso relacionar e contextualizar conteúdos a serem trabalhados. Nesse sentido o professor deve preparar, planejar todo o percurso do processo de ensino-aprendizagem, possibilitando maior segurança para ele e para os alunos.

Segundo Gasparin (2007) e Sorte (2018), é na prática social inicial que o professor desafia os alunos a mostrarem seus conhecimentos prévios em relação ao tema que será estudado, tendo em vista mostrar a relação do conteúdo com a realidade social do educando. De acordo com o autor, o primeiro momento é o início de toda a jornada, momento esse onde o aluno será desafiado, instigado a pensar sobre a realidade. É o momento onde o que será apresentado para ele, pode ser novidade, levando o mesmo a ter uma consciência crítica do que está vendo.

Após essas breves ponderações, iniciamos a nossa intervenção fazendo um diagnóstico prévio do que os alunos sabiam sobre conservação do momento angular. Nesse momento entregamos a eles um questionário inicial, no qual foi destacado no tópico 3.1, a fim de coletar informações sobre o que eles já conheciam sobre o tema.

Algumas hipóteses foram levantadas no plano de unidade a respeito de quais conhecimentos trazidos do dia a dia os alunos poderiam relacionar, fazendo com que nos proporcionasse uma direção para atingir nossos objetivos. Essas hipóteses foram comparadas com as respostas dos alunos referente ao questionário.

Para tanto, o questionário apresentado aos alunos contou com um total de cinco questões abertas, as quais foram respondidas por escrito pelos participantes da pesquisa. Logo após, o mesmo foi recolhido e em seguida houve um espaço para

dialogar sobre as questões propostas no questionário. Dando sequência, o professor pesquisador apresentou a eles um pequeno vídeo sobre movimento circular uniforme⁶ a fim de que os mesmos pudessem fazer novamente algumas indagações e relações com o que haviam respondido.

Na primeira questão sobre: O que você entende por movimento de rotação? Justifique sua resposta. Percebe-se semelhanças em 16 respostas, ou seja, “é o movimento em que a Terra gira em torno de si mesma”, mas por outro lado, sete alunos responderam “não sei”. Quando passamos a analisar algumas justificativas, observamos alguns fatos curiosos, como podemos constatar a seguir:

*Pois é algo que está girando sobre um eixo (aluno A01).
Gira porque temos as estações do ano (aluno A02).
Por isso temos as estações, os meses, etc. (aluno A03).
O que nos resulta os meses e, estações do ano (aluno A04).
Pois estamos analisando algo que gira tanto no sentido horário, quanto anti-horário (aluno A05).*

Considerando apenas os alunos que responderam o questionário, cinco justificaram - mesmo sendo de maneira não científica - o que resultou num total de 22% das respostas.

Analisando as questões que foram respondidas, percebe-se no primeiro momento a falta do vínculo com o conteúdo científico, embora as respostas apresentadas pareçam ter certa coerência. Nessa questão os alunos poderiam ter apresentado respostas envolvendo grandezas Físicas como velocidade angular ou deslocamento angular, mas não foram encontrados correlações com tais conteúdos nas respostas dos alunos, o que indica inicialmente uma falta de compreensão mais ampla e aprofundada sobre o tema. Quanto as justificativas, dos cinco alunos que justificaram, fica claro que as respostas não apresentaram domínio do conteúdo, demonstrando falta de conhecimento científico na hora da argumentação. Isso demonstra que em relação a pergunta, 70% respondeu com alguns argumentos e 30% não soube opinar.

A segunda questão, semelhante a primeira, traz a seguinte indagação: qual a diferença entre movimento de rotação e translação? Justifique sua resposta. Aqui podemos perceber que uma grande parcela dos alunos não tinha conhecimento sobre o assunto, pois dentre os 23 alunos que participaram dessa etapa, 14 responderam

⁶Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=dDxoG_nXxpc> acesso em 22/11/2018>

“não sei” e os que responderam, justificando suas respostas, mostraram uma certa confusão no momento de expressar suas ideias, como podemos verificar a seguir:

A terra faz rotação entre seu próprio eixo e translação ao redor do sol (aluno A01).

Na rotação o corpo gira em volta de outro corpo e translação em torno de si mesmo, por isso temos as estações, os meses, temos o dia e a noite (aluno A02).

Rotação é quando um corpo gira em volta de um outro corpo e translação é quando um corpo gira em volta de si mesmo. A terra faz os dois movimentos: translação nos resulta no dia e rotação resulta as estações do ano (aluno A03).

Na rotação um corpo gira em volta de outro corpo e translação em torno de si mesmo (aluno A04).

Rotação e translação é o movimento que a terra faz em volta do sol (aluno A05).

A terra faz rotação entre seu próprio eixo e translação ao redor do sol (aluno A06).

A partir dos dados é possível observar algumas respostas de senso comum, e outras apresentavam alguns equívocos no que se referia as estações do ano, dia e meses, onde dias e noites se referem ao movimento de rotação. É de conhecimento comum que o movimento de translação responsável pelo movimento em torno do sol é o responsável pelas estações do ano. Porém, no contexto da Física, nenhuma resposta relacionou o movimento de translação com um simples deslocamento, por exemplo, o movimento retilíneo uniforme (MRU) e o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), ou de uma maneira mais geral, com o deslocamento do centro de massa de um objeto ao longo de uma distância. Como estamos partindo do conhecimento do senso comum dos estudantes nesse questionário inicial, é natural encontrarmos algumas controversas.

A terceira questão visava averiguar o entendimento sobre energia cinética de rotação. Nessa questão, 19 alunos responderam “não sei” ou “não souberam responder” e os outros trouxeram respostas que não condizem com o esperado em termos científicos:

Magnitude, atração e atrito (aluno A11).

É a força que a Terra faz para com que gire ao seu redor (aluno A13). Está relacionada a cálculos matemáticos e principalmente o desenvolvimento da Física e da Matemática (aluno A10).

Representada pelo movimento da inércia (aluno A04).

A partir das respostas podemos perceber que os alunos não possuíam nenhum conhecimento sobre o assunto, seja científico ou de senso comum. Um dos fatores que podem ter contribuído para esse resultado está relacionado ao fato de que, até aquele momento, os alunos ainda não tinham conhecimento de conteúdos sobre trabalho e energia. Nesse momento, passamos a analisar a quarta questão, que visava avaliar o que os alunos entendiam por momento de inércia, citando alguma aplicação do cotidiano. Vale dizer que no tocante a essa questão, nove alunos responderam “*não sei*” ou “*não quiseram opinar*”. Nas demais respostas podemos destacar semelhanças entre 10 alunos, como podemos observar nos excertos abaixo:

De acordo com a 1ª lei de Newton, todo corpo que está em movimento permanece em movimento, da mesma forma que um corpo em repouso tende a permanecer em repouso. Um exemplo é um passageiro que está em pé no ônibus, quando o motorista freia e ele não está segurando em nada, tende a ser lançado para frente (alunos A02; A03; A06; A09; A11; A12; A14; A17; A18; A20).

As respostas semelhantes podem ter ocorrido pelo fato de os alunos já terem um conhecimento a respeito das leis de Newton.

*Carro batendo (aluno A07).
A batida de um carro é um exemplo disso em nosso cotidiano (aluno A08).
Freia e o cinto de segurança nos puxa para traz (aluno A04).
O cinto de segurança de um carro, se você se acidentiar, o seu corpo vai para frente e volta (aluno A10).*

De acordo com o planejamento, e levando em consideração que os alunos já traziam um conhecimento sobre as três leis de Newton, esperávamos uma melhor compreensão dessa questão, mas em relação às 10 primeiras respostas, percebe-se uma ligação com a primeira lei de Newton e não propriamente ao momento de inércia e sua aplicação no cotidiano. As demais respostas, conforme podemos observar, apresentam raciocínios fragmentados, superficiais e fora do contexto de momento de inércia.

Por derradeiro, apresentamos a quinta e última questão do questionário inicial: Por que uma patinadora no gelo quando está realizando seu giro abre e fecha os braços em determinado momento? Essa questão não foi muito diferente das anteriores no sentido das respostas, onde oito alunos responderam “*não sei*” ou “*não*

quiseram opinar” e as outras respostas praticamente iguais, ou seja, 14 alunos responderam: para ter equilíbrio e postura em seu corpo, sendo apenas uma resposta diferenciada:

Ela faz isso para adquirir mais velocidade e assim poder deslizar com mais rapidez (aluno A03).

Avaliando os dados, a maioria dos alunos tentaram justificar suas respostas utilizando conceitos e conhecimentos do cotidiano que não traduzem a relação entre a velocidade angular e o momento de inércia. Por meio desta questão, esperávamos que os alunos pudessem argumentar, mesmo que com limitações, que com os braços abertos a patinadora giraria mais devagar do que com os braços fechados. Porém, com a análise do questionário, apesar de os alunos levarem para sala de aula experiências vivenciadas fora do contexto escolar, a relação com os conhecimentos científicos se apresenta deficitária e fragmentada, como pôde ser constatado, especialmente nos tópicos da rotação, translação, momento de inércia, energia cinética de rotação e momento angular.

A articulação entre teoria com a prática, ausente nesse momento inicial entre a maioria dos estudantes e tão importante para uma compreensão mais ampla e sintética dos conteúdos, pode ser realizada por meio do desenvolvimento do produto educacional que, além de possibilitar a compreensão sobre o assunto, visou enriquecer o momento da aprendizagem. A problematização, em suas diferentes dimensões, fez parte desse processo. De acordo com Gasparin e Petenucci (2012):

A problematização consiste na explicação dos principais problemas postos pela prática social, relacionados ao conteúdo que será tratado. Este passo desenvolve-se na realização de: a) uma breve discussão sobre esses problemas em sua relação com o conteúdo científico do programa, buscando as razões pelas quais o conteúdo escolar deve ou precisa ser aprendido) em seguida, transforma-se esse conhecimento em questões, em perguntas problematizadoras levando em conta as dimensões científica, conceitual, cultural, histórica, social, política, ética, econômica, religiosa etc, conforme os aspectos sobre os quais se deseja abordar o tema, considerando-o sob múltiplos olhares. Essas dimensões do conteúdo são trabalhadas no próximo passo, o da instrumentalização. (GASPARIN; PETENUCCI, 2012, p.9-10).

Assim entendemos que a problematização representa o questionamento, a análise, levando em consideração o conteúdo trabalhado e e sua relação com a prática social. A princípio, na visão de Saviani (2009, p.64) “é necessário dominar para

resolver as questões da prática social”. Em resumo essa fase representa, o selecionar e discutir problemas que têm sua origem na prática social. É conhecer a realidade (prática) e a partir dela selecionar, discutir questões e relacioná-las, ou seja, fazer analogias individuais e coletivas, desafiando os alunos em relação ao conteúdo, mostrando a devida importância que o conteúdo traz.

Como se observa, no Plano de Unidade procuramos destacar algumas questões problematizadoras, além das dimensões que procuramos abordar com o tema - conceitual, científica, histórica e social. Nesse sentido deve-se dizer que, ao longo de todo o processo de intervenção do produto educacional, procuramos discutir e abordar todas as importantes questões problematizadoras.

4.2 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS CULTURAIS: MOMENTO DE INÉRCIA E TORQUE.

Após fazermos um levantamento prévio dos conhecimentos que os alunos traziam consigo sobre conservação do momento angular por meio do questionário inicial e da discussão dialogada em sala de aula, deu-se início a problematização e instrumentalização do conteúdo a partir de atividades teórico-práticas, as quais estão descritas no Plano de Unidade. Ressalta-se aqui que as aulas foram desenvolvidas em um laboratório de Física e também em sala de aula, onde os alunos registraram suas conclusões como também suas dúvidas a respeito das aulas e dos experimentos, indagando com perguntas oportunas para o andamento das aulas a respeito dos exercícios propostos pelo professor pesquisador. Neste sentido as DCE do Paraná destacam que “É importante que o processo pedagógico, na disciplina de Física, parta do conhecimento prévio dos estudantes, no qual se incluem as concepções alternativas ou concepções espontâneas” (PARANÁ, 2009, p.60).

Esse é o momento de mesclarmos o senso comum com o conteúdo científico, a fim de que o mesmo possa ser apropriado por meio de indagações, debates, reflexões, ponto que se apresenta como um desafio tanto para professores quanto para os alunos. Inicia-se uma nova forma de considerar o conhecimento, tanto em suas finalidades sociais quanto na forma de comunicá-lo e reconstruí-lo.

Nessa mesma linha de análise, Gasparin (2007) vai mais além e traz um novo conceito para a problematização, onde o autor a coloca como alicerce na

transformação entre a prática e a teoria, em outras palavras, o fazer cotidiano e a cultura elaborada. Nessa linha de análise, podemos assim dizer que a problematização também provoca uma reestruturação do conhecimento do aluno que, uma vez desafiado e motivado, tentará encontrar soluções para as questões levantadas. A partir dessa etapa, pouco a pouco, a aprendizagem assume um significado, uma importância individual para o aluno, embora a necessidade de conhecimento seja social.

Da mesma forma, na instrumentalização o sujeito é convidado a confrontar os objetos da aprendizagem. Nesse momento, docentes e discentes agem ou devem agir no sentido da efetiva elaboração interpessoal da aprendizagem por meio da apresentação sistemática do conteúdo por parte do professor e por meio da ação dos alunos de se aproximarem e debaterem, esse conhecimento. Diante disso, a instrumentalização trata de caminhos a serem explorados a fim de promover a aprendizagem.

Nesse sentido deve-se dizer que conforme afirmativa de Gasparin (2007) os estudantes e o objeto da sua aprendizagem são colocados lado a lado pela mediação do professor. Sendo assim, é de suma importância o trabalho do professor, com ações previstas e recursos selecionados, nos processos mentais dos alunos para que se apropriem dos conteúdos científicos em suas diversas dimensões, buscando alcançar os objetivos educacionais propostos. A princípio, é essencial que o professor tome como base os conhecimentos que os alunos já trazem para a sala de aula.

Assim, de posse desses conhecimentos, e dando continuidade na nossa intervenção, iniciamos a segunda aula com uma revisão de Cinemática das Rotações, destacando o significado físico de cada uma das variáveis nas equações de movimento, tanto na rotação como translação, destacando o conteúdo através de textos relacionado ao tema, trabalhando com imagens que pudessem esclarecer as dúvidas dos alunos. Utilizamos alguns recursos didáticos como: material impresso, data Show e Tv multimídia e quadro de giz.

Durante o decorrer desse tópico foi possível responder algumas questões referente ao conteúdo abrangendo as dimensões científicas, histórica e social, como: O que é movimento de rotação? Qual a definição de corpo rígido? Por que um corpo rígido pode rotacionar e transladar simultaneamente? Onde é aplicada a conservação do momento angular? Qual a importância de se fazer o balanceamento das rodas de um automóvel?

O Segundo encontro aconteceu em três aulas intercaladas, iniciando a partir do encontro anterior, retomando os conceitos que já haviam sido abordados. Em seguida iniciamos o conteúdo de Momento de Inércia e Torque, marco central dessas três aulas, abordando e resgatando conceitos do cotidiano com texto e imagens ilustrativas. Após todas as abordagens desenvolvemos junto com os alunos o experimento: o atrito do rolamento, pois como afirma Pernomian e Fusinato (2013), as práticas experimentais promovem a motivação, a capacidade de observação, o domínio de técnicas usadas em laboratórios, a união entre professores e alunos e, acima de tudo, possibilitam ao aluno o desenvolvimento de atitudes autônomas e cooperativas, buscando a construção do conhecimento científico. Para tanto, entendemos que a experimentação se faz necessária, para que o aluno tenha condição de realizar conexões entre o que ele já sabe e o que irá aprender. Da mesma forma, a experimentação, a partir do referencial teórico norteador desse estudo, possibilita aos alunos realizarem a efetiva articulação entre a teoria e a prática numa perspectiva problematizadora.

Com isso, por meio da exposição oral dialogada do professor, o aluno pode compreender o experimento e compreender a velocidade angular de cada disco em pequenos intervalos de tempo, permitindo dessa forma avaliar sua dependência temporal. Nesse encontro utilizamos o laboratório de Física para o desenvolvimento do experimento no qual tivemos como recursos de apoio a TV multimídia, bancada de apoio ao experimento além do quadro de giz.

4.3 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS CULTURAIS: MOMENTO ANGULAR E A CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR.

O próximo encontro aconteceu a sexta, sétima e oitava aula, também com três aulas intercaladas. Iniciamos com exemplos e atividades práticas para apresentar e tentar compreender o significado de momento angular e do seu princípio de conservação, relacionado com a energia cinética de rotação. Em seguida após todas as explicações do conteúdo de cunho científico, como proposta de trabalho foi realizado uma experiência em laboratório, demonstrando o cálculo do momento angular e permitindo a verificação de sua conservação durante o acoplamento de discos. Nesta mesma atividade também foi analisada a influência das forças internas sobre a

conservação de energia cinética de rotação durante o acoplamento dos discos. O conceito de conservação do momento angular também foi abordado em uma atividade na qual o aluno pode variar o seu momento de inércia enquanto girava em uma plataforma, assim observando a variação da velocidade angular em função da variação do momento de inércia, permitindo a relação do conteúdo aprendido com o seu cotidiano. Tivemos como recurso neste encontro, livros, materiais impressos, aparato experimental sobre momento angular e conservação de momento angular, celulares para gravação de voz, filmagem do experimento e quadro de giz.

Portanto, concordamos com Pernomian e Fusinato (2013) quando afirmam que a prática cotidiana poderia ser explorada através da experimentação. Segundo os autores, em um projeto de Física em uma escola,

[...] percebeu-se que, ao usar experimentos e vídeos em sala de aula sobre os conteúdos de Física, com objetivo de desenvolver um trabalho mais dinâmico e prazeroso para os alunos, esses demonstraram um comportamento diferente daquele comum nas aulas tradicionais (aulas expositivas) PERNOMIAN; FUSINATO, 2013, p.20.

Analisando todas essas argumentações, percebe-se que a experimentação é um caminho, uma ponte de ligação para que o aluno tenha um melhor entendimento do conteúdo em sua dimensão científica, bem como algumas importantes atitudes, tais como criatividade e socialização no trabalho conjunto. Segundo Silveira (2004), fica clara a necessidade da observação e da criatividade, articulando a parte experimental envolvendo o educando a grandes descobertas e elementos a serem desenvolvidos nesses pesquisadores, contribuindo para o seu aprendizado de modo a avançar no domínio da conceituação desses fenômenos.

Nos remetendo ao segundo encontro (3ª aula), os alunos foram desafiados a analisar a prática tendo como suporte o conteúdo adquirido, buscando articular teoria e prática. Essa atividade, de acordo com o planejamento do plano de intervenção desenvolvido pelo professor pesquisador, teve como foco mediar o conhecimento científico, base essencial para esclarecimento do conhecimento do senso comum entre os alunos, agentes protagonistas da aprendizagem, juntamente com o professor.

Antes, porém, para dar um enfoque mais aprofundado sobre momento de Inércia, torque ou momento de uma força, utilizamos o simulador torque ou momento de uma força como poderão verificar a seguir na Figura 10, a fim de que os alunos

pudessem compreender melhor o conteúdo. Esse recurso está melhor descrito no Plano de Unidade.

Figura 10: Imagem da tela do simulador para analisar torque ou momento de uma força



Fonte: Disponível em⁷:

Agora com mais propriedade, e após a recapitulação de conteúdo visto anteriormente para enfatizar melhor o aprendizado, os alunos puderam desenvolver o experimento, fazendo então correlações com as explanações do professor pesquisador e o simulador. Considerando as diferentes formas de cálculo do torque, apresentamos o experimento da determinação do atrito do rolamento. Para tanto foram necessários os seguintes itens:

- 2 discos de aço com dimensões aproximadas de 150 mm de diâmetro e 15mm de espessura;
- 2 rolamentos com 25mm de raio externo, 12mm de raio interno e 4mm de espessura;
- 2 porcas e 2 arruelas;
- 1 eixo de aço com 150mm de largura e 11,5mm de diâmetro;
- 1 pedaço de MDF com 27cm de comprimento por 23cm de largura;
- 1 pedaço de MDF com 46cm de comprimento por 27cm de largura;
- 1 alavanca para travar os discos;
- 1 sensor;

O procedimento de montagem inicia-se parafusando ou colando o MDF menor de maneira perpendicular no MDF maior. Em seguida com auxílio de uma furadeira, foi

⁷Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/momento-ou-torque-uma-forca.htm>>-acesso em 13/10/2018

feito uma abertura no centro da madeira menor para que fosse fixado o eixo de aço para sustentar os discos. A ideia principal sobre o experimento é simples e consiste em fixar horizontalmente o eixo de modo que os discos possam girar livremente. A posição entre o sensor e o disco deve ser ajustada de modo que as tarjas do disco estejam alinhadas com o sensor, que estará preso no suporte de MDF.

Figura 11: Alunos observando a leitura da velocidade angular dos discos.



Fonte: Autoria própria (2018).

A partir desse experimento, foi possível determinar o número de tarjas que passavam pelo sensor em um intervalo de tempo conhecido. Sabendo o tamanho de cada tarja no disco, e com a participação dos alunos, foi possível determinar a velocidade angular. Os alunos verificaram um exemplo ilustrando o acoplamentos dos discos como descrito a seguir: considere que o disco foi dividido em 100 marcações, e que é verificada uma contagem de $N = 8$ tarjas a cada intervalo de tempo $\Delta t = 2$ segundos. Nesta situação, o tamanho de cada tarja seja $(2\pi/100 \text{ rad})$ e a determinação da velocidade angular pode ser obtida da seguinte maneira:

$$\omega = \frac{N\left(\frac{2\pi}{100}\right)}{\Delta t} = \frac{8\left(\frac{2\pi}{100}\right)}{2} = \mathbf{0,251 \text{ rad/s.}}$$

Note que a força de atrito no movimento que está relacionada ao torque também pode ser obtida considerando a variação temporal do momento linear. O

torque pode ser calculado considerando a variação temporal do momento angular, através de uma derivada:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}, \quad (15)$$

Essa ferramenta que não é utilizada com alunos do Ensino Médio, mas serve de suporte para futuros aprofundamentos no conteúdo, pode ser apresentado de maneira simplificada⁸ com uma linguagem que atendia ao anseio dos alunos através da equação:

$$\tau = rF = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (16)$$

Percebemos que ao final desse tópico, os alunos já se mostravam com mais atenção e animação se comparado com o primeiro encontro. Após as resoluções de algumas atividades, era possível perceber que já havia indícios de avanço na aprendizagem.

A partir do próximo experimento foi possível avaliar qualitativamente a conservação do momento angular de maneira análoga ao da patinadora no gelo, como já mencionado em item anterior. Utilizando uma plataforma giratória com baixo atrito, conforme ilustrado na Figura 12, foi possível observar a influência da variação do momento de inércia sobre a velocidade angular. Um aluno foi colocado a girar de pé em cima da plataforma, ora com os braços abertos (I , grande momento de inércia e ω velocidade angular pequena), ora com os braços fechados (I pequeno e ω grande).

Figura 12: Alunos na plataforma giratória de braços fechados



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2018).

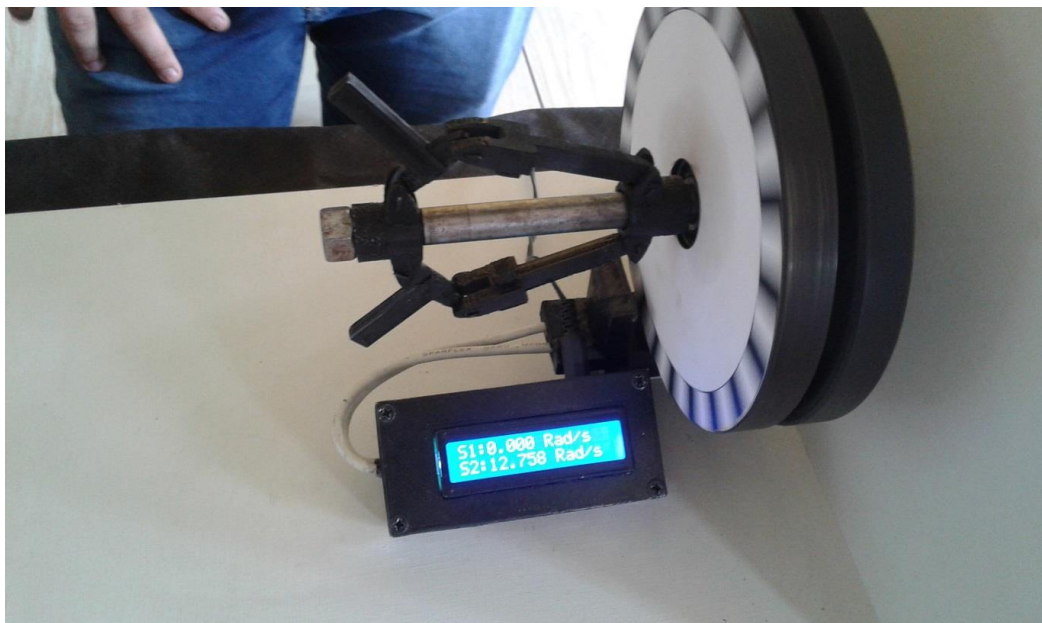
⁸ Este procedimento de simplificação sempre poderá ser realizado desde que o momento angular apresente uma variação temporal linear.

Um outro exemplo que também foi comentado com os alunos foi de uma cadeira que poderia girar em torno do seu eixo vertical, praticamente sem atrito. Logo de início já associaram a fala do professor-pesquisador com as cadeira que estavam no laboratório, vista que eram todas giratórias e que até aquele momento faziam uso da mesma, sem jamais imaginarem a ligação com o conteúdo de Física, mais propriamente “Momento Angular e a Conservação do Momento Angular”. Naquele momento ficava claro para o professor que os alunos estavam apresentando um ganho real de aprendizagem.

Aproveitando a oportunidade, também foi feita uma discussão professor-aluno, esclarecendo alguns pontos: sempre que o torque externo era nulo, o momento angular seria constante no tempo. Complementando aquela situação, foi citado um exemplo onde uma pessoa que estaria sentada à mesma cadeira, inicialmente sem girar e sem encostar os pés no chão, segurando uma roda de bicicleta que girava em torno do seu eixo na horizontal. A mesma pessoa poderia iniciar o movimento alinhando o eixo para a vertical, pois nessa configuração a pessoa e cadeira passariam a girar em sentido oposto ao da roda para que o momento angular na vertical permanecesse nulo, igual ao da situação anterior.

Ainda falando da sexta, sétima e oitava aula de intervenção do produto educacional, voltamos novamente ao experimento atrito do rolamento, mas dessa vez com o acoplamento dos discos, como mostrado na Figura 11.

Figura 13: Alunos analisando o acoplamento dos discos.



Fonte: Autoria própria (2018).

A proposta para encerramento dessa atividade foi retomar o experimento de atrito do rolamento descrito no t3pico anterior, por3m, neste caso, propondo o acoplamento de discos com velocidades angulares diferentes. Para tanto, os dois discos foram desacoplados e girados com velocidades angulares diferentes, e ap3s o acoplamento, passaram a girar com a mesma velocidade. Nesse caso a velocidade angular foi verificada imediatamente antes e ap3s o acoplamento.

Assim, de acordo coma a equa33o que descreve o momento angular antes e depois do acoplamento que segue abaixo:

$$\begin{aligned}
 L_{1i} + L_{2i} &= L_{1f} + L_{2f} \\
 I_1\omega_{1i} + I_2\omega_{2i} &= (I_1 + I_2)\omega_f \\
 \omega_f &= \frac{I_1\omega_{1i} + I_2\omega_{2i}}{(I_1 + I_2)}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

e que j3 havia sido explicada no Plano de Unidade, podemos a partir dela compararmos os valores experimentais com a previs3o te3rica obtendo boa aproxima33o, indicando dessa forma a validade da conserva33o do momento angular. Assim, de posse de alguns resultados, destacamos um para que fosse poss3vel perceber qual era o erro relativo em rela33o 3s velocidades em dois momentos diferentes, quando os discos foram girados individualmente e ap3s o acoplamento, ficando no primeiro momento com uma velocidade angular de 15 rad/s e 8,2 rad/s. No Acoplamento ficando com 10,2 rad/s. Portanto verificamos que:

$$\begin{aligned}
 L_i &= L_f \\
 I_1\omega_1 + I_2\omega_2 &= I_f\omega_f \\
 I(\omega_1 + \omega_2) &= 2I\omega_f \\
 23,2 &= 20,4
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

O resultado ocorreu dentro de uma margem de erro de aproximadamente 13%. Esse erro, em primeira impress3o poderia indicar que o momento angular n3o deveria se conservar, por3m, cabe lembrar que havia um pequeno torque externo (de atrito do rolamento) agindo durante o intervalo das medidas antes e depois do acoplamento.

Por outro lado, avaliando o cen3rio da energia cin3tica, foi poss3vel notar um aumento significativo do erro relativo (aproximadamente 40,4%) entre o valor medido da velocidade angular e o valor calculado atrav3s da equa33o que segue:

$$K_{1i} + K_{2i} = K_{1f} + K_{2f}$$

$$\frac{I_1 \omega_{1i}^2}{2} + \frac{I_2 \omega_{2i}^2}{2} = \frac{(I_1 + I_2) \omega_f^2}{2} \quad (19)$$

$$\omega_f = \sqrt{\frac{I_1 \omega_{1i}^2 + I_2 \omega_{2i}^2}{(I_1 + I_2)}}$$

Verificando o resultado da velocidade angular após o acoplamento da equação (2) com os valores experimentais obtidos, os alunos puderam constatar facilmente que não houve concordância entre os resultados, indicando que não existe conservação da energia cinética de rotação neste caso. Logo, de acordo com as ponderações do professor-pesquisador, esse fato ocorreu em virtude da força de atrito (torque interno) que atuava na superfície dos discos durante o acoplamento, dissipando parte da energia cinética. Com isso, concluiu-se que a dissipação de energia em função dos torques internos durante o acoplamento não afetava a conservação do momento angular. Sendo assim conforme afirmação de Santos (2016), citado por Sorte (2018),

[...] acreditamos que o professor não pode basear seus planos de aula ou sua prática pedagógica apenas no livro didático, e sim utilizar de outros subsídios para tornar a sua aula mais enriquecedora para o aprendizado do aluno, deixando de lado uma aula regulada na teoria tradicional de ensino, e tomando uma aula participativa, onde o aluno não é meramente um receptor da aprendizagem transmitida pelo professor, e sim os dois constroem juntos o aprendizado. (SANTOS, 2016, p. 45).

Nos deparamos com uma realidade onde muitas vezes uma boa parte dos profissionais (professores) não tomam consciência da grande importância enquanto profissional atuante na sociedade. Logo quando se propõe a trabalhar com algum experimento, como o usado nessa intervenção do produto educacional, as DCE de Física (PARANÁ, 2008) apontam que as atividades experimentais podem suscitar a compreensão de conceitos ou a percepção da relação entre um conceito e alguma ideia anteriormente discutida.

Concordando com as DCE, podemos verificar essas constatações, mediante alguns trechos dos relatórios desenvolvidos pelos alunos, solicitado pelo professor-pesquisador ao término do tópico terceiro (6ª, 7ª e 8ª aula), descritos a seguir:

Jamais poderia imaginar que quando algum professor nos trazem para o laboratório de informática e muitas vezes ficamos girando sentado na cadeira, tinha ligação com a Física, ou seja, ali estavam conceitos de rotação, momento de inércia, velocidade angular, momento angular. Do meu ponto de vista as aulas de Física deveriam ser direcionadas todas com essas situações do dia a dia, entenderíamos melhor as aulas (aluna A22).

Pude perceber que quando o professor pediu para subir na plataforma giratória a aluna “X” e depois o aluno “Y”, fazendo o procedimento de abrir e fechar os braços, as velocidades eram diferentes (aluno A07). Pensando no experimento do acoplamento dos discos, imaginei o carro do meu pai, quando ele leva para olhar os pneus e até então não imaginava que se ele não balanceasse eles, causariam algum dano ao carro. Acredito que poderíamos ver mais conteúdos como esse em vez de muitos que não tem significados para nós, aula dez (aluno C09).

Fiquei imaginando aqueles discos girando e eu andando de bicicleta, que coisa louca aquilo, os dois discos praticamente girando com a mesma velocidade. Me chamou atenção então que os pneus da minha bicicleta estariam rodando com a mesma velocidade, caso contrário não seria possível eu andar (aluno A01).

Os comentários dos alunos ainda pareciam confusos, porém mais aprofundados se comparado ao questionário inicial.

Enaltecendo alguns comentários citados, as DCE de Física (2008) explicitam que

[...] a atividade precisa contribuir para que o estudante perceba, além da teoria, as limitações que esta pode ter. Mesmo as dificuldades e os erros decorrentes de experiências de laboratório devem contribuir para uma reflexão dos estudantes em torno do estudo da ciência (DCEs de Física, 2008, p.71).

Diante do que foi exposto até o momento, entendemos que ainda há muito para ser aprofundado mas de maneira que não se crie uma barreira entre conteúdo e aluno, que ele sinta prazer no que está fazendo. Percebemos que com a intervenção do produto educacional, podemos verificar como certos conteúdos estão sendo abordados a nível de primeiro ano do ensino médio e quais lacunas ainda merecem total atenção. Sendo assim cabe ao professor criar mecanismos que estimulem o aluno, que o professor não seja apenas um transmissor de conhecimentos, mas sim aquele que o problematiza a partir da prática social, tendo em vista sua compreensão e transformação.

Ao longo de toda a intervenção foram utilizados instrumentos de avaliação, como o questionário inicial, relatórios, listas de exercícios, gravações de áudios, que nos permitissem analisar a catarse, ou seja, a nova compreensão dos estudantes a partir dos conteúdos abordados, em suas diferentes dimensões. Ao término da intervenção, buscamos novamente analisar essa catarse por meio do questionário final, tendo em vista, ao mesmo tempo, compreender o quanto e o como os alunos se apropriaram dos conhecimentos trabalhados, e, num retorno à prática social (final),

analisar de que maneira esses conhecimentos poderiam ser utilizados por eles como instrumentos de compreensão crítica da realidade e de transformação social.

4.4 RETORNANDO À PRÁTICA SOCIAL COM O COMPROMISSO E A CAPACIDADE DE AGIR E REFLETIR SOBRE A REALIDADE.

Como se há de verificar, durante a intervenção do produto educacional, passamos por várias etapas do desenvolvimento das atividades divididas em tópicos que foram analisados e discutidos nas etapas anteriores, onde pudemos verificar em diversas situações que alguns alunos atingiram a catarse, momento que eles se apropriaram do conhecimento e conseguiram expor suas ideias a respeito do tema.

Segundo Gasparin (2002), estamos constantemente convivendo com a catarse na aprendizagem, na qual a operação fundamental é a síntese. Isto é, uma vez incorporados os conteúdos, os processos e sua construção, ainda que de maneira provisória, chega-se ao momento em que o aluno é solicitado a mostrar o quanto e o como atingiu os objetivos traçados no início do trabalho. Em resumo, é a fase em que o aluno sintetiza e manifesta o que aprendeu. Trata-se de saber sintetizar o cotidiano, o científico, o teórico e prático. De acordo com Gasparin e Petenucci (2012), a catarse se refere:

A expressão elaborada de uma nova forma para entender a teoria e a prática social. Ela se realiza: a) por meio da nova síntese mental a que o educando chegou; manifesta-se através da nova postura mental unindo o cotidiano ao científico em uma nova totalidade concreta no pensamento. Neste momento o educando faz um resumo de tudo o que aprendeu, segundo as dimensões do conteúdo estudadas. É a elaboração mental do novo conceito do conteúdo; b) esta síntese se expressa através de uma avaliação oral ou escrita, formal ou informal, na qual o educando traduz tudo o que aprendeu até aquele momento, levando em consideração as dimensões sob as quais o conteúdo foi tratado (GASPARIN; PETENUCCI, 2012, p.10).

Em consonância com os autores, e analisando todo o processo de aprendizagem durante a intervenção por meio do produto educacional elaborado, retomamos o questionário inicial com acréscimo de mais algumas questões descritas no tópico 3.1, a fim de que pudéssemos avaliar as atividades propostas durante todo o percurso, com o intuito de analisar a apropriação dos conceitos científicos trabalhados durante os encontros e constatar a existência de possíveis lacunas que ainda mereciam atenção. Além disso, esse foi o momento de identificar a Prática

Social Final. Aqui o aluno coloca em prática o que realmente compreendeu, apresentando mudanças com relação ao conteúdo, Gasparin(2009).

Nesse momento, levando em consideração todas as questões levantadas sobre rotação, translação, torque, momento de Inércia, momento angular, no qual partimos de situações cotidianas baseadas em conhecimentos de senso comum, retomamos novamente, mas com a visão de que agora o aluno já possa ter uma atitude teórica mental mais elaborada, diferente daquela apresentada no início do processo de ensino-aprendizagem, assumindo uma postura de conhecimento adquirido frente a essa nova realidade.

Nessa esteira de pensamento, Menger e Valença (2012) argumentam que tanto o ponto de partida quanto o de chegada se referem à prática social. Contudo, o ponto de chegada é diferente da partida, é a realidade não mais como um caos, mas como totalidade, porque o aluno apreendeu e reelaborou a realidade por meio do conhecimento.

Ainda na visão das autoras Menger e Valença (2012), “no início é a visão do todo, naturalizada, caótica. No final, é a visão do todo novamente, mas reconstruído, compreendido pelo todo e pelas partes. Neste momento, o aluno tem um novo posicionamento perante a prática social” (MENGER; VALENÇA, 2012, p. 521). No entanto, segundo Gasparin (2009) conforme citado por Menger e Valença (2012), “esse processo de compreensão do conteúdo ainda não se concretizou como prática. Esta exige uma ação real do sujeito que aprendeu, requer uma aplicação” (GASPARIN, 2009, p.140).

Dessa maneira, a fim de avaliar os conhecimentos e as intenções e predisposições dos alunos em pôr em prática esse novo conhecimento adquirido, entregamos a eles o questionário final, contemplando as diferentes dimensões do conteúdo que foram trabalhadas. Esse diagnóstico final, atrelados a vários diagnósticos realizados durante a intervenção, serviu como base não só para avaliar a aprendizagem dos alunos, mas também a prática docente do professor-pesquisador. Após respondido, o questionário foi recolhido e houve um novo momento de discussões sobre as perguntas e suas respectivas respostas, onde foram explicadas algumas lacunas que ainda permaneciam com um ponto de interrogação entre os estudantes. Ressalta-se ainda que novamente tomou-se o devido cuidado com as identidades dos alunos participantes da pesquisa, sendo os mesmos identificados por letra e número, como no início do capítulo.

A nona aula de nossa intervenção contou apenas com 13 alunos. Ausência dos demais ocorreu devido a participação em um projeto na disciplina de Geografia. Como tínhamos um cronograma firmado com a direção escolar, encerramos a intervenção com os alunos que ali se faziam presentes. Em relação a primeira questão, assim como no início da intervenção, percebemos não haver tantas dificuldades nas respostas por parte dos alunos. Na questão “o que você entende por movimento de rotação? Justifique sua resposta”, observamos 11 respostas respondidas e justificadas com certo rigor científico, e apenas dois alunos responderam “não sei”. Analisando os excertos que se seguem, temos:

Movimento feito através de seu próprio eixo imaginário. Exemplo: pneu de bicicleta (aluno A02).

Quando o objeto gira em torno do seu próprio eixo. Podemos citar a roda gigante (aluno A03).

Quando o objeto gira em torno do seu próprio eixo. Exemplo: a roda do veículo (aluno A08).

É o movimento em que o objeto gira em torno de si mesmo. O experimento dos disco é um exemplo (aluno A05).

Quando o objeto gira em torno do seu próprio eixo. Exemplo: um pião (aluno C09).

É o movimento em que a Terra faz em torno de si mesmo (aluno A07).

É um movimento giratório que um faz sobre um eixo. Podemos citar os ponteiros do relógio (aluno 11).

Aqui percebemos que, embora num período muito curto de intervenção, os alunos manifestaram avanços na aprendizagem pela forma mais precisa com que responderam às perguntas, bem como pelos elos e exemplos indicados. Pode se constatar que cerca de 85% dos alunos se propuseram a responder, mesmo que não fosse de forma adequada, mas responderam dentro da possibilidade de entendimento de cada um.

A segunda questão “qual a diferença entre movimento de rotação e translação? Justifique sua resposta”, Se compararmos as respostas iniciais com as finais percebemos um grande avanço em relação ao tema, haja vista que esta mesma questão no início da intervenção causou uma certa confusão em relação ao conteúdo, o que já era esperado, já que se trata de um conteúdo pouco trabalhado no ensino médio. Agora, ao final, seis alunos responderam com certa coerência, cinco responderam “não sei” e dois não responderam. Seguem abaixo algumas das respostas obtidas:

Rotação é quando o objeto gira em torno do seu eixo imaginário translação ao redor do sol (aluno A01).

Rotação é quando o objeto gira em torno do seu eixo imaginário translação ao redor de outro corpo (aluno A02).

Rotação é quando o objeto gira em torno do seu eixo imaginário translação em torno do outro (aluno A03).

Como podemos observar, as justificativas esperadas não foram alcançadas em sua totalidade. Percebemos que mesmo 46% dos alunos respondendo com certa coerência, o que já caracteriza um avanço em relação ao questionário inicial, ainda há uma necessidade da presença de mais conhecimento científico (principalmente no tocante à definição de translação, ainda fortemente associada aos conhecimentos de ciências básicas do ensino fundamental) para que assim eles possam sobressair as lacunas que ainda permanecem, mesmo após a discussão.

Com relação a terceira questão, foi solicitado aos alunos que respondessem qual era o seu entendimento sobre energia cinética de rotação. Fazendo um parâmetro do momento inicial dessa questão com o final, tivemos oito respostas erradas, voltadas para o senso comum e fazendo alguma relação com as leis de Newton, quatro não responderam e apenas uma resposta foi apresentada de maneira correta, como pode ser observado nos excertos:

Ela depende do momento de inércia, pois tem dificuldade para aumentar ou diminuir o giro, e da velocidade angular (aluno A08).

Observamos que assim como no primeiro momento, novamente os alunos fizeram muita confusão com as respostas, confundindo energia cinética com energia cinética de rotação, onde muitas resposta apareciam como “*algo em movimento*”. Diante de tudo que foi trabalhado, esperávamos respostas mais coerentes, relacionando exemplos cotidianos com o conteúdo científico. Assim diante de uma alta porcentagem, cerca de 61% de alunos que não responderam, discutimos novamente o conteúdo a fim de as lacunas ainda existente fosse superadas.

O momento de inércia e alguma aplicação do cotidiano foi o tema da quarta questão. Aqui pudemos constatar com mais propriedade que havia indícios de que os alunos perceberam o objetivo de nossa pesquisa-intervenção, ou seja, despertar neles a motivação, a criatividade e, acima de tudo, a ampliação dos conhecimentos científicos. Dentre as respostas, podemos destacar:

Momento de inércia de um corpo é a medida da distribuição da massa de um corpo em volta de um eixo fixo de rotação (aluno A03).

Um corpo cuja sua medida é a distribuição da massa desse corpo em volta de um eixo fixo de rotação (aluno A06).

É o grau de dificuldade de se alterar o estado de movimento de um corpo em rotação (aluno A08).

Momento de inércia depende de como a massa é distribuída em volta de um eixo de rotação. Poderia ser como exemplo a plataforma que usamos e o rolamento e o experimento dos discos (aluno A05).

Momento de inércia é a dificuldade de colocar um corpo para girar em torno de um eixo (aluno A12).

Aqui expressamos apenas 5 respostas, dentre as 13 que tivemos, mas poderíamos expressar quase que na sua totalidade, pois todas apresentaram de forma coerente o conteúdo trabalhado. O fato de os alunos terem apresentado grande êxito nesta questão, pode ser devido ao contato com os dois experimentos, tanto do atrito de rolamento como da plataforma giratória. Convém ressaltar que naquele momento de desenvolvimento dos experimentos os alunos foram solicitados pelo professor-pesquisador a produzirem um relatório, o que pode ter favorecido nessa etapa da pesquisa.

Na quinta questão os alunos foram solicitados a responder por que uma patinadora no gelo quando está realizando seu giro abre e fecha os braços em determinado momento:

Quando ela fecha os braços, diminui seu momento de inércia e ela controla sua velocidade abrindo e fechando os braços (aluno A01).

A patinadora controla sua velocidade abrindo e fechando os braços, mas quando ela fecha os braços reduz seu momento de inércia (aluno A02).

A patinadora perde seu momento de inércia no momento que cruza os braços. Com isso ela controla sua velocidade abrindo e fechando eles (aluno A06).

Porque quando ela abre os braços perde o ponto de equilíbrio, porém perde velocidade. Quando fecha os braços perde o ponto de equilíbrio, porém aumenta sua velocidade (aluno C08).

Quando ela fecha os braços, o seu momento de inércia fica menor, mas ela controla sua velocidade abrindo e fechando os braços (aluno A03).

Aqui percebe-se que os alunos responderam uma constatação da conservação do momento angular. Das questões respondidas, constatamos certa coerência em 10 dela, as outras três um tanto equivocadas; porém, mesmo respondendo ainda na linguagem de senso comum, percebemos o comprometimento dos alunos em

darem respostas que atenderiam ao objetivo proposto. Vale lembrar que esse conteúdo foi bastante trabalhado, com exemplos práticos do cotidiano por meio de imagens, comparações e resolução de exercícios.

Neste momento, passamos a analisar duas questões que não estavam presentes no questionário inicial, voltado mais para o conhecimento científico. A sexta questão perguntava, “qual o seu entendimento de torque e onde ele está presente no dia a dia?”. Seguem algumas das respostas obtidas:

O torque é a força que se aplica em determinado ponto. Ele está presente quando uso uma chave para trocar o pneu do carro (aluno A01).

Quando irei abrir uma porta, quanto mais perto da dobradiça eu pegar, maior será a minha dificuldade. Podemos dizer que o torque está presente ali (aluno A02).

Se quando trocarmos um pneu e eu utilizar a chave pegando mais embaixo, haverá uma grande dificuldade, então teremos que segurar mais em cima para que a força seja aplicada na porca (aluno A08).

Quando usamos uma chave para afrouxar ou apertar o parafuso, temos o torque nesse exemplo (aluno A07).

Observe que nessa resposta o aluno A02 e o aluno A07 conseguiram relacionar torque com exemplo do cotidiano, porém não definindo cientificamente. Outro item importante não mencionado pelo aluno foi o produto vetorial entre a força e r , ou torque $\tau = Fr \sin \theta$.

Diante de algumas respostas apresentadas, selecionamos quatro, como apresentadas anteriormente, porém teríamos ainda mais ou menos sete respostas coerentes com o conteúdo e duas equivocadas. Quando pensamos no Plano de Unidade e nos exercícios trabalhados, houve avanços significativos, onde os alunos conseguiram apresentar respostas, fazendo articulação com o seu cotidiano. Podemos destacar nas respostas exemplo de portas, pneus, parafuso, dentre outros apresentados nas respostas mencionadas.

A sétima e última questão veio como fechamento a todas as indagações de nossa pesquisa-intervenção, onde foi perguntado “em que situações do cotidiano temos momento angular e a conservação do momento angular. Tivemos várias respostas coerentes, como também respostas confusas, com o que foi abordado em sala de aula:

Quando estamos sentados em uma cadeira giratória (aluno A07).

Quando andamos de bicicleta, e ao parar de pedalar encolhemos nossas pernas e ganhamos velocidades (aluno A02).

Se um corpo permanece constante, quando gira em torno de um eixo, temos momento angular (aluno A04)

Quando realizamos o movimento de rotação, também temos o momento angular e ao mesmo tempo quando paramos de manter o equilíbrio, perdemos a conservação angular (aluno A06).

As bailarinas girando, também temos momento angular e conservação de momento angular (A09).

Quando estamos sentados em uma cadeira giratória ou até mesmo em um parque de diversões na roda gigante (aluno A10).

Podemos constatar como fechamento dessa etapa que havia alunos que responderam dentro do esperado com exemplo do cotidiano, porém alguns ainda apresentavam respostas totalmente fora do contexto, ocasionando uma desproporção nas respostas. A partir das lacunas sobre esse tema, consideramos que esse tópico deveria ser trabalhado com um pouco mais de tempo, porém diante do acordo firmado com a diretora, não havia mais espaço de tempo.

De maneira geral, os alunos conseguiram relacionar o conteúdo trabalhado com algumas situações cotidianas, todavia, o conhecimento científico ainda precisaria ser mais amplamente trabalhado. Vale ressaltar que o conteúdo momento angular, objeto de estudo do nosso produto educacional, não vem mais sendo trabalhado nas escolas Estaduais, o que gera um desafio ainda maior para que o aluno possa compreender a nossa proposta de trabalho.

Levando em consideração o breve intervalo fornecido para o desenvolvimento das atividades, a adaptação do professor-pesquisador com a turma e os diversos pontos de partida em sala de aula, temos a certeza de que manifestamos no aluno o desejo de aprender, buscando analisar a importância dos conhecimentos escolares para a compreensão mais ampla e crítica da realidade prática. Antes de tudo, vale lembrar que para uma minoria dos alunos que participaram da pesquisa alguns pontos ainda eram confusos, mas, mesmo assim, traziam um conhecimento do senso comum a respeito do tema.

Convém ressaltar que os argumentos utilizados pelos alunos em suas respostas estavam comumente voltados às situações com as quais eles estavam familiarizados, ou seja, aquilo que havia sido vivenciado no cotidiano. Ademais, esse trabalho foi importante para elencar e repensar a maneira como está sendo visto o ensino de Física e criar novos mecanismos para que o educando possa vivenciar a sua realidade. Todavia, quando falamos de Física o aluno já faz uma relação com a

matemática e seu formalismo, criando de início uma barreira com o conteúdo a ser ensinado, o que os leva a apresentar certa resistência aos cálculos. Com isso, conteúdo como momento angular, proposta do nosso trabalho, acaba gerando respostas voltada para o senso comum e não tanto para a dimensão científica. Isso só mostra a necessidade ainda maior de que esse conteúdo, aliado aos demais de igual importância, sejam trabalhados na disciplina de Física com mais tempo e profundidade em sala de aula, buscando a necessária articulação entre teoria e prática e entre os saberes cotidianos e o conhecimento científico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os estudos já realizados sobre o assunto, defendemos a necessidade de ampliação das pesquisas sobre o tema, para a contemplação de suas especificidades e possibilidades, com enfoque total voltado para o campo da educação. Nesse sentido, estudar a Física também é compreender como conhecemos, explicamos e interagimos com a nossa realidade imediata. Outro enfoque possível para pesquisar a Física permite articular o conhecimento físico com as demais áreas da ciência e com as outras formas de expressão da cultura humana.

O presente trabalho buscou apresentar uma proposta para o ensino do conteúdo de momento angular no currículo do primeiro ano do ensino médio enquanto requisito das questões relativas ao movimento, bem como sua relevância para a Educação Básica, levando à justificativa pela escolha do tema proposto. A partir dos dados analisados sobre como o conteúdo vem sendo tratado nas salas de aulas, observamos a pouca difusão do conteúdo de momento angular no ensino médio. Isso pode ser resultado, em grande medida, a ausência desse tópico de conteúdo nas Diretrizes Curriculares Estaduais. Como não consta como conteúdo específico, verifica-se que atualmente tem sido conduzida uma abordagem mais superficial a respeito de conteúdos como movimento circular, momento e inércia, torque e energia cinética de rotação, dificultando dessa forma a possibilidade de o educando relacionar tais conteúdos com as situações práticas do cotidiano.

Discutir a seleção de conteúdos e de metodologias para o bom desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem compõe a agenda incessante de educadores da área da Física. Assim, o investimento em estudos e pesquisas pode ser um caminho para resgatar processos didáticos de construção e apropriação de conhecimentos e de linguagem científica que permitam ao estudante questionar, refletir e analisar a realidade social à luz dos conteúdos culturais. Faz-se necessário, também, propiciar ao educador uma amplitude de novas ideias que busquem fundamentar o trabalho pedagógico da disciplina de Física em sala de aula, tendo em vista mostrar que muitos dos problemas encontrados no dia a dia, quando bem sistematizados e direcionados, podem servir como pontos de partida para a elaboração de um conhecimento científico mais elaborado.

Ademais, esperamos que a realização de atividades teórico-práticas/experimentais de Física utilizando materiais simples e de fácil acesso, nesse

caso o produto educacional que foi desenvolvido referente ao tema de conservação de momento angular, seja um suporte aos professores e alunos, contribuindo para uma melhor compreensão, por parte dos estudantes, dos conteúdos trabalhados em sala de aula, bem como para mostrar a relevância desses conteúdos como a interação no momento da experimentação, permitindo que o aluno tivesse contado com algo diferente do que está acostumado a ver. Pensando nisso, o mesmo Produto Educacional, também foi apresentado em uma feira de ciência com uma turma do 9º ano pertencente a um Colégio do Núcleo regional de Educação de Assis Chateaubriand-Paraná, instituição privada, no qual o professor pesquisador é professor de matemática nesta instituição a nove anos.

Embora com apenas 50 minutos de tempo para familiarizar o experimento atrito de rolamento com os alunos, e depois ser apresentado à comunidade, pudemos constatar o envolvimento de todos, tanto nas explicações como no manuseio do experimento. Todavia, por se tratar de uma turma de 9º ano, a abordagem feita foi apenas prática e não teórica, mas alcançou resultados plausíveis assimilando experimento e exemplos cotidianos.

REFERÊNCIAS

- AGASSI, A.R. **Uma sequência didática para o ensino de indução eletromagnética**. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018- 112 p. Disponível em:<
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3091/1/sequenciadidaticaensinoinducao.pdf>>. Acesso em 10 de Dezembro de 2018.
- ANJOS, T. O que é Física. Mundo Educação. Disponível em <<http://www.mundoeducacao.com.br/fisica/o-que-fisica.htm>>. Acesso em 10 de Dezembro de 2017.
- BEM, DOV.Y. **Convite à Física**. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro– RJ, Jorge Zahar Editor Ltda., 1996.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM)**. Orientações Educacionais Complementares aos **Parâmetros Curriculares Nacionais** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC, 1997-141 p.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM)**. Orientações Educacionais Complementares aos **Parâmetros Curriculares Nacionais** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC, 2000-109 p.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM)**. Orientações Educacionais Complementares aos **Parâmetros Curriculares Nacionais** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC, 2006-140.
- CISNEROS, J. I.; LUJAN, E. Estudo Experimental da Rotação de um corpo rígido ao Redor de um Eixo Fixo. Conservação do Momento Angular. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 18, nº 1, mar., 1996. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/indice.php?vol=18&num=1>>. Acesso em 22 de agosto. de 2017.
- COSTA, L.G; BARROS, M.A. **O Ensino da Física no Brasil: Problemas e desafios**. Grupo de Trabalho – Formação de Professores e Profissionalização Docente, 2015- ISSN 2176-1396. Disponível em: <http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042_8347.pdf>. Acesso em 18 de Dezembro de 2018.
- Currículo Básico para as escolas públicas do Paraná. **SEED**: Curitiba, 1992.
- DUARTE, S. E. **Física para o Ensino Médio usando simulações e experimentos de baixo custo**: um exemplo usando dinâmica da rotação. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 2012.

FUSINATO, A.P; PERNOMIAN, R.M.Os **desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE**:Aplicações das leis de Newton em nosso cotidiano. Paraná: v.1, ISBN:978-85-8015-076-6.2013.

GASPARIN, J. L. **Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica**. 5. ed. rev. Campinas, SP: Autores Associados, 2008-2009.

GASPARIN, J.L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. 3. ed. Campinas, SP: Autores associados,2002.

GASPARIN, J.L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. 4 ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2007.

GASPARIN, J.L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**.3.ed Campinas, SP: Autores associados,2003.

<http://www.jsthumberto.seed.pr.gov.br/redeescola/escolas/4/1284/10/arquivos/File/PP.pdf>-acesso em 15/12/2018.

<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/momento-ou-torque-uma-forca.htm>-acesso em 13/10/2018.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Momento_angular-acesso em 23/12/2018.

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira>-acesso em 23/12/2018.

Imagem de um carrossel. Disponível em:<

<https://www.google.com.br/search?q=pesquisar+imagens+pessoas+se+move+prøB3ximo+ao+centro+de+um+carrossel>>.Acesso em 23/12/2018.

LIBÂNEO, J. C. **Democracia da Escola Pública**. A pedagogia crítico social dos conteúdos. Campinas: Edições Loyola, 3 ed. Coleção Educar, 1986.

LÜDKE, M. ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. 2 ed. São Paulo: E.P.U., 2014.

LÜDKE, M., ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. 2 ed. São Paulo: E.P.U., 2013.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, V.; MACHADO V. O. O. **Efeito do impulso angular na rotação plana de um corpo rígido em um sistema conservativo**: um ensaio no laboratório. **RBFTA**, v.1, n.2, outubro de 2015.

MENEZES, L. C. **A matéria – Uma Aventura do Espírito**: Fundamentos e Fronteiras do Conhecimento Físico. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MENGER, A.da.S; VALENÇA, V.L.C. **A pedagogia histórico-crítica no contexto das teorias de educação.** v. 6, n. 10. Poiésis: Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação. Santa Catarina, 2012, 497-523 p. Disponível em: <<http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/Poiesis/issue/view/96/showToc>>. Acesso em 20 de Dezembro de 2018.

Movimento circular uniforme. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/movimento-circular-uniforme-ou-mcu-1.htm> Acesso em 03 de janeiro de 2019.

OLIVEIRA, J. R. S. de, **Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências:** reunindo elementos para a prática docente Acta Scientiae, v.12, n.1, jan./jun. 2010. p.

PARANÁ. **Diretrizes curriculares de Física.** SEED, 2008.

PARANÁ. **Secretaria de Estado da Educação.** (DCEs) Diretrizes curriculares de Física, 2009.

PARO, V. H. **Administração escolar: introdução crítica.** 16 ed. São Paulo: Cortez, 2012.

PETENUCCI, M. C. **Pedagogia histórico crítica: da teoria à prática no contexto escolar.** UEM-PR. PDE 2012. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

SANTOS, M A. da Conceição dos. Ferramentas didáticas e a aprendizagem sobre ondas eletromagnéticas e a polarização da luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 38, no. 1, 1502, 2016.

SAVIANI, D. **Escola e Democracia:** teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre educação e política. 33.^a ed. revisada. Campinas: Autores Associados, 1986 -1992.

SAVIANI, D. **Escola e democracia:** teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre educação e política. 41.ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2009.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico Crítica:** primeiras aproximações. Campinas: Autores Associados, 10^o edição, 2008.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico Crítica:** primeiras aproximações. Campinas: SP. Autores Associados, 2.ed, 1991.

Secretaria de Estado da Educação do Paraná, Superintendência da Educação: INSTRUÇÃO Nº 04/2005 - SEED/SUED.

SORTE, S, M. da.A. **Uma proposta de recurso educacional para o ensino de campo magnético na educação básica.** Dissertação (Mestrado Profissional de

Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018, 173 p. Disponível em: <
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3090/1/recursoensinocampomagnético.pdf>>. Acesso em 09 de dezembro de 2018.

TIPLER, P.A.; MOSCA.G., **Física**. 5.ed, v. 1, v. 2 e v.3, Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VILLATORRE, A.M; HIGA, I; TYCHANOWICZ, S.D. **Didática e avaliação em física**. 1.ed.São Paulo: Saraiva, 2009.

WÜRZ, G. **Momento angular: uma proposta para o ensino de Física, utilizando experimentos lúdicos**. Caderno de publicações acadêmicas, 2013.

YOUTUBE.**Movimento Circular Uniforme**. 2017. Disponível em:
<http://www.youtube.com/watch?v=dDxoG_nXxpc>-acesso em 22/10/2018.

APÊNDICE A:

***PLANO DE UNIDADE
2018***

***Momento Angular e Conservação do
momento angular***

Colaboradores

Claudinei Gomes de Oliveira

Cesar Vanderlei Deimling

Natalia Neves Macedo Deimling

APRESENTAÇÃO

Com o passar dos tempos o papel da escola vem se invertendo, embora o desenvolvimento da sociedade tenha trazido novas formas de relações sociais, enquanto educadores e gestores educacionais precisamos refletir sobre todos os elementos envolvidos na educação. Atualmente, estamos na corrente da pedagogia Histórico – Crítica, que apresenta uma corrente filosófica embasada no currículo básico para as escolas públicas do Paraná (1992), nos PCNs (1997) e nas DCEs(2008) que orientam as diferentes disciplinas escolares. Nesta concepção, há ênfase no conteúdo como forma de superação e liberdade histórico-social. Também é questionado o papel da escola enquanto influenciadora de comportamentos sociais, mas também sendo impactada pelas práticas da mesma sociedade. Segundo SAVIANI (1986 p.94), "a educação também interfere sobre a sociedade, podendo contribuir para a sua própria transformação".

Para tanto, a Pedagogia Histórico-Crítica veio trazer um novo olhar para a educação. Trouxe os conteúdos, que enquanto conhecimento real são possíveis a todos, devendo servir de ponte e ferramenta para a transformação social. Sendo assim a pesquisa desenvolvida teve uma abordagem qualitativa tendo como principal característica à flexibilidade e a criatividade. Através de uma minuciosa revisão teórica buscamos um contato com todas as variáveis do tema a ser estudado para que fosse possível fazer uma reflexão crítica sobre o mesmo. O conteúdo de conservação de momento angular na disciplina de Física do ensino médio foi abordado em uma turma do primeiro ano do ensino médio de um Colégio público pertencente ao Núcleo regional de Assis Chateaubriand-PR. Assim, elaboramos alguns materiais e recursos que fizeram parte do nosso produto educacional. Este produto, inicialmente composto por um Plano de Unidade, foi dividido em quatro tópicos, tomando com norte o nosso referencial teórico a Pedagogia Histórico-Crítica, obedecendo rigorosamente as etapas que dela fazem se presentes. Sendo assim, tivemos por finalidade oferecer uma alternativa diferenciada, acessível e aprofundada a professores e estudantes na abordagem do conteúdo de momento angular no ensino médio.



Mestrado Profissional em Ensino de Física

PLANO DE UNIDADE

2018

INSTITUIÇÃO: COLÉGIO ESTADUAL HUMBERTO DE ALENCAR CASTELO BRANCO- ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

PROFESSOR: CLAUDINEI GOMES DE OLIVEIRA

DISCIPLINA: FÍSICA

PLANO DE UNIDADE: ROTAÇÕES

ANO LETIVO: 2018

TRIMESTRE: 3º

SÉRIE: 1º ANO

TURMA: 1º A

H/A: 9 h/a

CONTEÚDO: Conservação de momento angular

1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar os conceitos prévios dos alunos partindo de exemplos práticos do cotidiano, possibilitando que o estudante desenvolva a capacidade de organizar e sistematizar os dados e resultados referentes ao conteúdo de conservação de momento angular na disciplina de Física do ensino médio.

2. TÓPICOS DE CONTEÚDO E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Tópico 1: Cinemática das Rotações.

Objetivos específicos: introduzir ao aluno uma discussão, a fim de diagnosticar conceitos básicos da cinemática das rotações, através de um questionário inicial escrito, como também uma discussão oral a fim de proporcionar um debate inicial

sobre o tema, com o objetivo de explorar os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos e, a partir desse levantamento, iniciar a problematização do conteúdo.

Tópico 2: Momento de Inércia e Torque.

Objetivos específicos: Explicar a origem do movimento de rotação; esclarecer o significado de cada variável no movimento de rotação e sua correlação para o movimento de translação; compreender e desenvolver os conceitos e pré-requisitos envolvendo cinemática e dinâmica do corpo rígido, relacionando com a inércia no movimento de rotação, dificuldade em colocar um corpo em movimento.

Tópico 3: Momento Angular e a Conservação do Momento Angular.

Objetivos específicos: introduzir a conservação do momento angular revisando os conceitos da dinâmica de corpos rígidos, relacionando a regra da mão direita com o vetor momento angular, além das condições para a conservação do momento angular e da energia cinética de rotação, de forma que o aluno compreenda esse importante princípio da Física e seja capaz de identificá-lo em diversas situações do cotidiano.

Tópico 4: Considerações finais a respeito do questionário inicial.

Objetivos específicos: discutir com os alunos, os principais conceitos envolvidos através de um questionário final, relacionado com o questionário inicial, com o intuito de avaliar apropriação dos conceitos científicos trabalhado durante os encontros e verificar a existência de possíveis lacunas que mereçam atenção.

3. PRÁTICA SOCIAL INICIAL

Pré-Requisitos: os conteúdos necessários para a compreensão de todas as atividades que serão desenvolvidas no decorrer do trabalho vem ao encontro do conhecimento de cinemática, conhecimento de dinâmica e diferentes tipos de energia, além de noções básicas sobre movimento circular uniforme.

O que os alunos podem saber: o movimento de rotação está ligada a Terra. Quanto maior for o momento de inércia de um corpo, mais difícil será girá-lo ou alterar sua rotação. O torque é considerado uma grandeza vetorial, pois possui um módulo,

direção e sentido que está relacionado com a rotação de um sistema. Para que a rotação aconteça, é necessário à aplicação de um torque. O momento angular é uma grandeza vetorial interligada à velocidade angular do corpo em rotação.

Curiosidades que os alunos podem apresentar: o que existe de semelhante entre os movimentos de um CD e de uma roda gigante? Por que um equilibrista de corda bamba carrega uma vara longa e estreita? Por que a patinadora no gelo em determinado momento do seu giro fecha os braços e num outro momento abre seus braços? Podemos considerar a Terra como exemplo de movimento de rotação? Ao abrimos tampas de alimentos em conserva, estamos exercendo rotação? E quando usamos chave de roda para trocar pneu de um veículo? Todo objeto que gira desenvolve rotação? E quando abrimos uma porta? E a roda da bicicleta?

4. PROBLEMATIZAÇÃO

Dimensões do conteúdo a serem trabalhados:

Conceitual/Científica: o que é movimento de rotação? Qual a definição de corpo rígido? Por que um corpo rígido podem rotacionar e transladar simultaneamente? Como descrever o movimento de rotação de um corpo rígido? Como descrever o deslocamento angular em termos das variáveis de rotação? Como é a relação entre as grandezas lineares, as grandezas angulares e o raio? Todas as partículas tem a mesma velocidade angular quando um corpo rígido gira em torno de um eixo fixo? Quando uma partícula descreve um movimento circular, como é definida a aceleração?

Histórica: qual é a ideia de cinemática? Qual a importância do Filósofo Aristóteles para o estudo da cinemática das rotações? De onde surgiu esse nome? Que conhecimentos prévios podemos ter envolvendo cinemática de rotações?

Social: qual a importância de se fazer o balanceamento das rodas de um automóvel? É possível se locomover com esse automóvel sem fazer esse balanceamento? Um carro desbalanceado consome mais combustível? Justifique. O que acontece com a

velocidade aferida no painel do veículo quando usamos um pneu maior que o pneu original no carro?

5. INSTRUMENTALIZAÇÃO

Tópico 1: Cinemática das Rotações.

Dimensões: Conceitual/Científica, Histórica, Social e econômico.

Iniciaremos o primeiro encontro com um questionário inicial, fazendo um levantamento do conhecimento prévio apresentado pelos alunos sobre o tema. Na sequência serão discutidas as respostas do questionário e em seguida dará-se início ao plano de unidade de conteúdo com uma revisão da Cinemática das Rotações, destacando o significado físico de cada uma das variáveis nas equações de movimento, tanto na rotação como translação, revisando o conteúdo através de textos relacionado ao tema trabalhando com imagens que esclareçam as dúvidas dos alunos. Em seguida será apresentado um vídeo sobre movimento circular uniforme disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=dDxoG_nXxpc e após exposição oral dialogada do professor onde será usado material impresso, data Show ou Tv multimídia e quadro de giz.

Tópico 2: Momento de Inércia e Torque.

Dimensões: Conceitual e Científica.

O Segundo encontro seguirá a partir do anterior, retomando os conceitos abordados no último encontro. Em seguida iniciará-se o conteúdo de Momento de Inércia e Torque, abordando e resgatando conceitos do cotidiano através de texto e imagens ilustrativas. Após todas as abordagens será desenvolvido junto com os alunos o experimento: o atrito do rolamento, onde através da exposição oral dialogada do professor, o aluno poderá compreender a velocidade angular de cada disco em pequenos intervalos de tempo, permitindo dessa forma avaliar sua dependência temporal. Para esse encontro será utilizado o laboratório de Física para o desenvolvimento do experimento no qual constará a Tv multimídia, bancada de apoio ao experimento além do quadro de giz.

Tópico 3: Momento Angular e a Conservação do Momento Angular.

Dimensões: Conceitual e Científica.

Neste tópico partiremos de exemplos e atividades práticas para apresentar e compreender o significado de momento angular e do seu princípio de conservação, relacionado com a energia cinética de rotação e em seguida será realizado uma experiência em laboratório, demonstrando o cálculo do momento angular e permitindo a verificação de sua conservação durante o acoplamento de discos. Nesta mesma demonstração também será verificada a influência das forças internas sobre a conservação de energia cinética de rotação durante o acoplamento dos discos. O conceito de conservação do momento angular também será abordado em uma atividade na qual o aluno varia o seu momento de inércia enquanto gira em uma plataforma afim de verificar a variação da velocidade angular em função da conservação do momento angular, permitindo a relação do conteúdo aprendido com o seu cotidiano. Teremos como recurso neste encontro livros, material impresso, aparato experimental sobre momento angular e conservação de momento angular, celulares para gravação de voz, filmagem do experimento e quadro de giz.

Tópico 4: Considerações finais a respeito do questionário inicial.

Dimensões: Conceitual, Científica, Histórica e Social.

Como fechamento será apresentado aos estudantes um questionário final, sendo o mesmo do início do tópico 1, acrescido de algumas perguntas expressando a opinião dos alunos sobre as aulas juntamente com exposição oral dialogada do professor com os alunos a respeito dos resultados obtidos. Neste encontro será utilizado material impresso.

6. CATARSE:

Expressão da síntese: apontamentos e discussões sobre o questionário com os estudantes no decorrer das aulas, bem como a resolução oral e escrito de exercícios, que serão apresentados no decorrer dos tópicos.

Síntese do aluno: considerando que os conceitos abordados neste plano de unidade são pouco trabalhados com os alunos de ensino médio, esperamos que ao final de todas as atividades desenvolvidas e de suas discussões os alunos compreendam os conteúdos descritos nos tópicos que seguem.

Tópico 1: Cinemática das Rotações.

Duração desse tópico: proposta de 2 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais horas-aula.

Figura 1: Imagem de uma prova de atletismo feminino.



Fonte: Disponível em⁹:

Na Figura 1 podemos observar corredoras femininas numa pista de atletismo, onde os estudos sobre o campo da cinemática podem ser aplicados na análise dos movimentos, sem a necessidade de levar em consideração as causas do movimento. Assistindo a uma corrida, percebe-se que quando as atletas se movimentam, um conjunto de movimentos é realizado. Podemos notar que os braços e as pernas realizam movimentos oscilatórios (que podem ser analisados por equações utilizadas no tratamento da cinemática das rotações), ou seja, que se repetem ao longo do tempo, enquanto que a cabeça do atleta sofre um deslocamento - caracterizado por uma translação - aproximadamente paralelo à pista. Para facilitar a análise combinada desses movimentos – rotação e translação – utilizaremos como inspiração o movimento de um pneu de um carro em contato com o asfalto, como mostrado na Figura 2.

⁹ Disponível em: < <https://def.fe.up.pt/dinamica/cinematica.html> > - acesso em 11/10/2018.

Figura 2: Imagem do pneu de um carro em contato com o asfalto



Fonte: Disponível em¹⁰:

Analisando a Figura 2, podemos obter as equações que descrevem o movimento de rotação, de um ponto situado na borda do pneu bem como do movimento de translação, associado ao eixo de sustentação do pneu. Para tanto, abaixo descreveremos brevemente as definições de algumas grandezas Físicas associadas ao movimento para este caso.

- **Deslocamento angular ($\Delta\theta$)**

É definido pela variação do ângulo de um ponto fixo na extremidade do pneu em função da rotação. Exemplo: Uma pedrinha se prende a um pneu. No instante de tempo $t = 0$ s a pedrinha faz um ângulo de 15° com a horizontal e depois de 2 segundos, ela faz um ângulo de 80° com a horizontal. Neste caso o deslocamento angular vale 65° que correspondem a 1,134 radianos.

- **Velocidade angular (ω)**

Caracterizada pela razão entre o deslocamento angular e o intervalo de tempo necessário para realiza-lo. Retomando o exemplo anterior, considerando o deslocamento angular de 1,134 rad no intervalo de tempo de 2 s, teremos uma velocidade angular de 0,567 rad/s.

- **Aceleração angular (α)**

O termo aceleração angular indica a variação da velocidade angular num certo intervalo de tempo ($\Delta\omega/\Delta t$) e sua unidade de medida no Sistema Internacional de unidades, SI, é o rad/s^2 . De maneira análoga às variáveis do movimento de translação, deslocamento, velocidade e aceleração, as variáveis angulares também são vetoriais,

¹⁰ Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=imagem+de+um+pneu+constando+as+vari%C3%A1veis+de>> - acesso em 11/10/2018.

no entanto, para os casos angulares o vetor sempre será paralelo ao eixo de rotação. Uma aplicação direta da aceleração angular pode ser obtida por meio do cálculo do torque, $\vec{\tau} = I \cdot \vec{\alpha}$, que será mais bem estudado nos próximos tópicos.

- **Frequência (f) e período (T)**

São grandezas associadas aos movimentos periódicos, ou seja, aqueles que se repetem como é o caso das rotações e oscilações. A razão entre o número de ciclos completos em um tempo previamente estabelecido – que no SI é de 1 segundo - denominamos **frequência**. Por outro lado, o **período** é definido pelo tempo necessário para completar uma rotação ou uma oscilação completa.

Equações e suas relações:

Podemos definir a relação entre frequência e período através da seguinte equação:

$$f = \frac{1}{T}$$

Considerando a definição de frequência ou período e que a cada 2π radianos o movimento se repete, podemos definir a velocidade angular conforme as seguintes equações:

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

$$\omega = 2\pi f$$

Para entender melhor a correlação entre as grandezas rotacionais e translacionais apresentamos abaixo a Tabela 1.

Tabela 1: correlação entre as grandezas rotacionais e translacionais.

| TRANSLAÇÃO | ROTAÇÃO |
|------------------------------------|---|
| Aceleração Linear (a) | Aceleração Angular (α) |
| Força(\vec{F}) | Torque ($\vec{\tau}$) |
| Momento linear(q) | Momento angular (L) |
| Velocidade linear(v) | Velocidade angular (ω) |
| Massa(m) | Momento de Inércia (I) |
| Energia cinética (K _c) | Energia cinética rotacional (K _r) |

Fonte: Autoria própria (2018).

Com o objetivo de melhorar a visualização da correlação entre as grandezas translacionais e rotacionais apresentadas na Tabela 1, preparamos a Tabela 2 que

apresenta as equações para o movimento de translação e suas respectivas correlações para a rotação.

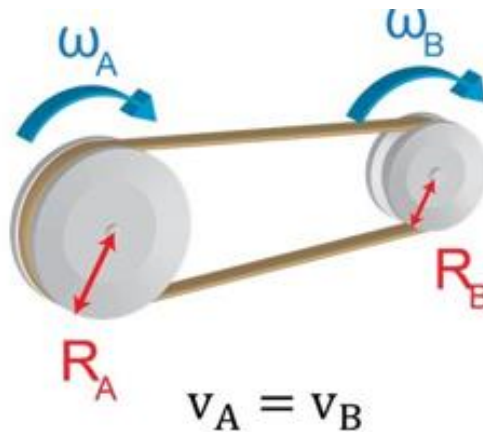
Tabela 2: correlação entre as equações do movimento translacional e rotacional

| Grandezas lineares | Grandezas angulares |
|-------------------------------------|--|
| MRU e MRUV | MCU e MCV |
| $\Delta s = vt$ | $\Delta \theta = \omega t$ |
| $v = v_0 + at$ | $\omega = \omega_0 + \alpha t$ |
| $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ | $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$ |
| $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ | $\alpha_m = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ |
| $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$ | $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta \theta$ |
| Dinâmica Translação | Dinâmica rotação |
| $\vec{F} = m\vec{a}$ | $\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$ |
| $\vec{p} = m\vec{v}$ | $\vec{L} = I\vec{\omega}$ |
| $K_c = \frac{1}{2}mv^2$ | $K_r = \frac{1}{2}I\omega^2$ |

Fonte: Autoria própria (2018).

Na sequência apresentamos alguns exemplos práticos do cotidiano onde é possível verificar a aplicação dos conceitos de velocidade escalar, bem como da velocidade angular. Dessa forma, apresentamos um sistema de transmissão de polias, no qual se utiliza uma correia comum conforme mostrado na Figura 3, observando que a velocidade tangencial (linear) é a mesma em qualquer ponto da correia.

Figura 3: Esquema mostrando a velocidade tangencial de polias associado à uma correia



Fonte: Disponível em¹¹:

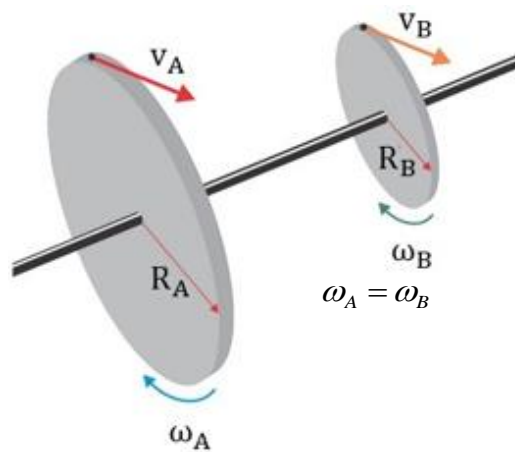
¹¹Disponível em: <<https://www.kuadro.com.br/posts/cinematica-do-movimento-circular/>>acesso em 24/09/2018.

Quando medimos as velocidades angulares dos eixos das respectivas polias A e B, verificamos diferenças. A equação (1) mostra a dependência da velocidade angular com o raio de cada eixo A e B.

$$\omega_A R_A = \omega_B R_B \quad (1)$$

Nessa linha de análise verificamos também velocidade angular em sistema de polia fixas em torno de um eixo comum, conforme Figura 4 onde ambas apresenta a mesma velocidade.

Figura 4: Esquema mostrando a velocidade angular de polias fixas em torno de um eixo comum



Fonte: Disponível em¹²:

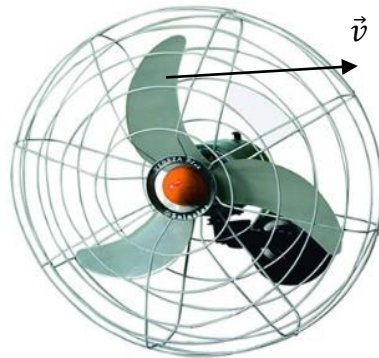
Verifica-se que para o sistema acima apresentado temos a seguinte relação:

$$\frac{V_A}{R_A} = \frac{V_B}{R_B}$$

Destaca-se a partir desse momento que a cinemática dos corpos rígidos compõem tanto os movimentos de translação como também rotação, lembrando que no movimento de translação pura, as partes envolvidas em relação ao corpo apresentam o mesmo deslocamento linear. Já com relação ao movimento de rotação pura, as partes de um corpo irão descrever trajetórias circulares, centradas em um eixo de rotação. Para ilustrar esse exemplo, podemos citar as hélices de um ventilador que executam um movimento circular (rotação), como mostrado na Figura 5.

¹² Disponível em: < <https://www.kuadro.com.br/posts/cinemática-do-movimento-circular/> > acesso em 24/09/2018.

Figura 5: Esquema mostrando a velocidade das pás do ventilador associada ao movimento de rotação. Modificado pelo autor.



Fonte: Disponível em¹³:

Cabe destacar que neste caso todos elementos, seja pá ou eixo, terão a mesma velocidade angular (ω) e que a velocidade linear (translacional) do eixo do ventilador (sem a função de oscilação) será nula, porém quanto mais afastado do eixo uma partícula estiver maior será a velocidade linear, que é sempre tangente à trajetória realizada, como mostra a equação abaixo.

$$v = \omega R$$

Quando falamos de movimento **linear de translação**, analisamos objetos no qual todas as partículas que os compõe desenvolvem trajetórias paralelas e apresentando a mesma velocidade. Neste caso, podemos simplificar esse problema trocando a análise do movimento das muitas partículas que compõe o objeto, pela análise do comportamento de uma única partícula localizada no centro de massa do objeto. Considerando o caso onde a aceleração é constante e não nula, como é o caso do MRUV (movimento retilíneo uniformemente variado) ou o caso onde a aceleração é nula, MRU (movimento retilíneo uniforme), podemos determinar o comportamento das grandezas Física em um momento futuro por meio das equações da cinemática. Podemos tomar como exemplo de movimento de translação, o movimento de sobe e desce do elevador.

O movimento de rotação é bastante comum em nosso cotidiano. Hoje sabemos que o nosso planeta - a Terra - está em rotação em torno de um eixo imaginário que passa pelos polos geográficos. A consequência disso é uma sucessão de dias intercalados com noites. Outro movimento que a Terra executa é o de movimento chamado de translação – responsável pela sucessão dos anos – caracterizado pela

¹³ Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/movimentos-translacao-rotacao.htm>>- acesso em 24/09/2018.

rotação em torno do sol, realizando uma trajetória aproximadamente circular. Neste cenário podemos citar muitos exemplos de movimento de rotação, como é o caso das rodas do carro, de uma porta, da patinadora no gelo, dos ponteiros de um relógio, e alguns compostos por uma associação de movimentos como é o caso do movimento do peão que rotaciona e precessiona¹⁴ em torno de um eixo. No caso do movimento das portas, as dobradiças são quem permitem o movimento de rotação da porta em torno do batente da porta. Veremos mais à frente que para fazermos uma porta girar devemos aplicar uma força sobre ela, e que é mais fácil abrir a porta empurrando-a cada vez mais longe das dobradiças. Isso se deve ao comportamento do torque (τ), que aumenta com a distância R , entre o eixo de rotação e o ponto onde a força é aplicada.

Nesse contexto, podemos destacar também o movimento de rodopio de uma patinadora no gelo, que consegue aumentar sua velocidade de rotação com o simples fato de fechar os braços, conforme ilustra a Figura 6. Isso se deve ao comportamento de uma grandeza Física chamada de momento de inércia (I), caracterizado pela dificuldade de colocar um corpo em rotação, que diminui com o fechamento dos braços, fazendo com que a velocidade angular aumente, de modo a manter sempre o mesmo momento angular (L). A relação entre o momento angular, o momento de inércia e a velocidade angular pode ser observado na Tabela 2.

Figura 6: Imagem mostrando o rodopio da patinadora. Em (a) a patinadora apresenta velocidade angular baixa e em (b) velocidade angular alta.



Fonte: Disponível em¹⁵:

¹⁴ O Movimento de precessão é caracterizado pela oscilação que o peão realiza em torno do eixo, normalmente um pouco antes de parar de girar.

¹⁵ Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=bailarina+no+gelo,+inércia&tbm=>>-acesso em 24/09/2018.

De acordo com GREF(2001), uma outra situação que merece atenção é dada pelo exemplo de duas pessoas sentadas em cadeiras giratórias. Quando as duas pessoas retiraram os pés do chão e uma empurra a outra, inicia-se o movimento de rotação, no qual as duas pessoas terão sentidos opostos de rotação, conforme mostra a Figura 7.

Figura7: Esquema mostrando as duas pessoas sentadas iniciando o movimento de rotação em cadeiras giratórias



Fonte: GREF. **Física 1 mecânica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. p. 69-69.

A partir das características do movimento descrito na Figura 6, podemos analisar o fenômeno da conservação do momento angular, que nunca tende a se alterar a menos que um torque externo for aplicado. Caso as duas pessoas de mesma massa e altura, estiverem sentadas da mesma maneira, em cadeira iguais, a implicação direta do princípio de conservação do momento angular indica que após iniciado o movimento, a mesma velocidade angular em módulo será verificada para as duas pessoas. Caso contrário, se existir diferença entre as massas das duas pessoas, a pessoa mais gordinha apresentará velocidade angular mais baixa em função do aumento do momento de inércia. A mesma ideia de conservação do momento angular também pode ser aplicada ao funcionamento do helicóptero, que sempre precisará de dois rotores para balancear o seu movimento.

A seguir apresentamos alguns exemplos relacionados ao conteúdo apresentado.

Exemplo 1: Cálculo da velocidade angular da Terra em torno do seu eixo¹⁶. A Terra completa uma revolução a cada 23h e 56 min. Qual é o módulo da sua velocidade angular em rad/s?

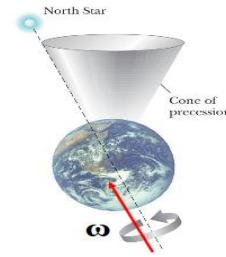
$$23 \text{ h} \times 3600 \text{ segundos/h} = 82800 \text{ s}$$

$$56 \text{ min} \times 60 \text{ segundos/min} = 3360 \text{ s}$$

$$T = 82800 + 3360 = 86160 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{T} = \frac{6,28 \text{ rad}}{86160 \text{ s}} = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$$

A sua direção aponta para o norte ao longo do eixo de rotação.



Exemplo 2 (modificado pelo autor)¹⁷: Um volante circular como raio 0,4 metros gira, partindo do repouso, com aceleração angular igual a 2 rad/s².

(a) Qual será a sua velocidade angular depois de 10 segundos?

(b) Qual será o ângulo descrito neste tempo?

(a) *Pela função horária da velocidade angular:*

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0 + \alpha \cdot t & \omega &= 0 + 2 \cdot 10 \\ & & \omega &= 20 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

(b) *Pela função horária do deslocamento angular:*

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 & \varphi &= 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^2 \\ & & \varphi &= 100 \text{ rad} \end{aligned}$$

Exercícios propostos:

1) Um disco gira em torno do seu eixo, partindo do repouso com aceleração constante de 15 rad/s². Nessas condições, qual será a velocidade angular apresentada pelo disco no instante t = 7 s? Resposta: 105 rad/s



¹⁶ Disponível em: <<http://midia.cmais.com.br/assets/file/original/2a15766f16c8b7e9c35732253c4e26296aa62628.pdf>>-acesso em 11/10/2018.

¹⁷ Disponível em: <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/Cinematica/mc2.php>>-acesso em 11/10/2018.

2) Um disco, inicialmente girando com uma velocidade angular de 120 rad/s , é freado com uma aceleração angular constante de módulo igual a 4 rad/s^2 .¹⁸

(a) Quanto tempo este disco leva para parar?

(b) Qual o deslocamento angular deste disco durante este tempo?

Resposta: a) 30s, b) $1,8 \cdot 10^3 \text{ rad}$

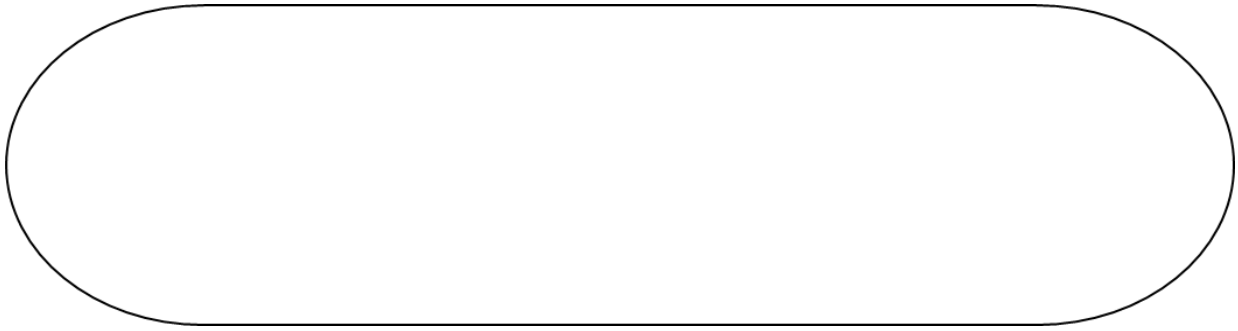
3) Um tambor gira em torno do seu eixo central e bruscamente é freado sofrendo uma desaceleração angular de $4,2 \text{ rad/s}^2$.

a) Qual é a sua velocidade angular, sabendo que ele demorou 3s para parar?

b) Qual é o deslocamento angular do tambor até parar?

Resposta: a) $12,6 \text{ rad/s}$, b) $18,9 \text{ rad}$.

¹⁸ Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6741>> - acesso em 11/10/2018.



Tópico 2: Momento de Inércia e Torque.

Duração desse tópico: proposta de 3 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais tempo.

Expressaremos aqui duas grandezas fundamentais para o estudo e compreensão mais ampla do movimento circular. O momento de inércia e o torque que são importantes grandezas para o entendimento da dinâmica das rotações presente em nosso estudo.

De acordo com TIPLER, MOSCA(2006), o momento de inércia é uma medida de resistência inercial de um objeto que sofre movimento rotacional em torno de um eixo. Ele é uma medida rotacional análoga à massa. O momento de inércia em torno de um eixo depende da distribuição relativa da massa do objeto em relação ao eixo. Entende-se que quanto mais distante a massa estiver do eixo, maior será a contribuição ao momento de inércia em relação a esse eixo. Vale lembrar que o momento de inércia dependerá da localização do eixo de rotação e da massa do objeto.

Imaginemos agora um corpo, girando no espaço sem que o seu centro de massa se desloque. Dessa forma, se dividirmos o corpo em pequenas partes de massa m_i , cada uma dessas partes, exceto aquelas presente no eixo de rotação estarão em movimento, apresentando trajetórias circulares. Para movimentos translacionais, no qual o centro de massa possui velocidade não nula – não sendo este caso - podemos associar uma energia cinética ao corpo da seguinte maneira:

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

Entretanto, para o nosso caso, contribuição do centro de massa ao movimento é nula e a energia cinética assumira um valor zero, não acrescentando em nada no que se refere ao movimento. Neste caso, devemos somar a contribuição da energia cinética de cada uma das pequenas partes m_i que compõe o corpo rígido.

$$K = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} m_3 v_3^2 \dots + \frac{1}{2} m_4 v_4^2 \quad (2)$$

Como se observa, o corpo apresenta uma energia cinética diferente de zero associada ao movimento circular, mesmo que o seu centro de massa esteja em repouso. A princípio como a velocidade (v) não é igual para todas as partículas, e sendo assim, substituiremos este valor através da equação (3), já que todas as partículas apresentam a mesma velocidade angular.

$$v = \omega r \quad (3)$$

Portanto a energia cinética se configura como:

$$K = \sum \frac{1}{2} m_i (\omega r_i)^2 = \sum \frac{1}{2} (m_i r_i^2) \omega^2 \quad (4)$$

Importante elencar que o momento de inércia obtido a partir da equação (4), apresenta como uma grandeza Física essencial para a compreensão do estudo do movimento. A equação (5) apresenta a dependência da massa com a distância do eixo de rotação do momento de inércia de um sistema de partículas que também pode ser usado no tratamento de um corpo rígido dividido em pequenas partes, cada uma com massa m_i .

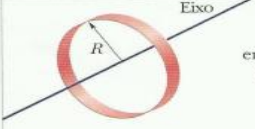
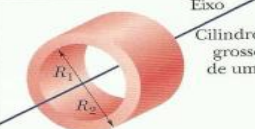

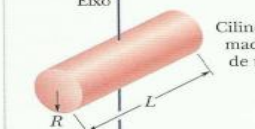





$$I = \sum m_i r_i^2 \text{ (definição momento de inércia)} \quad (5)$$

Neste caso a energia cinética de rotação pode ser reescrita como:

$$K = \frac{I\omega^2}{2} \quad (6)$$

Alguns momentos de inércia aparecem descritos no Quadro 1 que segue:

Quadro 1: Aplicação das equações do momento de inércia para diferentes geometrias

| | | |
|---|--|---|
|  <p>Anel fino em torno de um eixo central</p> <p>$I = MR^2$</p> <p>(a)</p> |  <p>Cilindro oco (ou anel grosso) em torno de um eixo central</p> <p>$I = \frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$</p> <p>(b)</p> |  <p>Cilindro maciço em torno de um eixo central</p> <p>$I = \frac{1}{2}MR^2$</p> |
|  <p>Cilindro (ou disco) maciço em torno de um diâmetro central</p> <p>$I = \frac{1}{4}MR^2 + \frac{1}{12}ML^2$</p> <p>(d)</p> |  <p>Barra fina em torno de um eixo central perpendicular à maior dimensão</p> <p>$I = \frac{1}{12}ML^2$</p> <p>(e)</p> |  <p>Cilindro maciço em torno de um eixo central</p> <p>$I = \frac{2}{5}MR^2$</p> |
|  <p>Casca esférica fina em torno de um diâmetro</p> <p>$I = \frac{2}{3}MR^2$</p> <p>(g)</p> |  <p>Anel fino em torno de um diâmetro</p> <p>$I = \frac{1}{2}MR^2$</p> <p>(h)</p> |  <p>Cilindro maciço em torno de um eixo central</p> <p>$I = \frac{1}{12}M(a^2 + b^2)$</p> |

Teorema dos eixos paralelos.

De acordo com o quadro acima, em alguns objetos o eixo de rotação passa pelo centro de massa (CM) e em outros casos, o eixo é apenas paralelo ao eixo que passa pelo CM. Um modo prático de encontrar o CM de um objeto consiste em pendurar o corpo com um cordel e traçar a continuidade da linha vertical através do objeto. Repetindo esse procedimento para diferentes pontos do objeto, encontraremos um ponto no qual as linhas irão se cruzar, o qual define a posição do centro de massa do objeto.

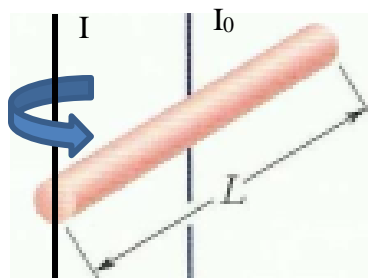
O teorema dos eixos paralelos permite calcular o momento de inércia de um corpo de massa M , quando o mesmo apresenta um eixo paralelo ao eixo que passa pelo CM, a partir do seu valor para o centro de massa. Para que isso ocorra basta sabermos a distância d entre os dois eixos.

Matematicamente, podemos equacionar o teorema dos eixos paralelos da seguinte forma:

$$I = I_0 + Md^2, \quad (1)$$

em que d é a distância entre os eixos e I_0 é o momento de inércia em relação ao CM. Um exemplo da aplicação desse teorema decorre do cálculo do momento de inércia de uma barra delgada com massa M e comprimento L que gira em torno de sua extremidade, de acordo com a Figura 8.

Figura 8: Barra delgada girando pela extremidade.



Fonte: TIPLER, P.A.; MOSCA, G, **Física**. 5. ed, v. 1, v. 2 e v.3, Rio de Janeiro: LTC, 2006.

Através de dados descritos no Quadro 1 temos que o momento de inércia da referida barra com relação ao CM é:

$$I = \frac{1}{12} ML^2 \quad (2)$$

Sabendo que a distância entre os dois eixos é, $d = \frac{L}{2}$, usando a fórmula do teorema dos eixos paralelos temos:

$$I = I_0 + Md^2$$

$$I = \frac{1}{12} ML^2 + M \left(\frac{L}{2} \right)^2$$

$$I = \frac{ML^2}{12} + \frac{ML^2}{4}$$

$$I = \frac{ML^2}{3} \quad (3)$$

Pela análise da equação (3), podemos notar que a barra delgada que gira pelo eixo de rotação fixo na extremidade apresenta momento de inércia quatro vezes maior que no caso onde o eixo de rotação passa pelo CM. Isso se deve à distribuição de massa, que quanto mais longe do eixo de rotação, maior será o momento de inércia.

Torque ou momento de uma força

Sabemos que quando uma força resultante diferente de zero é aplicada no centro de massa de um corpo, ele começa a acelerar, ou seja, ganha ou perde velocidade. Podemos tomar como exemplo uma caixa, inicialmente em repouso ($v=0$), e nela aplica-se uma força de 10N. Essa começará a acelerar, desde que a força de atrito seja menor que 10 N, ganhando velocidade.

De uma maneira geral, se queremos que um corpo comece a rotacionar, basta aplicar uma força cuja linha de ação não passe pelo CM do corpo. No entanto, para o caso de uma porta que já possui um eixo de rotação determinado pelas posições das dobradiças, alguns cuidados com o formalismo vetorial devem ser tomados:

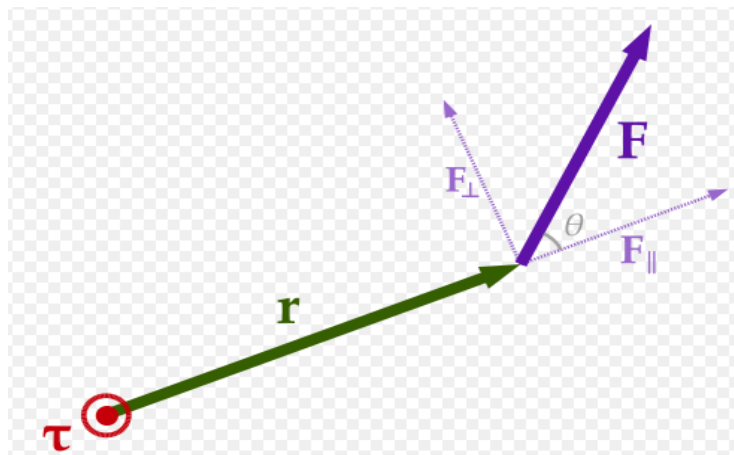
- Caso a força seja aplicada sobre o eixo de rotação (dobradiças), não haverá rotação da porta.
- Caso a força seja aplicada paralelamente ao eixo de rotação, não haverá rotação da porta.

- Para que o processo de abrir ou fechar a porta seja conduzido com o menor esforço possível, será necessário que a força seja aplicada perpendicularmente à porta, o mais distante possível do eixo de rotação.

Neste contexto, o torque (para os físicos) ou o momento de uma força (para os engenheiros), define a grandeza Física responsável pela determinação da capacidade de gerar movimento de rotação. O torque, aplicado ao movimento de rotação, apresenta significado físico análogo ao da força para o movimento de translação.

Para calcular o módulo desse torque, precisamos de dois fatores imprescindíveis que são: a força em Newtons (N) e o braço da alavanca, dado em metros no SI. O torque representado pela letra grega tau, τ , é medido em Newton x metro (Nm) no SI, que corresponde a mesma dimensão de energia, porém a unidade de energia é o joule e é simbolizada por J, no SI. O torque é obtido pelo produto vetorial entre a força, F , e o braço da alavanca, r , definido pela a distância do eixo de rotação até o ponto de aplicação da força conforme mostrado pela Figura 9.

Figura 9: Esquema mostrando a barra fixa.



Fonte: Disponível em¹⁹:

Matematicamente podemos equacionar o torque de modo a obter um vetor, por meio do produto vetorial equação (1), ou o seu módulo, por meio de uma multiplicação direta equação (2),

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

$$\tau = rF \sin \theta = rF_{\perp} \quad (2)$$

¹⁹ Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torque,_position,_and_force.svg>-acesso em 12/10/2018.

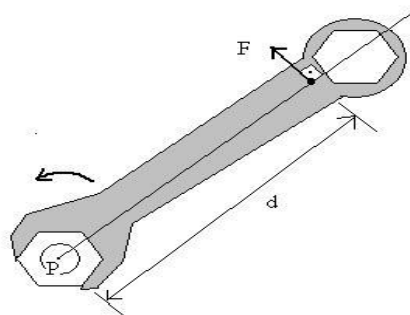
onde F_{\perp} determina a componente perpendicular à r da força F e θ define o ângulo entre os vetores F e r .

Objetivando facilitar a obtenção do torque, reduzindo os pré-requisitos matemáticos sobre o tema, sugerimos que seja utilizado ao longo material a forma escalar para determinar o torque, sabendo que sua direção é sempre perpendicular ao plano de rotação (plano que contém os vetores r e F), e usando a seguinte convenção para obtenção do seu sentido: rotações anti-horárias para o torque positivo e rotações horárias para o torque negativo.

Analisando a equação (2) fica evidente o motivo da maçaneta da porta das casas estarem mais distantes da dobradiça (eixo de rotação), pois quanto maior for a distância r , menor será a força necessária para gerar o mesmo torque para abri-la ou fechá-la.

Outro exemplo bem comum de otimização do torque é dado pelo aperto de um parafuso com uma chave de boca, como mostrado na Figura 10. Neste caso a força é aplicada na direção perpendicular ao cabo de uma chave ($\text{sen}90^{\circ} = 1$, maior valor possível para a função seno) na extremidade oposta ao parafuso (maior valor de d possível), fazendo com que ela passe a girar um parafuso em torno de um ponto fixo da maneira mais eficiente possível, ou sejam, necessitando da menor força do operador.

Figura 10: Representação de uma situação de aplicação de torque em uma chave de boca



Fonte: Disponível em²⁰:

Neste caso a equação do torque podem ser reescrita da seguinte maneira:

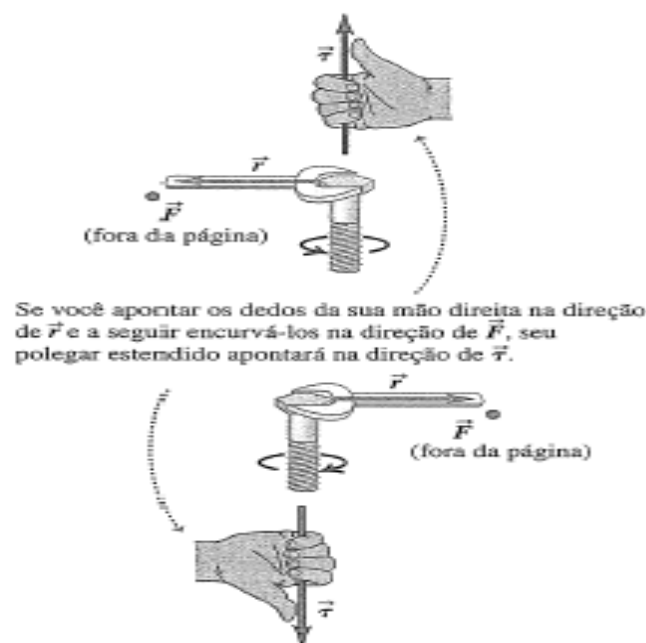
$$\tau = dF\text{sen}90^{\circ} = dF$$

²⁰Disponível em: < https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torque,_position,_and_force.svg >-acesso em 12/10/2018.

Uma forma prática para verificar a direção e o sentido do vetor torque pode ser obtida por meio da regra da mão direita. Conforme essa regra a direção do torque sempre será perpendicular ao plano definido pelos vetores r e F , que costumemente compõem o plano de rotação, e o sentido do torque é obtido pelo polegar da mão direita, quando ajustamos os dedos dessa mão no sentido de rotação do objeto, conforme mostrado na Figura 11.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \rightarrow \text{definição do vetor torque}$$

Figura 11: Esquema mostrando a direção e o sentido do vetor torque através da regra da mão direita.



Fonte: Disponível em²¹:

Outro enfoque mais aprofundado, sobre momento de Inércia, torque ou momento de uma força, é obtido através do simulador torque ou momento de uma força, apresentado a seguir.

²¹ Disponível em: < <https://www.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/.../Dinamica%20de%20Rotação.ppt> - acesso em 13/10/2018.

Figura 12: simulador para analisar torque ou momento de uma força.



Fonte: Disponível em²²:

Para finalizar, considerando as diferentes formas de cálculo do torque, apresentamos o experimento da determinação do atrito do rolamento. Para tanto será necessário os seguintes itens:

- 2 discos de aço com dimensões aproximadas de 150 mm de diâmetro e 15mm de espessura;
- 2 rolamentos com 25mm de raio externo, 12mm de raio interno e 4mm de espessura;
- 2 porcas e 2 arruelas;
- 1 eixo de aço com 150mm de largura e 11,5mm de diâmetro;
- 1 pedaço de MDF com 27cm de comprimento por 23cm de largura;
- 1 pedaço de MDF com 46cm de comprimento por 27cm de largura;
- 1 alavanca para travar os discos;
- 1 sensor;

O procedimento de montagem inicia-se parafusando ou colando o MDF menor de maneira perpendicular no MDF maior. Em seguida com auxílio de uma furadeira, faça uma abertura no centro da madeira menor para que seja fixado o eixo de aço para sustentar os discos. A ideia principal sobre o experimento é simples e consiste em fixar o horizontalmente o eixo de modo que os discos possam girar livremente. A posição entre os sensor e o disco deve ser ajustada de modo que as tarjas do disco

²² Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/momento-ou-torque-uma-forca.htm> >- acesso em 13/10/2018.

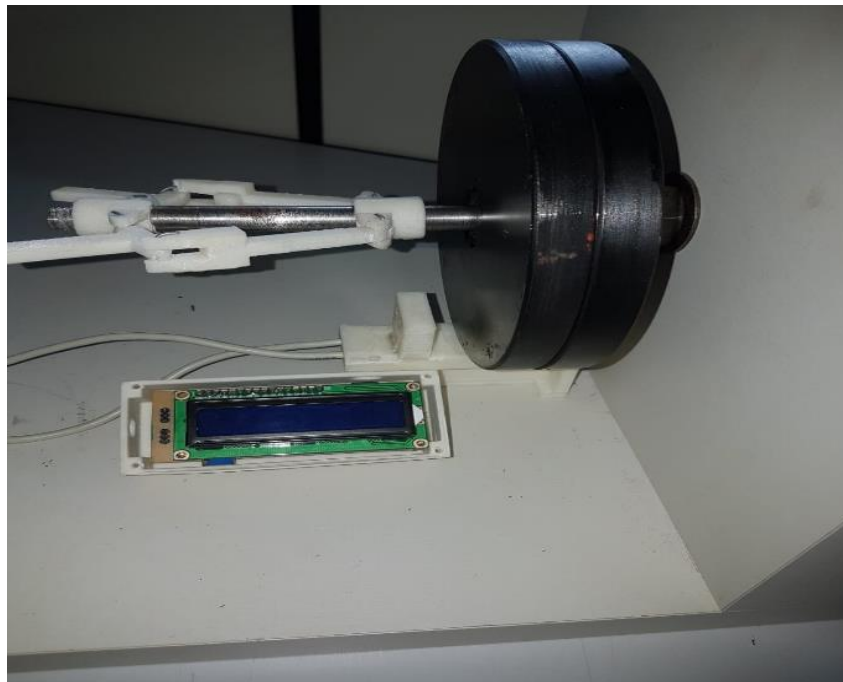
estejam alinhadas com o sensor, que estará preso no suporte de MDF. Abaixo as Figuras 13 e 14 mostram detalhes sobre a montagem do experimento.

Figura 13: (esquerda) Imagem das peças-fase inicial. (Direita) Imagem das peças. Início do processo de montagem



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 14: visão frontal do experimento.



Fonte: Autoria própria (2018).

Por meio da Figura 14 podemos visualizar mais detalhes sobre o experimento, que será composto por um eixo fixado em uma estrutura de madeira. Dois discos poderão ser acoplados por um mecanismo que permite o deslizamento sobre o eixo. Um sensor conectado a uma interface fará a leitura da velocidade angular de cada disco em pequenos intervalos de tempo. Esse processo consiste em determinar o número de tarjas que passam pelo sensor em um intervalo de tempo conhecido. Sabendo o tamanho de cada tarja no disco, podemos facilmente determinar a velocidade angular. Segue abaixo um exemplo para ilustra este caso.

Considere que o disco foi dividido em 100 marcações, e que é verificada uma contagem de $N = 8$ tarjas a cada intervalo de tempo $\Delta t = 2$ segundos. Nesta situação, o tamanho de cada tarja seja $(2\pi/100 \text{ rad})$ e a determinação da velocidade angular pode ser obtida da seguinte maneira:

$$\omega = \frac{N(\frac{2\pi}{100})}{\Delta t} = \frac{8(\frac{2\pi}{100})}{2} = 0,251 \text{ rad/s}$$

Assim como a força pode ser obtida considerando a variação temporal do momento linear, o torque pode ser calculado considerando a variação temporal do momento angular, conforme mostrado na equação abaixo:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (1)$$

Considerando a medida de ΔL em pequenos intervalos de tempo Δt , podemos simplificar a equação (1), de modo a obter aproximação do resultado pela equação (2).

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (2)$$

Com base nos conceitos apresentados no Tópico 1, podemos calcular o momento angular utilizando o momento de inercia de um disco, conforme segue abaixo,

$$L = I\omega = \left(\frac{1}{2}MR^2\right)\omega$$

onde M é a massa do disco, R é o raio do disco e ω é a velocidade angular.

Para calcular a força de atrito no rolamento precisamos retomar a equação (2) e utilizar a definição de torque relacionada a uma força. Neste caso temos:

$$\tau = rF = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$F_{at} = \frac{\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\Delta\omega}{r\Delta t} \quad (3)$$

Na equação (3), F_{at} é a força de atrito no rolamento, r define o raio do rolamento, $\Delta\omega$ é a variação da velocidade angular em um intervalo de tempo Δt .

Dessa forma, podemos finalizar a determinação da força de atrito do rolamento, promovendo um impulso inicial no disco e obtendo o intervalo de tempo de atualização das medidas do display do sensor (Δt), de aproximadamente 1 segundo, e a variação da velocidade angular ($\Delta\omega$) nesse intervalo de tempo.

Alguns exemplos práticos para um melhor entendimento do conteúdo²³.

1) Dois garotos brincam em uma gangorra de 10 m de comprimento que possui seu eixo de rotação exatamente em seu centro. Adotando a barra que compõe a gangorra como homogênea e sabendo que um garoto de 30 kg sentou-se na extremidade da direita, qual deverá ser a distância entre o segundo garoto e o eixo de rotação para que a gangorra mantenha-se em equilíbrio. Dados: massa do segundo garoto = 40 kg; aceleração da gravidade = 10 m/s².

Resolução: *Para que o equilíbrio seja possível, os torques gerados pelo peso de cada garoto deverão ser iguais. Sabendo que o peso é fruto do produto da massa pela aceleração da gravidade e que o torque é o produto da força pelo braço de alavanca (para o primeiro garoto $d = 5m$), podemos escrever que:*

²³ Disponível em: <w w w .infoescola.com>-acesso em 14/10/2018.

$$40 \cdot 10 \cdot X = 30 \cdot 10 \cdot 5$$

$$400 \cdot X = 1500$$

$$X = 3,75 \text{ m}$$

2) Por exemplo, ao fechar a porta de um carro, de 0,9 m de comprimento, nota-se que esta gira no sentido horário. Sabendo que a força aplicada perpendicular à porta é de 4 N, qual será o valor da intensidade do torque em relação à dobradiça da porta?

Sabemos que o torque, quando o movimento é no sentido horário, é dado por:

$$\tau = - F \cdot d$$

assim:

$$\tau = - 4 \cdot 0,9$$

portanto:

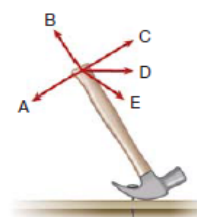
$$\tau = - 3,6 \text{ N.m}$$

Podemos concluir que o torque é inversamente proporcional à distância d em relação ao ponto de rotação. Devido a esse fato é que se coloca a maçaneta das portas na extremidade oposta ao ponto de rotação.

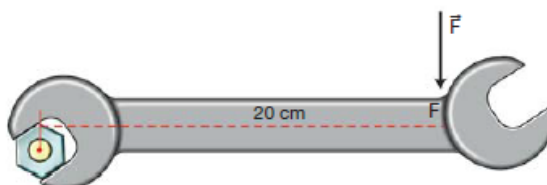
Exercícios propostos (1, 2, 3, 4)²⁴

1) (MACK-SP) Querendo-se arrancar um prego com um martelo, conforme mostra a figura, qual das forças indicadas (todas elas de mesma intensidade) será mais eficiente?

- a) A b) D c) B d) E e) C



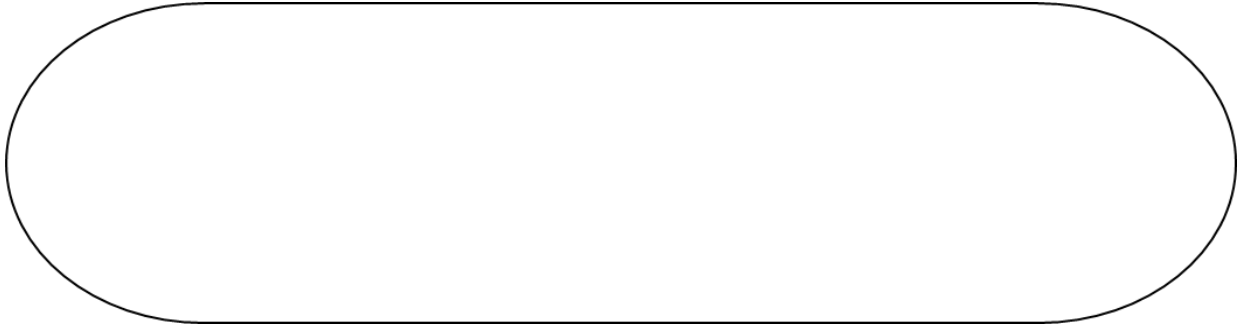
2)(UFMS) Segundo o manual da moto Honda CG125, o valor aconselhado do torque, para apertar a porca do eixo dianteiro sem danificá-lo é 60 N.m.



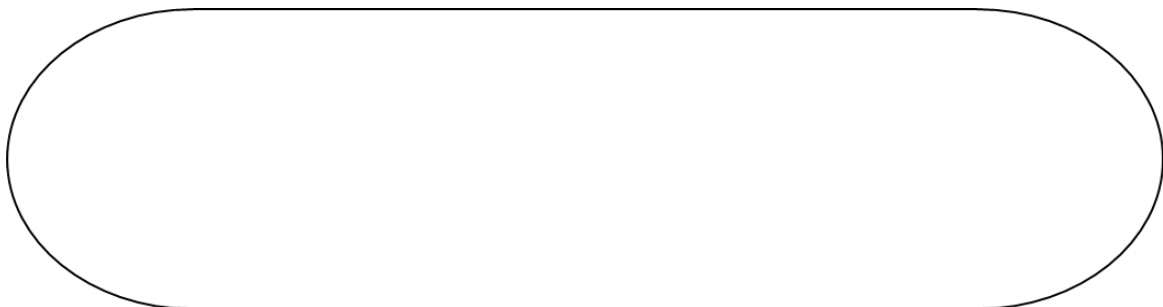
²⁴ Disponível em: < <https://alexfisica.w.ordpress.com/lista-de-exercicios> >-acesso em 14/10/2018.

Usando uma chave de boca semelhante à da figura, a força que produzirá esse torque é:

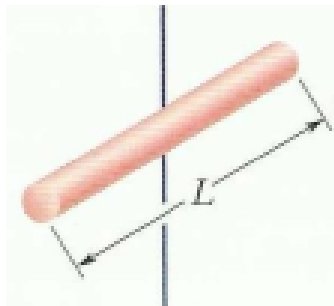
- a) 3,0 N b) 12,0 N d) 60,0 N e) 300,0 N c) 30,0 N



3) Ricardo quer remover o parafuso sextavado da roda do automóvel aplicando uma força vertical $F = 40 \text{ N}$ no ponto A da chave. Verifique se Ricardo conseguirá realizar essa tarefa, sabendo-se que é necessário um torque inicial de 22 Nm em relação ao eixo para desapertar o parafuso. Dados: $AC = 0,3 \text{ m}$ e $AD = 0,5 \text{ m}$.



4) Considerando o experimento anterior, usado para determinar a força de atrito em um rolamento, determine a equação da força de atrito quando o disco for substituído por uma barra delgada de comprimento L , centrada no eixo de rotação, conforme a figura abaixo.



Tópico 3: Momento Angular e a Conservação do Momento Angular.

Duração desse tópico: proposta de 3 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais horas-aula.

De acordo com alguns estudos como aponta TIPLER, MOSCA(2006), o momento angular é uma grandeza Física de grande importância, tanto na Física clássica como na quântica, pois o momento angular é responsável pela quantidade de movimento associado a um corpo que executa um movimento de rotação em torno de um eixo fixo.

Assim como o torque, define-se o momento angular a partir do produto vetorial de duas grandezas físicas, r , que determina a distância do eixo de rotação ou da origem do sistema até o ponto no qual será aplicado o momento linear p , conforme mostrado na equação (1).

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (1)$$

No sistema cartesiano de coordenadas, o momento angular assim como o torque podem ser obtidos a partir do determinante da matriz que relaciona a dupla de vetores do produto vetorial, conforme descrito na equação (2),

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \text{Det} \begin{pmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ p_x & p_y & p_z \end{pmatrix} \quad (2)$$

onde $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ são vetores unitários e servem para indicar as direções dos eixos x, y e z respectivamente. Dessa forma, poderemos reescrever a equação (2) de modo a obter a equação (3),

$$\vec{L} = L_x \hat{i} + L_y \hat{j} + L_z \hat{k} \quad (3)$$

onde:

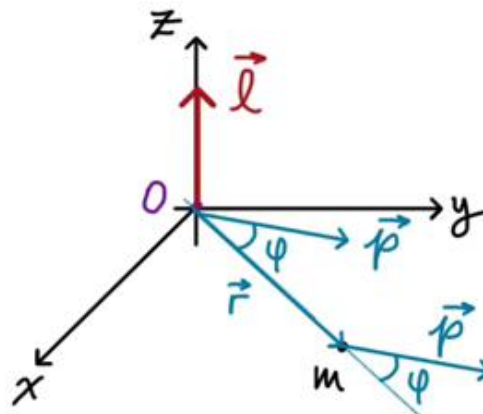
$$L_x = r_y p_z - p_y r_z$$

$$L_y = r_z p_x - p_z r_x$$

$$L_z = r_x p_y - p_x r_y$$

Na Figura 15 podemos notar como o vetor momento angular e suas projeções L_x, L_y e L_z são representadas no plano cartesiano.

Figura 15: Esquema do vetor momento angular com as suas projeções



Fonte: Disponível em²⁵:

É importante lembrar que a partir da definição de momento linear podemos reescrever a equação (2) de modo a obter a equação (4).

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = m \begin{pmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ v_x & v_y & v_z \end{pmatrix} \quad (4)$$

Uma outra forma de tratar os problemas envolvendo o momento angular – com um formalismo matemático mais acessível - é dada pelo uso da notação escalar dessa grandeza Física, e posterior atribuição da direção e do sentido por meio da regra da

²⁵ Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=iNunr4FyMvY> >-acesso em 14/10/2018.

mão direita, que pode ser utilizada para orientar qualquer vetor obtido a partir de um produto vetorial. Dessa forma, o módulo do momento angular pode ser calculado por meio da equação (5),

$$L = rpsen(\theta) \quad (5)$$

onde r define a distância da origem ou do eixo de rotação até o ponto no qual o momento linear p está aplicado e θ descreve o ângulo entre os vetores r e p . Para um ângulo de 90° , que é obtido sempre que o movimento for circular, podemos simplificar a equação, de modo a obter a equação (6).

$$L = mrv \quad (6)$$

Considerando uma partícula que apresenta distância fixas em relação ao eixo de rotação, usando a relação entre velocidade angular e linear, podemos reescrever a equação (6) obtendo a equação (7).

$$L = mr^2\omega \quad (7)$$

É importante notar que o termo mr^2 é definido pelo momento angular de uma partícula de massa m que gira a uma distância r do eixo de rotação. Dessa forma o momento angular pode ser reescrito como:

$$L = I\omega \quad (8)$$

Conforme citado no tópico anterior, não podemos deixar de destacar a relação existente entre o torque e o momento angular. Partindo da definição do torque,

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

usando a segunda Lei de Newton da forma mais geral possível, $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, temos:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Considerando a definição do momento angular e sua derivada, $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$, torna-se evidente a relação entre o torque e o momento angular conforme a equação (9).

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (9)$$

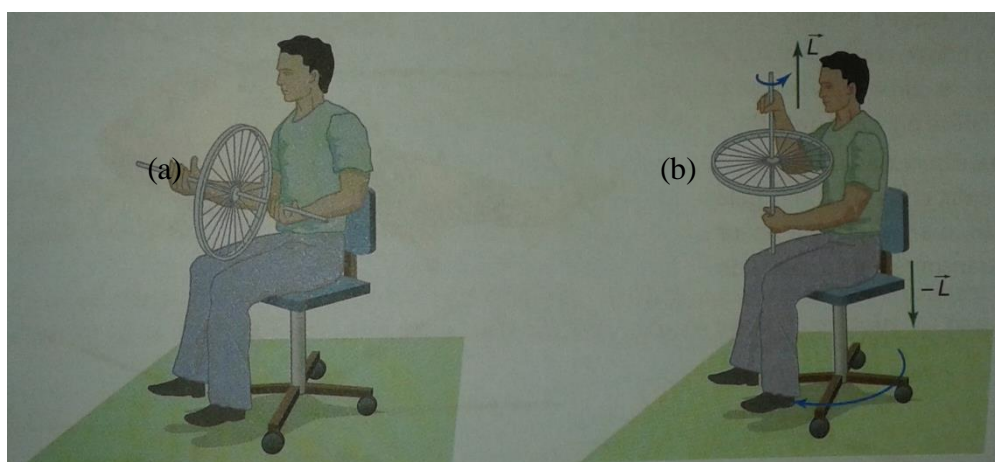
Considerando a variação do momento angular em pequenos intervalos de tempo – intervalos que tendem a zero - podemos simplificar o uso da derivada por uma simples razão conforme descrito a seguir.

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (10)$$

A partir da equação (10) podemos verificar uma das mais importantes leis de conservação da Física, a conservação do momento angular, segundo a qual a ausência de torques externos, garante que o sistema sempre apresentará momento angular constante, ou seja, não variará o seu valor com o tempo.

Como exemplo dessa aplicação, podemos considerar uma cadeira que pode girar em torno do seu eixo vertical, praticamente sem atrito. Nessas condições, o torque externo é nulo, e sendo assim, seu momento angular não varia com o tempo. Complementando essa situação, imaginamos uma pessoa que está sentada à mesma cadeira, inicialmente sem girar e sem encostar os pés no chão, segurando uma roda de bicicleta que gira em torno do seu eixo na horizontal (Figura a). A pessoa pode iniciar o movimento alinhando o eixo para a vertical (Figura b), pois nessa configuração a pessoa e cadeira passam a girar em sentido oposto ao da roda para que o momento angular na vertical permaneça nulo, igual ao da situação anterior.

Figura 16: Esquema mostrando a conservação do momento angular.



Fonte: Disponível em²⁶:

Outro exemplo de conservação de momento angular ocorre no movimento da patinadora no gelo, quando ela diminui o seu momento de inércia encolhendo os braços junto ao corpo (eixo de rotação) a velocidade angular aumenta. Imaginando que não haja torque nas pontas dos pés, fazendo com que aumente ou desacelere a rotação da patinadora, teremos que $L_1 = L_2$, ou seja, momento angular inicial quando

²⁶ Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=imagens+de+momento+angular>>-acesso em 14/10/2018.

os braços estiverem abertos (L_1) será igual ao momento angular final com os braços fechados (L_2). Portanto:

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2 \quad (11)$$

Considerando na igualdade a igualdade descrita pela equação (11) que I_1 é grande (braços abertos), e que I_2 é pequeno (braços fechados), isso implica que a velocidade angular 1 será pequena e que a velocidade angular 2 será grande, mantendo portanto o momento angular constante.

Por outro lado, a energia cinética de rotação, descrita pela equação (1) no Tópico 2, nem sempre será conservada. Para que a conservação da energia cinética ocorra, é necessário que durante o movimento não exista a ação de torques internos e externos ao sistema, o que ficará mais evidente ao tratarmos os próximos exemplos práticos.

Propostas de atividades:

Proposta 1: o acoplamento de discos.

Retomar o experimento de atrito do rolamento descrito no tópico anterior, porém neste caso, propondo o acoplamento de discos com velocidades angulares diferentes. Para tanto, os dois discos serão desacoplados e girados com velocidades angulares diferentes, e após o acoplamento, passarão a girar com a mesma velocidade. A velocidade angular será tomada imediatamente antes e após o acoplamento. Neste contexto a equação que descreve o momento angular antes (L_{1i} e L_{2i}) e depois (L_{1f} e L_{2f}) do acoplamento segue abaixo.

$$\begin{aligned} L_{1i} + L_{2i} &= L_{1f} + L_{2f} \\ I_1\omega_{1i} + I_2\omega_{2i} &= (I_1 + I_2)\omega_f \\ \omega_f &= \frac{I_1\omega_{1i} + I_2\omega_{2i}}{(I_1 + I_2)} \end{aligned} \quad (12)$$

Podemos a partir da equação (12) comparar os valores experimentais com a previsão teórica obtendo boa aproximação, indicando dessa forma a validade da conservação do momento angular.

Por outro lado, avaliando o cenário da a energia cinética, podemos propor um equacionamento similar. Neste caso.

$$\begin{aligned} K_{1i} + K_{2i} &= K_{1f} + K_{2f} \\ \frac{I_1\omega_{1i}^2}{2} + \frac{I_2\omega_{2i}^2}{2} &= \frac{(I_1 + I_2)\omega_f^2}{2} \end{aligned}$$

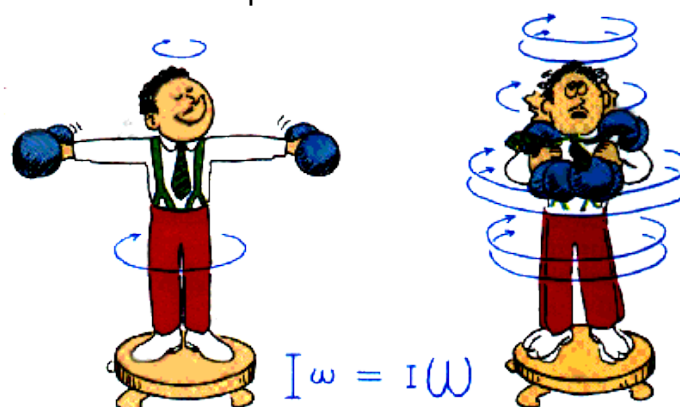
$$\omega_f = \sqrt{\frac{I_1 \omega_{1i}^2 + I_2 \omega_{2i}^2}{(I_1 + I_2)}} \quad (13)$$

Comparando o resultado da velocidade angular após o acoplamento da equação (13) com os valores experimentais obtidos, podemos facilmente notar que não haverá concordância entre os resultados, indicando que não haverá conservação da energia cinética de rotação neste caso. Isso ocorre em função da força de atrito (torque interno) que atua durante o acoplamento dissipando parte da energia cinética. Cabe destacar que a dissipação de energia durante o acoplamento não afeta a conservação do momento angular.

Proposta 2: a plataforma giratória.

A proposta desse experimento é avaliar qualitativamente a conservação do momento angular de maneira análoga ao da patinadora no gelo. Utilizando uma plataforma giratória conforme ilustrado na (Figura 17), dois pares de halteres com massas iguais, um aluno é posto a girar de pé em cima da plataforma segurando os alteres, ora com os braços abertos (I grande e ω pequeno), ora com os braços fechados (I pequeno e ω grande).

Figura 17: mostrando a idéia do experimento.



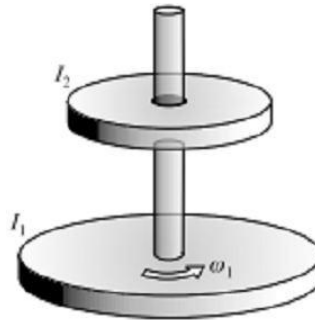
Fonte: Disponível em²⁷:

Exercícios resolvidos(1;2)²⁸

²⁷ Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=plataforma+giratória+momento+angular>>-acesso em 14/10/2018.

²⁸ Disponível em:< http://pmscon.com/Fisica1/lista-de-exercicios-3-Fisical_resolvidos.pdf>-acesso em 15/10/2018.

- 1) Um disco cujo momento de inércia vale $I_1 = 1,27 \text{ kg.m}^2$ gira com velocidade angular de $\omega_1 = 824 \text{ rev/min}$ em torno de um eixo vertical de momento de inércia desprezível.
- 2) Um segundo disco, de momento de inércia $I_2 = 4,85 \text{ kg.m}^2$, inicialmente em repouso $\omega_2 = 0$, é acoplado bruscamente ao mesmo eixo. Qual será a velocidade angular ω da combinação dos dois discos girando juntos com a mesma velocidade angular?

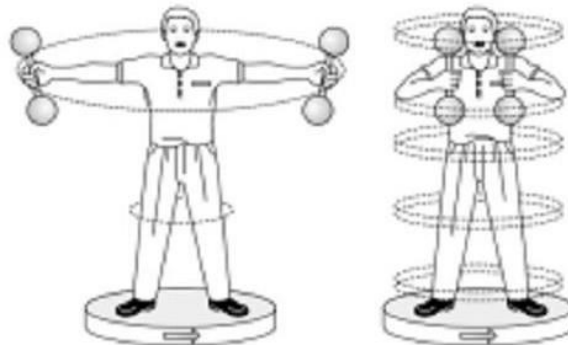


Solução: Como não existem torques externos sobre o sistema, o momento angular é conservado, e sendo assim obtemos que:

$$L_i = I_1\omega_1 + 0 = L_f = \omega(I_1 + I_2)$$

Portanto, a velocidade angular dos dois discos se movendo juntos corresponde a $\omega = 171 \text{ rpm} = 17,9 \text{ rad/s}$

- 2) Um homem está em pé sobre uma plataforma giratória, conforme a figura abaixo. Inicialmente, ele está com os seus braços abertos e gira com uma velocidade angular de $0,25 \text{ rps}$. Depois ele aproxima os braços do corpo e a velocidade angular passa a



ser de 0,80 rps . Encontre a razão entre os momentos de inércia do homem nas condições inicial e final.

Solução: Pela conservação do momento angular temos que:

$$L_i = L_f \rightarrow I_i \omega_i = I_f \omega_f$$

$$\frac{I_i}{I_f} = \frac{\omega_f}{\omega_i} = 3,2$$

3) É comum observarmos que em vários momentos, alguns caminhoneiros usam como apoio no momento da troca de um pneu uma barra de ferro acoplada à chave de rodas. Qual a finalidade dessa barra de ferro? **Esse exemplo retoma o conceito de torque estudado no tópico 2.**

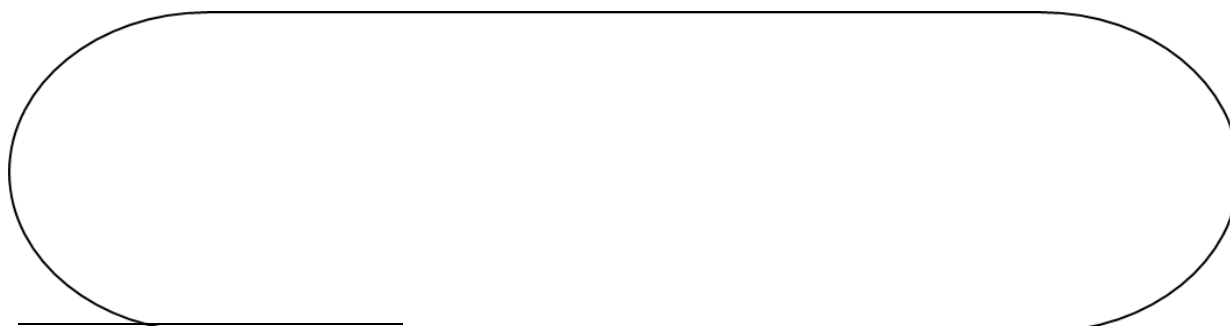
Solução: *No acoplamento da barra de ferro junto a chave de rodas, ele estará aumentando o braço da força, fazendo com que haja uma diminuição da intensidade da força para que produza o mesmo momento ou torque o suficiente para soltar o parafuso.*

4) O que acontece com o momento angular quando não houver torque externo em um sistema?

Solução: *Sempre que não houver torque externo em um sistema, o momento angular será constante.*

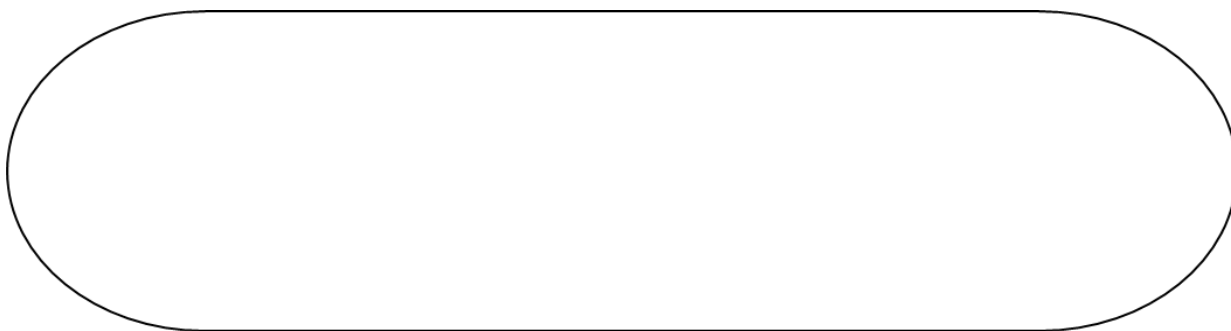
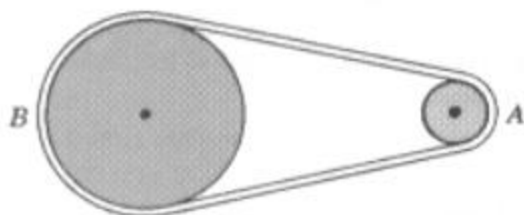
Atividades propostas(1;2;3)²⁹

1) Duas partículas de massa m e velocidade v deslocam-se, em sentido contrário, ao longo de duas retas paralelas separadas por uma distância d. Determine a expressão para o momento angular do sistema em relação a qualquer ponto.



²⁹ Disponível em: < <http://www.cce.ufes.br/anderson> >- acesso em 15/10/2018.

2) A imagem a seguir mostra duas rodas, A e B, ligadas por uma correia. O raio de B é três vezes maior do que o de A. Qual seria a razão dos momentos de inércia I_A/I_B se (a) ambas tivessem o mesmo momento angular e (b) ambas tivessem a mesma energia cinética de rotação? Suponha que a correia não escorregue.



3) Por que ao adquirir movimento, a tendência é que a bicicleta não caia?

Tópico 4: Considerações finais a respeito do questionário inicial.

Duração desse tópico: proposta de 1 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais horas-aula.

Esse tópico será destinado para a síntese de todos os conteúdos trabalhados. Um momento de trocas de conhecimentos, relatos de experiências adquirido ao longo das aulas, bem como aplicação de um questionário (que segue em anexo) trabalhado no início dos tópicos acrescido de algumas questões novas intrelassadas com o aprendizado

7. Prática Social Final

Considerando que os conceitos abordados neste plano de unidade são pouco trabalhados com os alunos de ensino médio, ao final de todas as atividades desenvolvidas e de suas discussões, esperamos que os alunos tenham compreendido que sistemas em rotação possuem uma quantidade de movimento angular que tende a se manter constante caso não existam forças externas realizando torque sobre o sistema e que os mesmos estão presentes em várias situações do cotidiano. Esperamos também que os mesmos sejam capazes de identificar que, devido ao atrito e a ação de outras forças externas, esses sistemas não giram para sempre, sendo necessário fazer o aporte de energia para mantê-los girando. No caso do conceito de momento de inércia, entendemos que os alunos possam realizar analogias entre o conceito de inércia, ou seja, a dificuldade de colocar um corpo em movimento. Assim sendo, acreditamos que de uma maneira geral, os alunos estejam familiarizados com fenômenos cotidianos que envolvem a conservação do momento angular, porém ainda não são capazes de correlacionar o conhecimento científico de maneira adequada nas explicações desses fenômenos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse trabalho, tivemos o intuito de elencar atividades que viessem a colaborar no processo de aprendizagem. Porém sabemos que o caminho ainda é muito vasto e transformar o ensino da Física em um modelo a ser seguido, é algo ainda um pouco distante da nossa realidade. Enquanto professores, promover discussões, criar situações onde o aluno possa ser inserido, interagindo com situações cotidianas é o primeiro passo para conseguirmos formar cidadãos críticos a interagir perante a sociedade. Entendemos que o modelo tradicional também teve e em muitas situações ainda possui o seu mérito, porém sabemos que a transmissão de informações e resoluções de exercícios onde o aluno se situa como mero ouvinte precisa ter um novo olhar. A nossa proposta de trabalho, levou em consideração essas diferentes vertentes, sem deixar escapar a busca pelo conhecimento, onde a aprendizagem não se encerra ao término da aula ou na abertura dos portões, mas que o aluno possa refletir que todos os dias, momento de sua vida é sempre um eterno aprendizado.

REFERÊNCIAS

ANJOS, A.T.dos, **Corpos Rígidos**. Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/corpos-rigidios.htm>>. Acesso em 27 de maio de 2018.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. 18. ed. São Paulo, Brasil: Saraiva, p. 19, 1998.

BRASIL. **Lei Nº 9394, de 20 de dezembro de 1996**. estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial da União. Brasília, seção 1, 1996.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais de Língua Portuguesa**. MEC. Brasília, 1997.

Currículo Básico para as escolas públicas do Paraná. **SEED**: Curitiba, 1992.

GASPAR, A. **Física Série Brasil**. Ensino Médio/Vol. Único, Ed. Ática, 2000.

GRAF. **Física 1 –Mecânica**. EDUSP, 7ª ed. 2001.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: mecânica**. Volume 1. 8ª ed. Editora LTC, 2009.

Hewitt, P.G, Física **Conceitual**, 9º ed. Bookman, 2002.

<http://efisica.if.usp.br/mecanica/basico/rotacoes/> acesso em 24/09/2018.

<http://midia.cmais.com.br/assets/file/original/pdf-acesso> em 11/10/2018.

http://pmoscon.com/Fisica1/lista-de-exercicios-3-Fisical_resolvidos.pdf-acesso em 15/10/2018.

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6741> - acesso em 11/10/2018.

<http://www.cce.ufes.br/anderson-acesso> em 15/10/2018.

<https://www.google.com.br/search?q=imagens+de+momento+angular>-acesso em 14/10/2018.

<https://www.google.com.br/search?q=plataforma+giratória+momento+angular> -acesso em 14/10/2018.

<https://alexfisica.wordpress.com/lista-de-exercicios>-acesso em 14/10/2018.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torque,_position,_and_force.svg-acesso em 12/10/2018.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torque,_position,_and_force.svg-acesso em 12/10/2018.

<https://def.fe.up.pt/dinamica/cinematica.html> - acesso em 11/10/2018.

<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/momento-ou-torque-uma-forca.htm>-acesso em 13/10/2018.

<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/movimentos-translacao-rotacao.htm>-acesso em 24/09/2018.

<https://www.google.com.br/search?q=bailarina+no+gelo,+inércia&tbm=>acesso em 24/09/2018.

<https://www.google.com.br/search?q=imagem+de+um+pneu+constando+as+vari%C3%A1veis+de>-acesso em 11/10/2018.

<https://www.infoescola.com>-acesso em 14/10/2018.

<https://www.kuadro.com.br/posts/cinematica-do-movimento-circular/> acesso em 24/09/2018.

<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/Cinematica/mc2.php>-acesso em 11/10/2018.

<https://www.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/.../Dinamica%20de%20Rota%C3%A7%C3%A3o.ppt>-acesso em 13/10/2018.

<https://www.youtube.com/watch?v=iNunr4FyMvY>-acesso em 14/10/2018.

JÚNIOR, S, S.J.da, **Cálculo do torque de uma chave de roda e Composição dos movimentos**. Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/calculando-torque-uma-chave-roda.htm>>. Acesso em 27 de maio de 2018.

MASSA, L. **Apoio do Curso de Física**. Disponível em <<http://br.geocities.com/galileon/>>, 2001. Acesso em 21 de maio de 2018.

SAVIANI, D. **Escola e Democracia**: teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre educação e política. Campinas: 33. ed. revisada: Autores Associados,p. 05 – 94, 1986.

TIPLER, P.A.; MOSCA.G., **Física**. 5.ed, v. 1, v. 2 e v.3, Rio de Janeiro: LTC, 2006.

APÊNDICE B: TERMO DE CONSENTIMENTO
TERMO DE
CONSENTIMENTO LIVRE E
ESCLARECIDO
UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “**UMA PROPOSTA PARA O TRABALHO COM O CONTEÚDO DE MOMENTO ANGULAR NO ENSINO MÉDIO**”, sob responsabilidade do pesquisador Claudinei Gomes de Oliveira, de seu orientador, Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling e de sua co-orientadora, prof. Dra. Natalia Neves Macedo Deimling.

O objetivo deste estudo consiste em elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático- pedagógica para o ensino do conteúdo de momento angular na disciplina de Física do ensino médio, o qual, apesar de sua relevância, tem sido pouco discutido atualmente com os estudantes em sala de aula. Você foi selecionado porque atende a todos o critério de seleção dos participantes da pesquisa, ou seja, é estudante da disciplina de Física e está regularmente matriculado no primeiro ano do ensino médio.

Sua participação não é obrigatória e a qualquer momento você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. A sua recusa na participação não trará nenhum prejuízo à sua relação com o pesquisador ou com a Unidade Escolar na qual você estuda.

Sua participação consistirá no acompanhamento, assiduidade e envolvimento nas atividades que serão desenvolvidas pelo próprio pesquisador em sala de aula, com estudantes do primeiro ano do ensino médio, sobre o tema de sua Dissertação de Mestrado, segundo objetivo explicitado acima.

A pesquisa será desenvolvida no Colégio Estadual Humberto de Alencar Castelo Branco, pertencente ao Núcleo Regional de Ensino de Assis Chateaubriant, em uma turma do primeiro ano regular do ensino médio, no âmbito da disciplina de Física. Essas atividades serão desenvolvidas somente com a autorização do(a) diretor(a) da Unidade Escolar.

Seu consentimento em participar não acarretará desconfortos, gastos financeiros ou riscos de ordem psicológica, física, moral, acadêmica ou de outra natureza. Sua participação, ao contrário, poderá trazer benefícios, pois você estará participando de uma pesquisa que busca proporcionar aos estudantes da educação básica a compreensão da relação entre os conteúdos científicos estudados na escola e a realidade social mais ampla em que se encontram inseridos, bem como a problematização dessa realidade, em suas diferentes dimensões. Ademais, visamos com este trabalho favorecer a ampliação dos conhecimentos culturais dos estudantes, a fim de que, munidos desses conhecimentos, eles possam utilizá-los como elementos ativos de transformação social.

Os dados da pesquisa serão coletados a partir do desenvolvimento das atividades teórico- experimentais que serão realizadas em sala de aula pelo próprio pesquisador e poderão ser gravadas em um aparelho de gravação de áudio. Todas as informações obtidas por meio dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação.

Os resultados serão utilizados para a conclusão da pesquisa acima citada. Os dados coletados durante o estudo serão analisados e apresentados sob a forma de relatórios e serão divulgados por meio de trabalhos apresentados em reuniões científicas, periódicos e da própria Dissertação de Mestrado.

Assinatura do Pesquisador

Eu, _____, declaro que entendi os objetivos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

Jesuítas, _____ de _____ de 2018.

Assinatura do Participante da Pesquisa

APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO INICIAL



Mestrado em ensino de Física

Questionário inicial para levantamento prévio dos alunos sobre o tema:
Momento angular e conservação do momento angular.

Aluno (a):.....

1) O que você entende por movimento de rotação? Justifique sua resposta.

2) Qual a diferença entre movimento de rotação e translação? Justifique sua resposta.

3) Qual o seu entendimento sobre energia cinética de rotação?

4) O que vocês entendem por momento de inércia. Cite alguma aplicação do cotidiano.

5) Por que uma patinadora no gelo quando está realizando seu giro, abre e fecha os braços em determinado momento?

APÊNDICE D: QUESTIONÁRIO FINAL



Mestrado em ensino de Física

Questionário final após a intervenção do produto educacional sobre Momento angular e conservação do momento angular.

Aluno(a):.....

1) O que você entende por movimento de rotação? Justifique sua resposta.

2) Qual a diferença entre movimento de rotação e translação? Justifique sua resposta.

3) Qual o seu entendimento sobre energia cinética de rotação?

4) O que vocês entendem por momento de inércia. Cite alguma aplicação do cotidiano.

5) Por que uma patinadora no gelo quando está realizando seu giro, abre e fecha os braços em determinado momento?

6) Qual o seu entendimento por torque e onde ele está presente no dia a dia?

7) Em que situações do cotidiano temos Momento Angular e Conservação do Momento Angular?
