



ARLETE MOREIRA DOS SANTOS

**ENTENDENDO A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA POR MEIO DA
MONTANHA RUSSA**

Maringá – PR
FEVEREIRO/2020



ENTENDENDO A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA POR MEIO DA MONTANHA RUSSA

ARLETE MOREIRA DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Pólo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Breno Ferraz de Oliveira

Maringá – PR
FEVEREIRO/2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S237e

Santos, Arlete Moreira dos

Entendendo a conservação de energia mecânica por meio da montanha russa / Arlete Moreira dos Santos. -- Maringá, PR, 2020.
xi, 87 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2020.

1. Física - Ensino e aprendizagem - Ensino médio. 2. Conservação de energia mecânica. 3. *Looping* artesanal. 4. Física - Aprendizagem significativa. I. Oliveira, Breno Ferraz de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). III. Título.

CDD 23.ed. 507

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

ENTENDENDO A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA POR MEIO DA MONTANHA RUSSA

ARLETE MOREIRA DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira DFI/UEM

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
DFI/UEM

Profa. Dra. Roseli Constantino Schwerz
UTFPR- Campo Mourão

Maringá – PR
FEVEREIRO/2020

Epígrafe

Cada ser humano possui uma beleza física e psíquica original e particular. Aprenda diariamente a ter um caso de amor com a pessoa bela que você é, desenvolva um romance com a sua própria história. Não se compare a ninguém, pois cada um de nós é um personagem único no teatro da vida.

Augusto Cury

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, que ficou ao meu lado desde o início da minha formação acadêmica até o presente momento sempre acreditando e me apoiando.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Breno Ferraz de Oliveira pela orientação no desenvolvimento desse trabalho, seus conselhos e apoio no decorrer deste período e por compartilhar seu conhecimento, pela ajuda que sempre me prestou em meus momentos de insegurança.

Agradeço a prof^a. Hatsumi Mukai pelo trabalho prestado, por todo esforço para conosco, e por sempre nos atender prontamente.

Agradeço a Universidade Estadual de Maringá, pois foi onde eu pude fazer a minha graduação em física e onde estou tendo a oportunidade de realizar o mestrado.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) que oportunizou a oferta deste Mestrado na UEM – Universidade Estadual de Maringá (Pólo 20).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao professor Marco Antonio Moreira, coordenador geral do MNPEF até o ano de 2019, por lutar para que o programa atinja várias outras cidades e estados, para que possamos nos aperfeiçoar em nossa profissão.

Agradeço a todos os professores do programa MNPEF, em especial: Dr. Breno Ferraz de Oliveira, Dra. Hatsumi Mukai, Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, Dr. Luciano Gonsalves Costa, Dr. Ronaldo Celso Viscovini, Dr. Mauricio A. Custódio de Melo, Dra. Shalimar Calegari Zanatta e Dr. Jusmar Valentim Bellini, pelas aulas ministradas, pelos conselhos e por nos proporcionar o conhecimento e também momentos de descontração.

Agradeço aos meus colegas que ingressaram junto comigo nesse sonho, por toda ajuda que deram nos momentos em que mais precisei, pelos bons momentos. Aos meus queridos amigos Felipe Nitsche e Pedro Paulo de Brito por sua compreensão e apoio compartilhados durante esses anos.

Agradeço a minha irmã Angélica e ao meu sobrinho Luiz Fernando, por todo apoio e carinho e paciência que tiveram comigo e me acompanhando tantas vezes trazendo para a UEM no período em que eu estive operada do joelho, e em todos os momentos em que ficaram comigo e me ajudaram, e agradeço ao meu eterno amor Gilberto Sergio Varoto, por nunca desistir de mim.

E por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a minha família pelo apoio contínuo, em especial a minha mãe e ao meu pai que sempre acreditaram em mim e me ajudaram em cada uma das minhas batalhas.

Muito obrigada!

RESUMO

ENTENDENDO A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA POR MEIO DA MONTANHA RUSSA

Arlete Moreira dos santos

Orientador: Prof. Breno Ferraz de Oliveira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Pólo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O sistema de educação vem sendo modificado com o objetivo de melhorar a qualidade de ensino nas escolas, e desta forma surge à necessidade de conhecer diversas abordagens metodológicas, utilizando a que melhor se encaixa ao público alvo. Com esse intuito essa dissertação tem como objetivo apresentar uma seqüência didática baseado no autor Antoni Zabala, em que faz parte um produto educacional que está vinculado ao MNPEF. E, em busca de contribuir nesta melhorado ensino de Física, proporcionando uma aprendizagem significativa na qual o processo de ensino e aprendizagem pode proporcionar ao aluno, este trabalho tem como tema principal a conservação de energia mecânica, utilizando como conceito prévio a montanha russa, fundamentado na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. Para tal foi confeccionado um *looping* totalmente artesanal, feito com junta de dilatação de PVC e madeira como estrutura. O resultado desta construção foi bastante motivador tanto para a docente, quanto para os alunos. O público alvo foram alunos do ensino público da primeira série do Colégio Estadual Basílio Itibere – Ensino Médio e Fundamental do município de Maringá – PR.

Palavras chave: conservação de energia mecânica, *looping* artesanal, aprendizagem significativa

Maringá - PR
FEVEREIRO, 2020

ABSTRACT

UNDERSTANDING MECHANICAL ENERGY CONSERVATION THROUGH ROLLER COASTER

Arlete Moreira dos santos

Supervisor

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Pólo UEM (MNPEF/UEM), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The education system has been modified with the aim of improving the quality of teaching in schools, and thus there is a need to know several methodological approaches, using the one that best fits the target audience. To this end, this dissertation aims to present a didactic sequence based on the author Antoni Zabala, which includes an educational product that is linked to MNPEF. And, in search of contributing to this improvement in the teaching of Physics, providing meaningful learning in which the teaching and learning process can provide the student, this work has as main theme the conservation of mechanical energy, using the roller coaster as a previous concept, based on David Ausubel's theory of meaningful learning. For this purpose, a completely handmade looping made with PVC expansion joint and wood as a structure. The result of this construction was very motivating for both the teacher and the students. The target audience was public school students from the first grade of the Colégio Estadual Basílio Itibere - High School and Elementary School in the city of Maringá - PR.

Keywords: conservation of mechanical energy, handmade looping, meaningful learning

Maringá

February, 2020

LISTA DE ABREVIATURAS

TAS – Teorias de Aprendizagem significativa

EJA- Educação de Jovens e Adultos

SD- Sequência Didática

OP- Organizador Prévio

PE- Produto Educacional

MNPEF- Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
1.1 O que é energia	4
1.1.2 Energia Cinética	5
1.1.3 Energia Potencial.....	9
1.1.4 Conservação da Energia Mecânica	11
1.1.5 Energia de Rotação.....	19
1.1.6 Posição Angular	19
1.1.7 Deslocamento Angular	19
1.1.8 Velocidade angular	20
1.1.9 Energia Cinética de Rotação	21
1.1.10 Cálculo do momento de inércia	22
1.1.11 Teorema dos eixos paralelos	22
1.1.12 Torque	22
1.1.13 Rolamento com rotação pura	24
1.1.14 O rolamento combinação de rotação com translação	25
1.1.15 Energia Cinética de Rolamento.....	26
1.2 Sequência didática	29
1.2.1 Teorias da aprendizagem – David Ausubel.....	30
1.2.2 Tipos de aprendizagem	31
1.2.3 Aprendizagem significativa e subsunçores.....	32
1.2.4 Condições para a aprendizagem significativa.....	33
1.2.5 Tipos de aprendizagem significativa.....	34
1.2.6 Assimilação.....	35
1.2.7 Diferenciação Progressiva e Reconciliação integrativa.....	35
PRODUTO EDUCACIONAL E APLICAÇÃO	37
2.1 Produto Educacional	38
2.1.1 Desenvolvimento do Produto.....	38
APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	43
3.1 Aula 1 – Introdução a conservação da energia mecânica	45
3.2 Aula 2 – Aplicação do produto	46
3.3 Aplicação do Produto Educacional.....	48
3.4 Público Alvo	48
3.5 Análise dos resultados	49
3.6 Análise dos questionários – Pré-teste e Pós-teste.....	49
RELATO DE EXPERIÊNCIA	57
CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO A	60
APÊNDICE – PRODUTO EDUCACIONAL	62

INTRODUÇÃO

Sou professora de Física, atuo em escolas do estado, minhas experiências são com alunos de EJA (Educação de Jovens e Adultos) e aluno do ensino médio regular. São duas realidades bem diferentes. Trabalhei com turmas de EJA, na qual tinha alunos jovens, meia idade e terceira idade.

A turma de EJA é um público no qual a realidade é diferente do ensino regular, pois são alunos que, por algum motivo, abandonaram os estudos, seja por vontade própria ou por outros motivos, cada qual com sua realidade. Mas o retorno desses alunos a escola é quase sempre o mesmo, voltam por motivo de trabalho.

No ensino regular nas escolas do estado, em específico, o motivo é outro. Em uma escola na qual eu lecionei no ano de 2016, em uma turma de terceiro ano, os alunos apresentavam pouco interesse na componente curricular. Em uma sala de 28 alunos, somente 4 desses prestaram vestibular. Os demais só queriam concluir o ensino médio. A falta de interesse desses alunos era tanta que os mesmos se julgavam incapazes de aprender. Creio que talvez essa turma fosse uma exceção, pois eles vinham de uma troca de professores e estavam sem uma base referencial.

Durante anos vêm-se estudando e falando sobre a educação no Brasil, nos quais são abordados temas como livros didáticos, métodos de aprendizagem, experimentação em sala de aula, condições favoráveis e não favoráveis para se ensinar, sobre a situação em sala de aula que professores vem enfrentando tal como: indisciplina, agressividade, desinteresse, abandono, e de que muitos alunos apresentam dificuldade para compreender e aprender e por esse motivo se apresenta desinteressado.

A Física é um dos componentes curriculares presentes na grade curricular do ensino médio, mas, infelizmente, vista pelos alunos como uma extensão da matemática. Talvez tenham essa impressão porque foram ensinados a copiar, memorizar e reproduzir. Eles aprendem de forma mecanizada, são instruídos e preparados para vestibulares. Logo, uma aprendizagem de forma mecânica acaba não sendo aprendida de forma adequada e, portanto, quando essa informação não lhes for mais útil acabarão por esquecer-las. Cabem a nós, professores, mostrar a eles que a Física não se trata de uma extensão da matemática.

Conforme citado por Bonjorno, a sua importância está no nosso dia a dia:

A Física é uma das ciências mais antigas, é responsável por grande parte do desenvolvimento científico alcançado pela humanidade. Ela tem aplicação praticamente em todos os campos da atividade humana, na medicina, nos transportes, nas comunicações, na indústria etc... (Bonjorno, 1999)

Não cabe somente ao professor o sucesso dessa empreitada. A carga horária dessas aulas é muito curta, tendo 45 a 50 minutos de aula com duas aulas semanais.

Creio que o maior desafio para o professor ensinar é em relação à atenção do aluno. Com esse intuito, construiu-se um *looping* com junta de dilatação de PVC e madeira, para ser utilizado como estratégia e, este trabalho, tem como proposta, apresentar uma sequência didática para abordar o conteúdo referente à Conservação da Energia Mecânica, por meio do uso do *looping*, utilizando como motivação o funcionamento da montanha russa. Essa proposta também está baseada na afirmação de Tipler, 2016: "A ciência é um processo de busca dos princípios fundamentais e universais que governam as causas e os efeitos no universo. O processo envolve hipótese, repetição de experiências e observação, e novas hipóteses".

O objetivo desse trabalho é avaliar a aprendizagem dos alunos mediante a aplicação do Produto Educacional, desenvolvendo juntamente com eles um caminho mais apropriado para obter uma aprendizagem significativa. Para isso, nossa base teórica estará fundamentada na teoria de David Paul Ausubel que afirma que:

[...] a teoria de aprendizagem significativa é aquela em que se baseia no que o aluno já sabe, ou seja, "o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já conhece. Descubra o que ele sabe e baseia-se nisso os seus ensinamentos" (Ausubel).

Essa dissertação está apresentada como segue: no Capítulo 1, é feita uma revisão teórica sobre os conceitos de energia potencial, energia cinética e conservação de energia mecânica. Bem como sobre a teoria de aprendizagem que sustentam a construção do produto. No Capítulo 2, o Produto Educacional e as atividades que foram desenvolvidas nas aulas, enquanto que no Capítulo 3,

apresentamos os resultados da aplicação do produto, relato de experiência, considerações finais, e as referências utilizadas citadas em ordem alfabética. Na sequência, está o anexo que consta do termo de liberação para aplicação do PE no colégio e, por último, o Apêndice com o Produto Educacional em separado para facilitar sua utilização.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo, apresenta-se uma revisão teórica com temas relacionada a Física envolvida no trabalho, o livro texto adotado foi dos autores David Halliday e Robert Resnick, 2012 Fundamentos de Física Básica - Mecânica.

1.1. O que é Energia?

Energia, em grego, significa “trabalho”. No dicionário, “capacidade que um corpo, uma substância ou um sistema físico têm de realizar trabalho”.

Energia é um número que associamos a um sistema de um ou mais objetos. Se a força afeta um dos objetos, fazendo-o, por exemplo, entrar em movimento, o número que descreve a energia do sistema varia. (Halliday, 2012, p.145).

O conceito de energia tem uma grande dimensão sendo assim fica difícil defini-lo, de maneira simplificada.

Inicialmente podemos considerar que o termo energia pode tomar diversos significados de acordo com o contexto em que estiver sendo empregado. É comum ouvirmos: “Nossa, fulano tem muita energia!”, “Esse alimento vai te dar muita energia!”, “Precisa de muita energia para levantar esse carro!”. Idéias como essas são comuns em nosso cotidiano. Mas, o caráter científico do termo energia deve ser evidenciado. (NITSCHE, 2019).

Partindo de uma definição como a apresentada, podemos descrever uma discussão mais holística da energia, não se limitando meramente ao campo da mecânica, ao apresentar o conceito de energia como sendo a capacidade de realizar trabalho, mas considerando também o campo da termodinâmica e os processos relacionados ao calor.

Consideramos algumas limitações nesse modelo de definição, visto que a “capacidade de produzir mudanças” é algo que se conserva, podendo apresentar diversas formas associada ao tipo de energia que existente no sistema, bem como suas transformações nas diferentes formas. No decorrer desse processo de transformações de energia, determina-se o princípio de conservação de energia, sendo que, a energia total em um sistema isolado permaneça constante. Logo, a

energia se conserva.

O físico do século XX Richard Feynman, apresentou a sua teoria sobre energia, afirmando que:

“Existe um fato, ou se você preferir, uma lei que governa todos os fenômenos naturais que são conhecidos até hoje. Não se conhece nenhuma exceção a essa lei – ela é exata até onde sabemos. A lei é chamada de conservação da energia. Nela enuncia-se que existe certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais a natureza passa.”... “Não é a descrição de um mecanismo ou algo concreto; é apenas um estranho fato de que podemos calcular algum número e, quando terminamos de observar a natureza fazer seus truques e calculamos o número novamente, ele é o mesmo. (Lições de Feynman, vol. 2 cap. 4)

Porém, filosoficamente falando: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma¹.

Existem diversas formas de energias: energia cinética que é associada ao movimento dos corpos; energia potencial, associada à altura dos corpos quando armazenada em um sistema. Mas é importante lembrar que a energia pode ser transformada em outro tipo de energia como, energia elétrica, energia química, energia térmica etc.

Focaremos neste trabalho somente nas energias relacionadas à Energia mecânica que são: a energia cinética e a energia potencial gravitacional.

1.1.2 Energia Cinética

A energia cinética E_C está associada ao movimento de um objeto. Quanto mais rápido ele se movimenta, maior é a sua energia cinética. Quando um objeto está parado (repouso) a sua energia cinética é nula.

Fato esse que pode ser visto utilizando a equação que representa a energia cinética: um objeto de massa m se movendo com uma velocidade v .

¹Antoine-Laurent Lavoisier foi um químico francês, considerado um dos pais da Química moderna. Ele enunciou a “Lei da Conservação das Massas” (Lei de Lavoisier) e foi um dos pioneiros nos estudos de Química, Fisiologia, Economia, Finanças, Agricultura Científica, Administração Pública e Educação. “Na natureza, a matéria não é criada e nem destruída, apenas sofre transformações”.

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.1)$$

A unidade de medida da energia cinética no SI é o *Joule(J)*, em homenagem ao cientista inglês do século XIX, James Prescott Joule.

$$1 \text{ joule} = 1\text{Kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

E no sistema CGS,

$$1 \text{ joule} = 10^7 \frac{\text{g} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}^2}$$

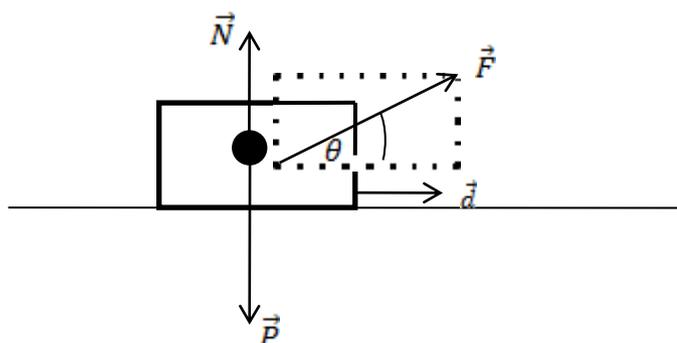
$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{Erg}$$

Quando aumentamos ou diminuimos a velocidade de um corpo ou objeto, aplicando uma força, a energia cinética dele também aumenta ou diminui. Uma forma de explicar essas variações da energia cinética é dizer que a força aplicada transferiu ou retirou energia para o objeto. No processo de transferência de energia por meio da força podemos dizer que ocorreu uma realização de trabalho ω . De uma forma geral, o trabalho é definido da seguinte forma:

Trabalho ω é a energia transferida para um objeto ou de um objeto através de uma força que age sobre o objeto. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo. (Halliday, 2012, p. 147)

O trabalho tem a mesma unidade de medida que a energia, e é uma grandeza escalar. Dessa forma, podemos encontrar uma equação que representa o trabalho. Para tal, considere um bloco de massa m arrastado por uma corda ao longo de um plano horizontal por uma força \vec{F} que está inclinada com um ângulo de θ em relação a horizontal, Fig. 1.1. Além disso, desprezam-se as forças dissipativas.

Figura 1.1 – Desenho ilustrativo representando um bloco arrastado ao longo de um plano na horizontal. Em que \vec{N} é a força normal, \vec{P} a força peso e \vec{F} a força que movimenta o bloco de um ângulo θ em relação à horizontal.



Fonte: Figura adaptada pela autora da referência (Nussenzveig, 2012).

Podemos relacionar as forças e a aceleração com utilizando a segunda lei de Newton definindo o movimento como sendo o sentido positivo da esquerda para direita e a direção considerada como o eixo x:

$$F = m a_x , \quad (1.2)$$

em quem m é a massa do bloco.

Esse bloco sofre um deslocamento \vec{d} e a força muda a velocidade do bloco de um valor que se inicia em v_i até uma velocidade final v_f . Sabendo que a força e a aceleração são constantes podemos escrever a seguinte equação para as componentes no eixo x:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a_x d . \quad (1.3)$$

Isolando a_x na eq.(1.2) e substituindo na eq. (1.3) obtemos:

$$\frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = F_x d . \quad (1.4)$$

O lado esquerdo da equação representa a energia cinética final menos a energia cinética inicial do bloco deslocado. Podemos dizer que a energia cinética foi alterada pela força. O lado direito corresponde ao trabalho realizado pela força

\vec{F} durante deslocamento \vec{d} representando a capacidade da força sobre o bloco realizar trabalho.

Para calcular o trabalho realizado por uma força estamos considerando duas condições: A força deve ser constante, (o módulo e a orientação da força não varia durante o deslocamento do objeto) e o objeto deve ser rígido. Quando a força não for constante devemos trabalhar com a integral e o trabalho é definido como:

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r}. \quad (1.5)$$

Considerando que a força é constante e esta ao longo do deslocamento a equação (1.6) pode ser usada para o cálculo do trabalho:

$$W = F_x d \quad . \quad (1.6)$$

Unidade de medida para trabalho no SI é o *Joule*.

Analisando a Figura 1.1 nota se que $F_x = F \cos \theta$, onde F é o módulo do vetor força \vec{F} e θ é o ângulo entre o deslocamento \vec{d} e \vec{F} , representada na forma seguinte.

$$w = F d \cos \theta \quad (\text{trabalho executado por uma força constante}). \quad (1.7)$$

O sinal do trabalho realizado por uma força sobre um objeto pode sofrer variação de sinal. Ou seja, ele pode ser positivo ou negativo. Logo se o ângulo θ representado na eq.(1.7) foi menor que 90° o cosseno é positivo. Portanto, o trabalho também é positivo. Se o ângulo variar entre 90° e 180° o cosseno é negativo e o trabalho também é negativo. Quando o ângulo for de 90° , o trabalho é zero.

Observando a eq. (1.8), vemos uma relação da variação da energia cinética sobre um corpo que se desloca realizando trabalho.

$$E_{c_f} = \frac{1}{2} m v_f^2 \quad e \quad E_{c_i} = \frac{1}{2} m v_i^2$$

a variação da energia cinética pode ser escrita como sendo

$$\Delta E_C = E_{C_f} - E_{C_i} \text{ (variação da energia cinética)}. \quad (1.8)$$

Logo a eq. (1.4), utilizando a eq. (1.5) e (1.8) torna-se

$$\Delta E_C = W \quad . \quad (1.9)$$

Essa relação é conhecida como o teorema do trabalho-energia cinética.

Portanto, tem-se que ΔE_C é a variação da energia cinética do objeto e W é o trabalho total realizado sobre o objeto. Logo podemos dizer que a variação da energia cinética de uma partícula é igual ao trabalho total realizado sobre uma partícula, visto que não se leva em conta as dimensões do mesmo.

1.1.3 Energia Potencial

A energia potencial é a capacidade que um corpo tem de armazenar. A energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica podem ser calculadas com o auxílio de equações. Para obter essas equações pode-se fazer uma relação entre força conservativa e a energia potencial. Uma força diz-se conservativa quando o trabalho realizado é independente da trajetória descrita, dependendo apenas das posições inicial e final. Em particular, quando a trajetória é fechada, ou seja, quando a posição inicial e final coincide, o trabalho realizado pela força conservativa é nulo.

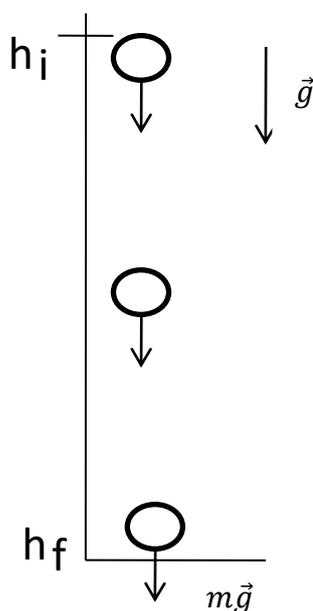
Partindo da eq. (1.5) em que a força varia com a posição de um objeto, podemos escrever o trabalho W na forma integral para o movimento unidimensional na direção de y :

$$W = \int_{y_i}^{y_f} f(y) dy \quad . \quad (1.10)$$

Esta equação permite calcular o trabalho realizado por uma força quando o objeto se desloca do ponto y_i para o ponto y_f . Sabendo que a força é conservativa então o trabalho é o mesmo para qualquer ponto entre y_i e y_f .

Consideramos inicialmente um objeto de massa m que se move verticalmente ao longo do eixo y quando o objeto se move do ponto $y_i = h_i$ para o ponto $y_f = h_f$ (Figura 1.2) a força F_g realiza trabalho sobre ela.

Figura 1.2 – Figura ilustrativa da representação de um objeto abandonado de uma altura h .



Fonte:a autora.

Como $F = P = m\vec{g}$, vamos integrar ao longo do eixo y , pois a força gravitacional se desloca na vertical

$$W = - \int_{h_i}^{h_f} mg \, dy \quad (1.11)$$

Obtém-se:

$$W = -(mgh_f - mg h_i), \quad (1.12)$$

a quantidade mgh é conhecido como energia potencial gravitacional E_p ,

$$E_p = mgh . \quad (1.13)$$

Essa equação nos informa que: a energia potencial gravitacional associada a um sistema depende da posição na vertical (y) do objeto em relação à posição de referência $y = 0$. Analisando a Figura 1.2 podemos considerar que a variação da energia potencial gravitacional tanto na subida como na descida é definida como sendo o trabalho realizado sobre o objeto abandonado assim podemos dizer que a equação (1.12) juntamente com a equação (1.13):

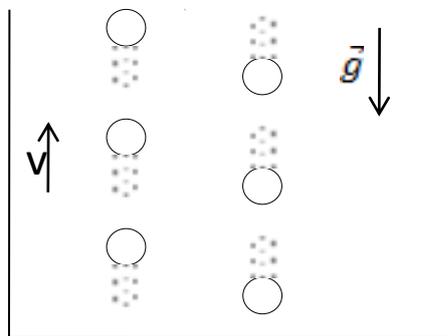
$$W = -\Delta E_p. \quad (1.14)$$

1.1.4 Conservação da Energia Mecânica

A energia pode ser representada de várias formas. Um exemplo dessa representação está nas coisas mais simples, como o ato de lançar objetos. Pode-se observar que, quando há um aumento de energia cinética no sistema ocorre uma diminuição igual da energia potencial e vice versa.

Tomaremos por exemplo um objeto sendo lançado para cima num movimento vertical sob a ação do campo gravitacional da Terra, desprezando a resistência do ar (Fig. 1.3).

Figura 1.3 - Desenho esquemático indicando objeto lançado para cima



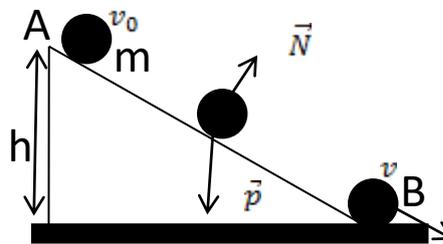
Fonte: a autora

Durante a subida, a energia cinética da pedra vai diminuindo enquanto a energia potencial aumenta. O mesmo acontece na queda. A energia cinética

aumenta enquanto a energia potencial diminui, na mesma proporção. Isso faz com que a soma da energia potencial com a energia cinética não varie, de modo que a energia mecânica permaneça sempre constante. Pode se afirmar, no entanto, que o sistema mecânico idealizado é conservativo.

No exemplo a seguir, observe (Fig. 1.4) o caso em que uma bolinha é abandonada do alto de um plano inclinado de uma altura h , desprezando a força de atrito e a resistência do ar.

Figura 1.4 - Desenho esquemático indicando plano inclinado



Fonte: a autora.

Observa-se que a energia mecânica no ponto A é igual à energia mecânica no ponto B conforme a Eq. (1.17)

$$\text{Ponto A: } E_M = E_C + E_P \quad (1.15)$$

$$\text{Ponto B: } E_M = E_C + E_P \quad (1.16)$$

$$E_{MA} = E_{MB} \quad (1.17)$$

Fazendo uma análise das energias presentes no ponto A e no ponto B, nota-se que no ponto A, por ser o ponto mais alto, há apenas a energia potencial enquanto a energia cinética é nula, considerando que o corpo não possui velocidade naquele ponto $v_0 = 0$. No ponto B, por sua vez, o corpo perde altura e ganha velocidade. Nesse ponto, a energia potencial é igual à zero, possuindo apenas energia cinética, assim como a eq.(1.18)

$$E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB} \quad (1.18)$$

Fazendo algumas substituições temos

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot mV^2 \quad (1.19)$$

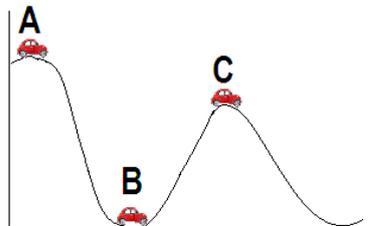
$$2 \cdot \frac{m}{m} \cdot g \cdot h = V^2 \quad (1.20)$$

Obtemos, assim, a equação final para a velocidade mínima em que a esfera chegará ao solo:

$$V = \sqrt{2gh} \quad (1.21)$$

O mesmo conceito de conservação de energia se aplica para um sistema como o da Fig. (1.5). Desprezando as forças dissipativas (resistência do ar, atrito) o corpo possui a mesma energia mecânica ao passar pelos pontos A, B e C.

Figura 1.5 - Desenho esquemático indicando uma simulação da montanha russa.



Fonte: a autora

$$\text{Ponto A: } E_M = E_C + E_P \quad (1.22)$$

$$\text{Ponto B: } E_M = E_C + E_P \quad (1.23)$$

$$\text{Ponto C: } E_M = E_C + E_P \quad (1.24)$$

E, por fim, no caso da montanha russa, considerando o momento em que a

esfera é abandonada no alto de uma rampa, esse modelo permite relacionar o princípio da conservação da energia com a dinâmica do movimento circular de uma maneira muito motivadora e interessante.

Uma esfera abandonada no alto de uma rampa (Fig.1.6) é capaz de percorrer toda trajetória sem sair do trilho, pode-se perceber o papel da energia potencial gravitacional (mgh) a partir da altura mínima necessária para completar o *looping* e a ação da força centrífuga da esfera contra o trilho.

Ressaltamos que esse modelo não nos permite fazer verificações quantitativas por causa do atrito e da rotação da esfera, pois o mesmo exige o conceito de energia cinética de rotação, o qual não será abordado nesse momento.

Para que o objeto possa completar a volta é preciso saber a altura mínima necessária partindo da eq.(1.17).

A energia mecânica (E_{mec}) de um sistema é a soma da energia cinética mais a energia potencial do objeto, a equação a seguir é uma representação da energia mecânica em um sistema conservativo².

$$E_{mec} = E_C + E_p. \quad (1.25)$$

Em um sistema isolado, não há força externas causando variações de energia no sistema.

Quando um sistema conservativo realiza trabalho W sobre um objeto dentro do sistema, essa força é responsável pela transferência de energia cinética E_C e energia potencial E_p do sistema conservativo. Logo, se combinarmos a eq. (1.9) com a eq. (1.14) obteremos

$$\Delta E_C = - \Delta E_p$$

Assim, temos que uma das energias aumenta na mesma proporção que a

²*Sistema conservativo, quando o objeto do sistema não está sujeito a forças de atrito e de arrasto. A força de arrasto atuante em um corpo é, portanto, composta de duas parcelas: uma devida ao arrasto de atrito e a outra ao arrasto de pressão, arrasto é a força que faz resistência ao movimento de um objeto sólido através de um fluido. O arrasto é feito de forças de fricção (atrito), que agem em direção paralela à superfície do objeto. Uma força não conservativa é chamada de forças dissipativas. A força de atrito cinético e arrasto são forças dissipativas.

outra diminui. Abrindo essa equação em termos da variação do movimento de um ponto inicial i até um ponto final f :

$$E_{cf} - E_{ci} = -(E_{pf} - E_{pi}) \quad , \quad (1.26)$$

reagrupando os termos temos

$$E_{cf} + E_{pf} = E_{ci} + E_{pi} \quad ,$$

usando a eq. (1.25):

$$E_{mf} = E_{mi} \quad , \quad (1.27)$$

que é a lei conservação de energia mecânica. E, pode ainda ser escrita como:

$$\Delta E_{mec} = \Delta E_c + \Delta E_p = 0 \quad . \quad (1.28)$$

Equação válida quando um sistema está isolado, pois somente forças conservativas atuam sobre o objeto do sistema.

Richard Philips Feynman (1918-1988) se referiu ao conceito de conservação de energia, apontando que

A lei é chamada de conservação da energia. Nela enunciamos que existe certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais a natureza passa. Essa é uma idéia muito abstrata porque é um principio matemático: ela diz que existe uma quantidade numérica que não muda quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou algo concreto é apenas um estranho fato de que podemos calcular algum número e quando terminamos de observar a natureza fazer seus truques e calculamos o número novamente ele é o mesmo.

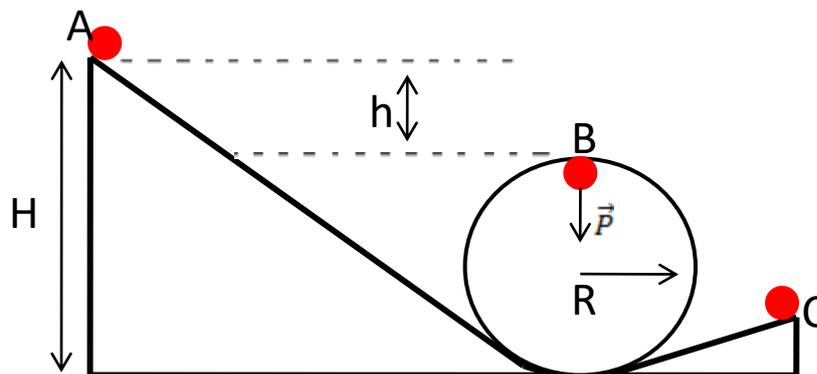
Com outras palavras Halliday e Resnick, enunciaram que

Em um sistema isolado ao qual, forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas a soma das duas energias mecânicas do sistema não pode variar. (Halliday, 2012. p. 179)

Este é conhecido como o princípio de conservação da energia mecânica.

Mediante os conceitos vistos nessa seção, podemos aplicá-los no *looping* para obter qual é a menor altura (H) necessária tal que a esfera consiga realizar a volta completa no *looping*. Lembrando que estamos desprezando as forças dissipativas no sistema, em específico a força de resistência do ar.

Figura 1.6 – Desenho esquemático do *looping*. Em que A é o ponto inicial do movimento da esfera, a uma altura H, h a diferença de altura quando a esfera está no ponto B e C o ponto final e R o raio da curvatura do *looping*.



Fonte: adaptada pela autora.

Analisando a energia quando a esfera está no ponto A, a uma altura H em relação a base (ponto mais baixo do sistema):

$$E_{m_A} = mgH. \quad (1.29)$$

A energia no ponto B, já considerando $H = 2R$:

$$E_{m_B} = mg(2R) + \frac{1}{2} mv^2. \quad (1.30)$$

Da relação (1.27):

$$E_{m_A} = E_{m_B},$$

como a energia cinética no ponto A é zero logo,

$$E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB}. \quad (1.31)$$

Ressaltando que está sendo desconsiderado o movimento de rotação da esfera, somente se considera o de translação.

$$mgH = mg2R + \frac{1}{2} m v^2$$

Simplificando a massa em ambos os lados

$$v^2 = 2g(H - 2R). \quad (1.32)$$

Rearranjando obtemos

$$v = \sqrt{2g(H - 2R)}. \quad (1.33)$$

Sendo assim, a eq. (1.33) representa a, a velocidade no ponto B.

Ainda nesse ponto, vamos analisar qual é a velocidade mínima no ponto mais alto da trajetória para a esfera fazer o giro completo. Analisando via segunda lei de Newton, em que a força resultante é dada por

$$\vec{F}_c = \vec{P} + \vec{N} \quad (1.34)$$

Considera-se $N = 0$, porque quando a bolinha passa pelo ponto mais alto por um breve momento ela tende perde o contato com a pista, $F_c = m \frac{v_{min}^2}{R}$ tem-se que:

$$m \frac{v_{min}^2}{R} = mg \quad (1.35)$$

Isolando v_{min}^2 temos,

$$v_{min} = \sqrt{Rg} \quad (1.36)$$

Substituindo a eq. (1.36) na eq. (1.33) encontraremos o menor valor de H para que a esfera completar o *looping*

$$\sqrt{Rg} = \sqrt{2g(H - 2R)} \quad (1.37)$$

Isolando R ,

$$R = 2H - 4R$$

$$H = \frac{5}{2}R \quad (1.38)$$

Em que H é a altura mínima para liberar a esfera e poder completar o *looping*

Nesse sentido, para esfera completar o *looping* deverá satisfazer a seguinte relação

$$v = \sqrt{2g(H - 2R)} \geq \sqrt{Rg} \quad (1.39)$$

No caso de considerar o movimento de rotação da esfera maciça:

$$E_{mA} = m g H$$

$$E_{mB} = mg(2R) + \frac{1}{2} m v_{cm}^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (1.40)$$

Sendo $I = \frac{2}{5} m r^2$ e $\omega = \frac{v}{r}$

$$v_{cm} = \sqrt{2g(H - 2R) - \frac{I_{cm} \cdot \omega^2}{m}} \geq \sqrt{Rg} \quad (1.41)$$

$$v_{cm} = \sqrt{2g(H - 2R) - \frac{2}{5} \cdot \omega^2 \cdot r^2} \geq \sqrt{Rg} \quad (1.42)$$

Observação: Nesse trabalho o movimento de rotação será desprezado.

1.1.5 Energia de rotação

Um corpo rígido é um corpo que gira com todas as partes ligadas entre si sem mudar de forma e o movimento de rotação sobre esse corpo é em torno de um eixo fixo.

1.1.6 Posição angular

A posição angular da reta refere-se ao ângulo que ela faz com uma direção fixa logo a posição angular θ é medido em relação ao semi-eixo positivo, ver fig. (1.3) logo θ é dado por

$$\theta = \frac{s}{r}, \quad (1.43)$$

em que s é o comprimento de um arco de circunferência r é o raio da circunferência e o ângulo θ é medido em radianos

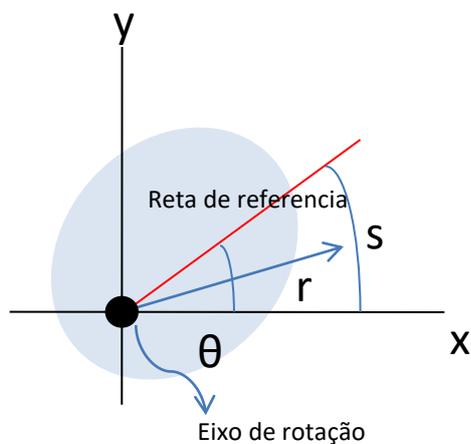
No caso da translação de uma partícula ao longo de um eixo x , o movimento da partícula é descrito por uma função de $x(t)$ a posição em função do tempo. No caso da rotação de uma partícula ou um corpo rígido, o movimento da partícula é descrito pela função $\theta(t)$, a posição angular da reta em função do tempo.

1.1.7 Deslocamento angular

Se um corpo gira em torno do seu eixo de rotação variando de θ_1 para θ_2 o corpo sofre um deslocamento angular $\Delta\theta$ como na fig.1.3 e é representado pela eq. (1.44)

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 \quad (1.44)$$

Figura 1.7 – Desenho ilustrativo da seção transversal de um corpo rígido em rotação, em que r é o raio de rotação, variando de um ângulo θ , e um arco de curva S .



Fonte: figura adaptada pela autora da referência (Halliday, 2012).

Visto que o deslocamento angular é válido para uma partícula de um corpo e para todo corpo rígido, logo um corpo que esta em movimento de translação ao longo de um eixo x tendo um deslocamento Δx . Assim, como o deslocamento angular $\Delta\theta$ de um corpo em rotação, ambos podem ser positivo ou negativo de acordo com a regra a seguir:

- *Um deslocamento angular no sentido anti-horário é negativo e*
- *Um deslocamento angular no sentido horário é positivo.*

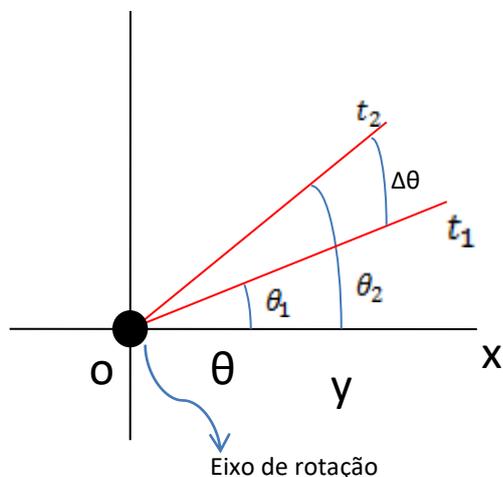
1.1.8 Velocidade angular

Um corpo em rotação que sai da posição de θ_1 para θ_2 nos respectivos tempos t_1 e t_2 . Definimos a velocidade angular média do corpo no intervalo de tempo Δt conforme segue na equação (1.45):

$$\omega_{méd} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} , \quad (1.45)$$

em que, $\Delta\theta$ é o deslocamento angular que ocorre durante o intervalo de tempo Δt , a velocidade angular é representada por $\vec{\omega}$

Figura 1.8 – Desenho ilustrativo do deslocamento angular ($\Delta\theta$) do corpo durante o intervalo de tempo (Δt) com a representação da variação do ângulo. O vetor ω esta saindo do plano da pagina, e a velocidade esta no sentido anti- horário.



Fonte: figura adaptada pela autora da referência (Halliday, 2012).

Uma partícula em movimento translacional ao longo de um eixo x a velocidade \vec{v} linear da partícula pode ser positiva ou negativa, no caso do movimento de rotação, de acordo com a posição de giro do corpo, no sentido horário positivo e anti-horário negativo.

1.1.9 Energia cinética de rotação

Quando uma esfera está girando, ela possui uma energia cinética que é associada à rotação e, neste caso, não podemos aplicar a equação da energia cinética $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, a esfera como um todo, pois obteríamos a energia do centro de massa da esfera, como sendo igual a zero.

Diante disso, iremos tratar a esfera como sendo um conjunto de partículas devido às diferentes distancias do eixo de rotação com diferentes velocidades e somar a energia cinética dessas partículas obtendo a energia cinética de todo corpo. Portanto, a energia cinética de um corpo em rotação é dada pela equação (1.46).

$$E_c = \sum \frac{1}{2}m_i v_i^2, \quad (1.46)$$

em que, m_i é a massa da partícula e v_i é a velocidade de partícula mas não é a mesma para todas as partículas. Derivando a eq. (1.43), em relação ao tempo obtém-se que $v = \omega r$

$$E_c = \sum \frac{1}{2} m_i (\omega r_i)^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \left(\sum m_i r_i^2 \right) \omega^2 , \quad (1.47)$$

em que, ω é igual para todas as partículas. A grandeza $(\sum m_i \cdot r_i^2)$ depende de como a massa do corpo esta distribuída em relação ao eixo de rotação. Essa relação é conhecida como o momento de inércia de um corpo em relação ao eixo de rotação, o momento de *inércia* I depende do corpo e do eixo no qual esta ocorrendo a rotação, portanto podemos escrever a equação do momento de inércia substituindo a equação(1.47)

$$I = \sum m_i r_i^2 \quad (1.48)$$

A equação nos permite calcular a energia cinética de um corpo rígido

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2 . \quad (1.49)$$

1.1.10 Cálculo do Momento de inércia

Um corpo rígido que possui uma quantidade pequena de partículas pode calcular o momento de inércia em torno do eixo de rotação usando a eq. (1.48) ou podemos calcular o produto mr^2 e somar para cada partícula.

1.1.11 Teorema dos Eixos Paralelos

O teorema dos eixos paralelos é representado pela seguinte equação que iremos utilizar na seção de energia de cinética de rotação.

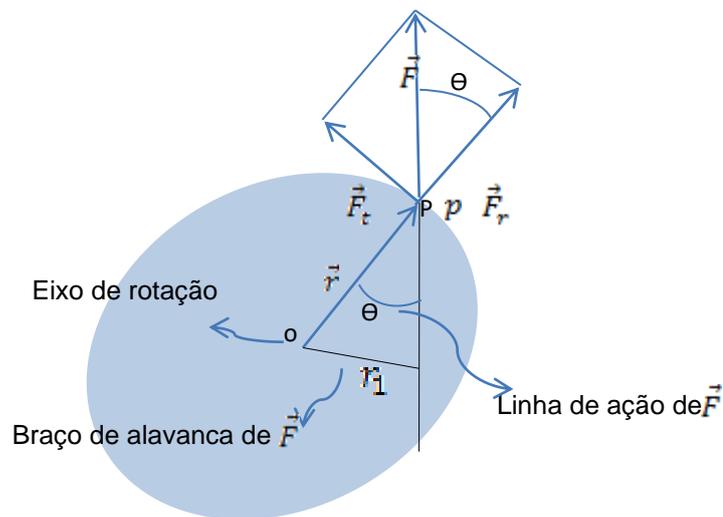
$$I = I_{CM} + Mh^2 . \quad (1.50)$$

1.1.12 Torque

O Torque, também conhecido como momento de alavanca, momento de força, ou simplesmente momento, é uma grandeza vetorial da física associada às forças que produzem rotação em um corpo. O torque vem do latim cujo significado é

“torcer”, que também pode ser descrito como sendo um ato ou uma ação de girar ou torcer de uma força. Quando aplicada uma força a um objeto com uma chave de fenda, por exemplo, com o objetivo de fazer girar o objeto nesse sentido, estamos aplicando um torque, cuja unidade de medida é o Newton– metro (Nm) representada no SI(sistema internacional).

Figura 1.9 - Desenho ilustrativo de um corpo livre para girar em torno do eixo passando por O, e a decomposição das forças.



Fonte: Halliday, 2012.

O ponto de aplicação e a direção da força é bastante importante. Uma força \vec{F} é aplicada no ponto P em que a posição em relação à \vec{F} é definida por um vetor posição \vec{r} , entre os vetores \vec{F} e \vec{r} esta localizada o ângulo θ . Para determinar como \vec{F} provocar uma rotação do corpo em torno do eixo de rotação. Vamos separar as forças em dois componentes ver Fig. 1.9.

A componente radial \vec{F}_r tem a direção de \vec{r} , componente de \vec{F} , a componente tangencial \vec{F}_t é perpendicular a \vec{r} e tem módulo $F_t = F \sin \theta$, provoca rotação, portanto ao puxar ou empurrar uma porta, por exemplo, perpendicular ao plano da porta, esta vai girar visto que a capacidade de \vec{F} fazer um corpo girar não depende só do modulo da componente tangencial F_t mas também depende da distância entre o ponto de aplicação de \vec{F} e o ponto O. Levando em conta esses fatores podemos escrever o torque ($\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$) em módulo, a seguir

$$|\vec{\tau}| = \tau = (r)(F \sin \phi)$$

sendo ϕ o ângulo formado entre o vetor \vec{r} (distância do eixo de rotação até \vec{F}) e a força \vec{F} que realiza o torque.

Podemos também calcular o torque da seguinte forma:

$$\tau = (r)(F \sin \phi) = rF_t \quad (1.51)$$

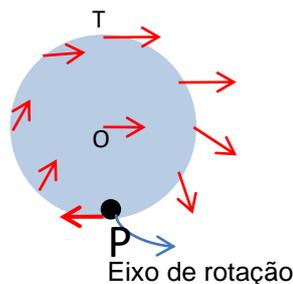
$$\tau = (r \sin \phi) \cdot (F) = r^\perp F_t \quad (1.52)$$

Em que r^\perp é a distância perpendicular entre o eixo de rotação que passa por O e uma reta que coincide com a direção do vetor. Essa reta é chamada de linha de ação de \vec{F} e r^\perp é o braço da alavanca de \vec{F} .

1.1.13 Rolamento com Rotação Pura

Podemos descrever o movimento de rolamento de uma roda como sendo uma rotação pura em torno de um eixo que passa pelo ponto de contato entre a roda e a superfície na qual esta tocando como mostra a Fig. 1.10.

Figura 1.10 – Ilustração do processo de rolamento visto como uma rotação pura com velocidade angular ω em torno de um eixo que sempre passa por P e ponto mais alto T .



Fonte: figura adaptada pela autora da referência (Halliday, 2012).

Ao calcularmos a velocidade linear da extremidade superior da roda, tendo em vista que o fato é observado por um observador parado, tem-se a equação (1.53)

$$v_{Sup} = (\omega)2r \quad (1.53)$$

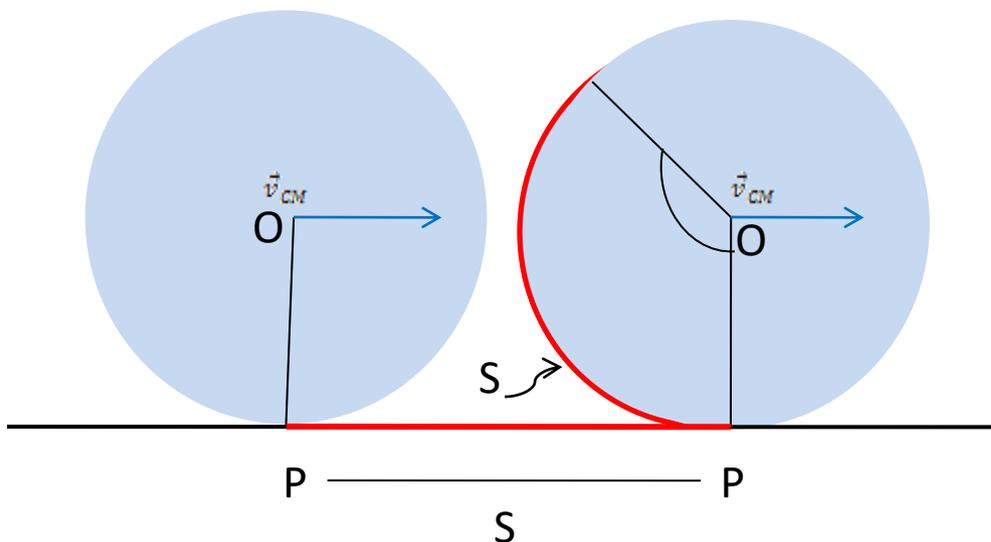
$$\begin{aligned} v_{Sup} &= 2(\omega r) \\ v_{Sup} &= 2 v_{CM} \end{aligned} \quad (1.54)$$

em que R é o raio da roda e a extremidade superior da roda estão a uma distância de $2 v_{CM}$

1.1.14 O Rolamento Combinação de Rotação com Translação

Considerando objetos que rolam suavemente, podemos estudar esses movimentos tratando como uma combinação do movimento de translação do centro de massa e de rotação do resto do objeto em torno do centro de massa. Para melhor compreender imaginemos uma roda de bicicleta como mostra a Fig. 1.11.

Figura 1.11 – Ilustração do movimento de uma roda, o centro de massa O de uma roda percorre uma distância s com velocidade \vec{v}_{CM} .



Fonte: figura adaptada pela autora da referência (Halliday, 2012).

Pode-se observar os pontos O e P durante um intervalo de tempo t se deslocam com distância (arco da curva) S , portanto, o ciclista vê a roda girar por um ângulo θ em torno de seu eixo com um ponto que toca o chão no início do intervalo descrevendo um arco de comprimento S . A equação a seguir relaciona o comprimento do arco S com o ângulo de rotação θ é dada pela eq. (1.43):

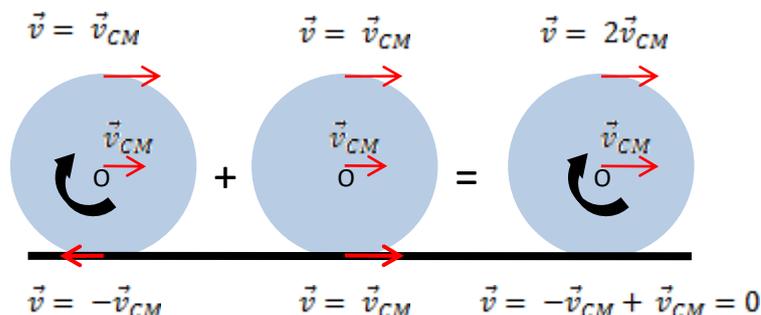
$$S = \theta R$$

em que, R é o raio da roda. A velocidade linear v_{CM} é $\frac{dS}{dt}$ e a velocidade angular ω da roda é $\frac{d\theta}{dt}$. Se derivar a eq. (1.43) em relação ao tempo com R constante temos

$$v_{CM} = \omega R \quad \text{rolamento suave} \quad (1 - 55)$$

A Figura 1.12 mostra uma combinação de movimento puro de rotação e translação durante um rolamento.

Figura 1.12 – Ilustração do movimento de rolamento de uma roda com a combinação de dois movimentos: o de translação pura e o de rotação pura.



Fonte: figura adaptada pela autora da referência (Halliday, 2012).

A Fig.1.7 mostra que para o movimento de rotação pura todos os pontos da roda giram em torno do centro com velocidade angular $\vec{\omega}$, enquanto os pontos na periferia da roda têm velocidade linear \vec{v}_{CM} . Ao modo que para o movimento de translação os pontos da roda se movem para a direita com velocidade linear \vec{v}_{CM} . A combinação dos movimentos de rotação e translação a velocidade linear a extremidade inferior da roda é zero, e a velocidade linear da extremidade superior é $2\vec{v}_{CM}$, maior que do que em outro ponto qualquer da roda.

1.1.15 Energia Cinética de Rolamento

Para calcular a energia cinética de rolamento vamos observar o rolamento como sendo uma rotação pura em torno do eixo que passa pelo ponto P , observando a figura (1.10) e equação (1.49) representada por

$$E_c = \frac{1}{2} I_p \omega^2 \quad (1.56)$$

em que ω é a velocidade angular da roda e I_p é o momento de inércia da roda em relação a um eixo que passa pelo ponto P logo vemos que de acordo com o teorema dos eixos paralelo vista na equação (1.50)

$$I = I_{CM} + Mh^2.$$

Podemos reescrevê-la da seguinte forma, fazendo $h = r$

$$I = I_{CM} + Mr^2, \quad (1.57)$$

sendo, M é a massa e r é o raio da roda. Substituindo eq. (1.58) na eq. (1.57) obtemos

$$E_c = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} MR^2 \omega^2. \quad (1.58)$$

Aplicando a relação em que $v_{CM} = \omega \cdot R$, temos

$$E_c = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} M v_{CM}^2. \quad (1.59)$$

Considerando o termo $\frac{1}{2} I_{CM} \omega^2$ como sendo a energia cinética associada à rotação da roda em torno de um eixo passando pelo centro de massa e a parcela $\frac{1}{2} M v_{CM}^2$ como sendo a energia cinética associada ao movimento de translação da roda. Portanto podemos agora relacionar a seguinte regra:

Um objeto em rolamento possui dois tipos de energia cinética: a energia cinética de rotação ($\frac{1}{2} I_{CM} \omega^2$) associada à rotação em torno do centro de massa e uma energia cinética de translação ($\frac{1}{2} M v_{CM}^2$) associada a translação do centro de massa. (Halliday, 2012 p.289).

Nesse sentido para esfera completar o *looping* deverá satisfazer a seguinte relação

$$v = \sqrt{2g(H - 2R)} > \sqrt{Rg}. \quad (1.60)$$

No caso da esfera rolar

$$E_{mA} = mgH, \quad (1.61)$$

$$E_{mB} = m g (2R) + \frac{1}{2} m v_{cm}^2 + \frac{1}{2} I \omega^2. \quad (1.62)$$

Como $\omega = \frac{v}{R}$; $E_{mB} = m g (2R) + \frac{1}{2} m v_{cm}^2 + \frac{1}{2} I \left(\frac{v_{cm}}{R}\right)^2 = m g (2R) + \frac{1}{2} \left(m + \frac{I}{R^2}\right) \left(\frac{v_{cm}^2}{R^2}\right)$

$$mgH = m g (2R) + \frac{1}{2} \left(m + \frac{I}{R^2}\right) \left(\frac{v_{cm}^2}{R^2}\right)$$

$$v_{cm} = \sqrt{2g R^2 (H - 2R) / (1 + \frac{I_{cm}}{m})} > \sqrt{Rg}, (1.63)$$

Na eq. (1.63) no caso da esfera, utiliza-se o momento de inércia da esfera considerando que está rolando sobre seu centro de massa. Esta é dada por (Halliday, 2012):

$$I_{esfera} = \frac{2}{5} R^2 m, (1.64)$$

sendo, R o raio da esfera e m a sua massa.

Na próxima seção apresentam-se os fundamentos sobre a sequência didática baseada no autor Antoni Zabala (Zabala, 1998).

1.2 – Sequência Didática

Um dos objetivos de um professor é ser cada vez mais competente em seu trabalho. No geral, esse objetivo é alcançado, por meio de aperfeiçoamento, experiência e conhecimento, pois o conhecimento vem por meio da prática e da experiência.

Como profissionais, sabemos que algumas coisas que fazemos são bem feitas, mas em contrapartida temos outras que apenas satisfazem as necessidades naquele momento e podem ser melhoradas. Nesse, uma auto avaliação precisa ser feita porque às vezes o que é satisfatório para um não é suficiente para o outro. Possivelmente, as melhoras em nossa atividade profissional provem dessa análise que fazemos por troca de informação entre os profissionais.

Este trabalho objetiva abordar a Sequência Didática seguindo os preceitos de Antoni Zabala (Zabala, 1998) com o intuito de produzir um material de fácil entendimento, compreensão e manuseio, tanto para o aluno quanto para professor. Desta forma, se faz necessário analisar e descrever o cotidiano dos alunos, no que auxilia a tomar decisões apropriadas à didática abordada pelo professor. Para Zabala (1998):

[...] as sequências de atividades de ensino/aprendizagem, ou sequências didáticas, são uma maneira de encadear e articular as diferentes atividades ao longo de uma unidade didática. Assim, pois, poderemos analisar as diferentes formas de intervenção segundo as atividades que se realizam e, principalmente, pelo sentido que adquirem quanto a uma sequência orientada para a realização de determinados objetivos educativos. As sequências podem indicar a função que tem cada uma das atividades na construção do conhecimento ou da aprendizagem de diferentes conteúdos e, portanto, avaliar a pertinência ou não de cada uma delas, a falta de outras ou a ênfase que devemos lhe atribuir (Zabala, 1998, p. 20.).

Nessa concepção, o objeto do saber a ser ensinado é um tipo de gênero textual que pode assumir uma natureza “escrita” ou uma natureza “oral” e a SD que serve. No caso específico dos objetos de ensino no contexto da aprendizagem de Matemática sempre terão uma natureza abstrata (Cabral, 2017). Zabala ainda diz que:

[...] um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. Sequência didática é a união de atividades ligadas entre si, na qual o conteúdo é planejado e ensinado passo a passo, e organizado de acordo com o objetivo no qual queira alcançar para a aprendizagem do aluno, em uma sequência e finalizando com uma avaliação (Zabala, 1998, p.18).

A inclusão no processo de ensino e aprendizagem proporciona ao aluno uma relação mais comunicativa e participativa no processo educacional.

Com o auxílio da experimentação, desafia-se o aluno a participar das aulas, estimulando o processo de investigação que envolve a experimentação relacionada com o senso comum para o científico, ligando os conteúdos vistos em sala de aula, com a vida cotidiana, é importante destacar o papel das atividades experimentais com o objetivo de motivar os alunos para o ensino da Física.

Mas é importante ressaltar que somente a utilização de experimentos, sem a análise e discussão dos conceitos físicos presentes na experimentação, não é suficiente para que ocorra uma aprendizagem, conforme afirma Bizzo:

[...] o experimento, por si só não garante a aprendizagem, pois não é suficiente para modificar a forma de pensar dos alunos, o que exige acompanhamento constante do professor, que devem pesquisar quais são as explicações apresentadas pelos alunos para os resultados encontrados e propor se necessário, uma nova situação de desafio (Bizzo 2002, p.75).

Portanto, o uso do *looping* como experimentação, abordada nesse trabalho, tem o intuito de fazer a diferença para que o aluno possa assimilar o conteúdo por meio da experimentação e passar do conhecimento empírico para o teórico científico.

A próxima seção está dedicada à fundamentação sobre as teorias de aprendizagem de Ausubel.

1.2.1. Teorias de Aprendizagens - David Ausubel

David Ausubel foi um psicólogo que desenvolveu uma teoria cognitiva chamada teoria da aprendizagem significativa. Nasceu em 25/10/1918 e morreu em

09/07/2008. Morou nos Estados Unidos, filho de família judia, pobre e imigrante vindo da Europa Central.

Ausubel cresceu insatisfeito com a educação que recebeu e se formou em psicologia em 1939 e medicina em 1943. Mais tarde fez doutorado em psicologia do desenvolvimento e a partir daí começou seus trabalhos na teoria cognitiva.

Para Ausubel a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se no cognitivo do indivíduo por meio de conceitos relevantes preexistentes ele vê o armazenamento de informações de forma organizada formando uma hierarquia de conhecimentos.

Destaca-se também a assimilação como sendo um dos principais instrumentos para o conhecimento, bem como não há existência de aprendizagem significativa na arte de memorizar e sim na motivação que para se aprender é preciso ter o desejo de aprender e assim o que se aprende terá significado.

Para entender a teoria de David Ausubel estudaremos alguns tipos de aprendizagens.

1.2.2 Tipos de Aprendizagens

De acordo com Ausubel, a aprendizagem se divide em três tipos, aprendizagem cognitiva, aprendizagem afetiva e aprendizagem psicomotora.

- Aprendizagem cognitiva: está fundamentado no armazenamento organizado de informações na mente do aprendiz, esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva.
- Aprendizagem afetiva ela é derivada de sinais internos do indivíduo tal como alegria e ansiedade, prazer e dor, essa aprendizagem está ligada ao cognitivo do indivíduo.
- Aprendizagem psicomotora ela envolve respostas musculares que são adquiridas durante treino e prática que por sua vez também tem relação com o cognitivo.

Porém, Ausubel enfatiza e prioriza a aprendizagem cognitiva, que por meio de um esquema geral de aprendizagem pode se ter uma idéia de como ele idealizou a forma de aprendizagem.

Começando pela estrutura cognitiva, que é um local onde se organiza tudo

que o indivíduo aprende idéias, conceitos e, a esta estrutura cognitiva, está ligada a aprendizagem que, por sua vez, se divide em dois processos: aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa. Na aprendizagem mecânica o indivíduo recebe novas idéias, novas informações e, quando decorada, ela é armazenada de forma arbitrária. Logo não garante flexibilidade e nem longevidade no seu uso. Enquanto que, a aprendizagem significativa, pode ser processada de duas formas, por descoberta, em que o conteúdo é descoberto pelo aprendiz situação que ele busca informações e por recepção em que o conteúdo deve ser apresentado ao aprendiz por um mediador.

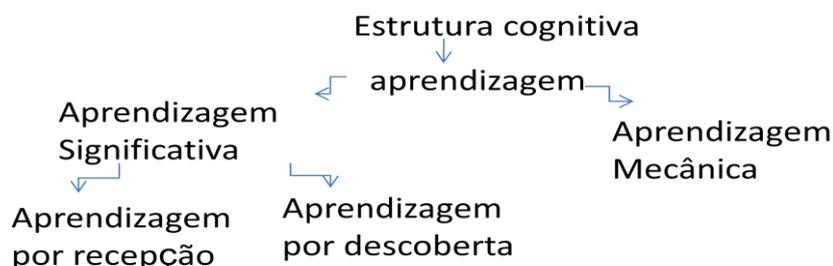
1.2.3 Aprendizagem significativa e subsunçores.

Para que ocorra uma aprendizagem significativa é necessário que haja uma relação com o subsunçor que está na estrutura cognitiva do aprendiz e relacionar com o novo conteúdo, se o aprendiz não tem disposição para relacionar com a nova informação a sua estrutura cognitiva, pode se dizer que ele não quer aprender.

Para Ausubel aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específico. [...] subsunçores³ existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende (Moreira, p.7).

A Figura 1.13 mostra um esquema geral da aprendizagem.

Figura 1.13 - Representação do esquema do esquema geral de como compreender o processo.



Fonte: a autora.

³ A palavra subsunçor, ela é uma tradução da palavra inglesa “subsumer”, que equivale a um inseridor facilitador.

Em que:

- **Estrutura cognitiva:** é a soma total e organizada de idéias de um indivíduo, ou seja, tudo que ele aprende é organizado na estrutura cognitiva que está ligada à aprendizagem;
- **Aprendizagem:** compreende na ampliação da estrutura cognitiva por meio da incorporação de novas idéias;
- **Aprendizagem mecânica:** se trata de uma nova informação quando decorada mecanicamente ela é armazenada de forma arbitrária, não garante longevidade e flexibilidade no uso das informações;
- **Aprendizagem significativa por descoberta:** o indivíduo vai buscar as informações, ou seja, o conteúdo a ser aprendido deve ser descoberto pelo mesmo;
- **Aprendizagem por recepção:** o conteúdo a ser aprendido deve ser apresentado ao indivíduo na forma de filmes, livro,...

O subsunçor nada mais é que um conceito, uma idéia já existente na estrutura cognitiva do aprendiz que servira de ponte de ancoragem⁴ para uma nova informação, permitindo que o indivíduo atribua significados.

Ausubel, dentro do processo de aprendizagem significativa recomenda o uso de organizadores prévios⁵ que servirá de ancoragem para a uma nova idéia de aprendizagem.

- **Uso de Organizadores Prévios:** Caso o aluno não possua um subsunçor adequado para que ele atribua significado ao novo conhecimento que está sendo apresentado, nessa situação pode ser feito o uso de organizadores prévios como sugerido por Ausubel, esses organizadores podem ser imagens, filmes textos introdutórios etc.

1.2.4 Condições para a Aprendizagem Significativa

Basicamente, são duas as condições para a aprendizagem significativa

⁴ Ancoragem é uma metáfora. Diz-se que certos conhecimentos prévios funcionam como idéias-âncora e se lhes dá o nome de subsunçores

⁵ Organizadores prévios são materiais introdutórios que são apresentados antes do material a ser aprendido.

(Moreira, 2004):

1) O material utilizado para a aprendizagem deve ser potencialmente significativo.

“É importante enfatizar aqui que o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo,..., pois o significado está nas pessoas, não nos materiais.”(Moreira, 2004, p.6)

2) O aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender ou seja para relacionar o novo material a sua estrutura cognitiva.

“A segunda condição é talvez mais difícil de ser satisfeita do que a primeira: o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não literal, a seus conhecimentos prévios. É isso que significa predisposição para aprender”. (Moreira, 2004 p.8).

1.2.5 Tipos de aprendizagem significativa

Ausubel apresenta três tipos de aprendizagem significativa (Moreira, 1999)

- 1) **Aprendizagem representacional:** é um tipo de aprendizagem que envolve uso de símbolos e os símbolos passam a significar para o aluno ou indivíduo como Ausubel representa aquilo que seus referenciais significam.
- 2) **Aprendizagem por conceito:** ela está ligada com a aprendizagem representacional, pois os seus conceitos também são representados por símbolos.
- 3) **Aprendizagem proposicional:** a tarefa não é aprender significativamente o que palavras isoladas ou combinadas representam, mas sim aprender o significado de idéias em forma de proposição. De modo geral, as palavras combinadas em sentença para construir uma proposição representam conceito.

1.2.6 Assimilação

Essa teoria proposta por Ausubel tem por finalidade explicar tanto a aprendizagem como para a retenção.

A assimilação é um processo que ocorre quando um conceito ou proposição, possivelmente significativo que é assimilado sob a idéia ou conceito mais inclusivo, já existe na estrutura cognitiva. No entanto, a aprendizagem significativa não garante que o indivíduo não esquecerá o que foi aprendido

Assimilação obliteradora é uma continuidade natural da aprendizagem significativa, porém não é um esquecimento total. É uma perda de discriminabilidade, de diferenciação de significados, não uma perda de significados. Se o esquecimento for total, como se o indivíduo nunca tivesse aprendido determinado conteúdo é provável que aprendizagem tenha sido mecânica, não significativa. (MOREIRA, 2004, p.4)

1.2.7 Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa

Moreira, 2004, afirma que:

A estrutura cognitiva, considerada como uma estrutura de subsunçores inter-relacionados e hierarquicamente organizados é uma estrutura dinâmica caracterizada por dois processos principais, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desses subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. (MOREIRA, 2004, p.5)

Portanto, conforme a aprendizagem ocorre, conceitos são desenvolvidos, elaborados e diferenciados em decorrência de contínuas interações. As especificidades de um conceito a ser trabalhado precisam ser ajustadas e desenvolvidas gradualmente, de forma que os elementos mais gerais sejam enfatizados e apresentado primeiro.

Como já citado, Ausubel propõe uso de organizadores prévios (OPs), quando o indivíduo não tem um subsunçor ou quando o subsunçor existente em sua

estrutura cognitiva não é suficiente para que se possa desempenhar a sua função de ancoragem.

O conhecimento prévio é, na visão de Ausubel, a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Isto é, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2004, p. 7)

De posse desse vasto conhecimento, este trabalho se sustentará nas Teorias de Aprendizagens Significativas (TASs), e nos Organizadores Prévios (OPs) e outras formas de aprendizagem apresentado para desenvolver e trabalhar os conceitos conservação de energia via aparato experimental – o *looping* - com o intuito de obter uma aprendizagem significativa.

2. PRODUTO EDUCACIONAL E APLICAÇÃO

Neste capítulo, apresentaremos o produto educacional e a metodologia utilizada para sua aplicação via uma sequência didática elaborada para esse fim. O PE trata-se de um *looping* artesanal, confeccionado com junta de dilatação de PVC encontrado em casa de material de construção, e madeira para a sua estrutura. O objeto a se movimentar é uma esfera de aço, encontrada em rolamentos utilizados em veículos de grande porte (encontrado em oficinas mecânicas), bolinha de gude.

Este PE refere-se aos conceitos de energia e conservação de energia fazendo uso de experimento para proporcionar ao aluno uma aprendizagem possibilitando uma compreensão relacionada com o cotidiano. Por motivos como esse, o experimento tem ganhado uma atenção a mais. Ele tem uma função que possibilita despertar a atenção do aluno tal como obter um caráter investigativo possibilitando novos conhecimentos.

O uso de materiais de “baixo custo” permite que todos (professores e alunos) tenham acesso aos materiais para que possa produzir cada um o seu protótipo.

Desse modo, o experimento pode ser utilizado e reproduzido em qualquer ambiente escolar, não é dependente de um espaço amplo ou específico podendo ser utilizado em sala de aula, mas se preferir também pode ser utilizado um ambiente externo como pátio ou quadra de futebol.

A aplicação do experimento foi realizada em 2 aulas de 50 minutos cada, nas duas turmas com os alunos do primeiro ano do ensino médio de escola pública. Este era o tempo disponível, visto que os docentes temporários devem seguir um cronograma. Mas, aconselha-se que o conteúdo possa ser explorado em uma quantidade maior de aulas, o ideal seriam de 4 a 6 aulas, e caso for explorar o processo de rolamento da esfera, seriam necessários até 10 aulas no total.

O PE foi basicamente focado no aluno, tirando-o da zona de conforto, aplicando as condições de aprendizagem descrita por Ausubel: “*O material utilizado para a aprendizagem deve ser potencialmente significativo. O aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender, ou seja, para relacionar o novo material a sua estrutura cognitiva.*”

O professor escreve no quadro a palavra “energia”, e dialoga com os alunos,

perguntando o que eles entendem sobre essa palavra ali escrita. Nesse momento começa uma grande quantidade conceitual do cotidiano. É importante ouvi-los e questioná-los. Aos poucos eles começam a buscar na mente, as formas de energia que é produzida em nosso corpo, meio ambiente e em suas residências. Terminado essa primeira investigação, explicar aos alunos o motivo e os objetivos dessa aula, e aplicar um questionário pré-teste para documentar os conhecimentos prévios desses alunos.

O professor apresenta os conceitos de conservação de energia, representações existentes no cotidiano desenhadas no quadro, apresenta as equações básicas sobre o assunto.

Terminado essa definição teórica, apresentar o experimento aos alunos que já estarão divididos em grupos, deixando-os à vontade com o experimento, para explorar e discutir os conceitos ensinados. E, após o término da execução experimental, encerra-se o processo com o questionário pós-teste para analisar o quão a prática foi satisfatória.

2.1 - Produto Educacional (PE)

O produto educacional aqui proposto é um *looping* artesanal. Nesta seção, descrevem-se o processo para sua confecção, bem como a lista dos materiais utilizados.

2.1.1 Desenvolvimento do Produto

Iniciando pela lista de materiais utilizados, os materiais podem ser encontrados em casa de material de construção. A estrutura foi feita de madeira, no caso o pinus que é uma madeira não tão dura para se pregar.

Materiais Utilizados

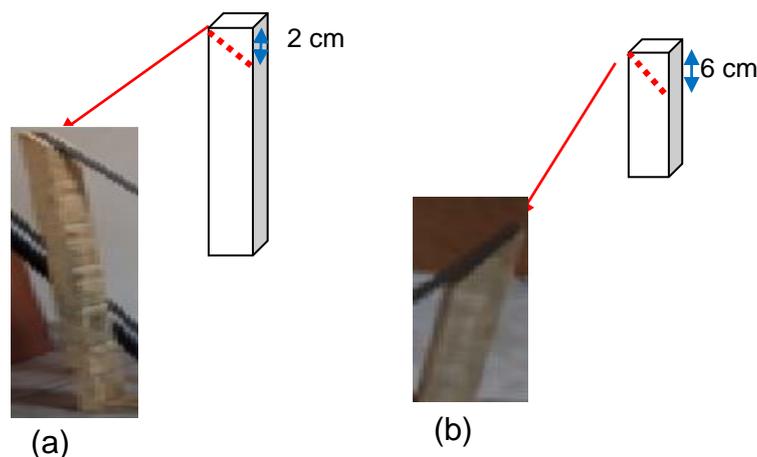
- 1 ripa de pinus de 1 metro para a base
- 1 ripa de pinus de 50 cm lateral maior
- 1 ripa de pinus de 20 cm lateral menor
- 1 lixa de madeira A237
- 10 parafusos de madeira 3,8mm x 40 mm P/BUC. 6 mm

- 8 pregos 6 x 6 1,10 mm x 14mm
- 1 junta de dilatação de PVC, cinza, 17 mm x 3mm x 2000 mm
- 1 serrote
- 1 Martelo
- 1 Parafusadeira ou chave de fenda
- 1 furadeira
- 1 broca de 4mm

Passo a Passo da construção:

1. Primeiramente faça um recorte na diagonal em uma das extremidades na ripa de madeira de 50 cm e a de 20 cm (Figuras 2.1 (a) e (b) respectivamente), que serão os pontos onde serão fixadas as extremidades do trilho do *looping*; Para isso faça um risco com um lápis, meça 2 cm na madeira maior no sentido do comprimento e com uma régua na diagonal trace o risco na madeira (veja detalhes ao lado do item (a) da Figura 2.1)) e utilize o serrote para efetuar o corte. Faça o mesmo para a ripa menor, mas agora medindo 6 cm no comprimento da mesma. Lixe toda a madeira.

Figura 2.1 – Imagens fotográficas dos cortes em diagonal (indicados com a seta) a ser feito em uma das extremidades da estrutura do looping: (a) a extremidade mais alta (madeira de 50 cm), e (b) extremidade menor (20 cm).

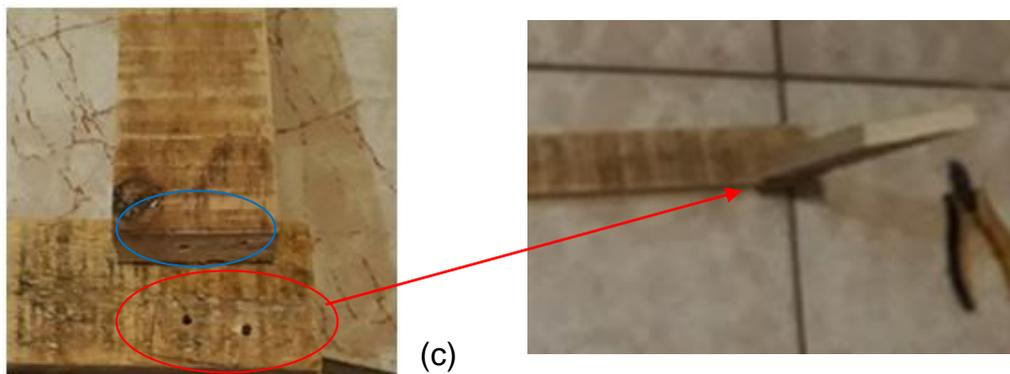


Fonte: arquivos da autora.

2. Lixe também a madeira da base, e fixe a haste maior e menor do lado oposto ao corte feito no item 1. Para isso faça os furos primeiros com a furadeira e depois utilize os parafusos e a parafusadeira ou chave de fenda para fixar. (a) Fure dois ou três pontos para que a base fique bem firme. (b) Indicando o local para fazer os furos circulos em vermelho na madeira antes de parafusar. (Ripa de 1 m, e (c) como fixar a ripa de 20 cm, furos circulos em azul) na de 1m.



Figura 2.2 – Imagens fotográficas dos cortes a ser feito em uma das extremidades da estrutura do *looping*: (a) a extremidade mais alta (madeira de 50 cm), e (b) extremidade menor (20 cm). Ao lado das figuras um desenho esquemático de como fixar, e fazer os furos. (c) Os detalhes dos furos nas madeiras e um lado já pregado.



Fonte: arquivos da autora,

3. Com a base pronta. Fixe uma das extremidades do trilho, Figura 2.3 b (1), do *looping*, que é a junta de dilatação de PVC, (Figura 2.3 (a)), esse é um material utilizado para separar pisos, faça a volta do *looping*, fixe o mesmo fazendo um furo inicial, Figura 2.3 b (2), e pregando os pregos de forma que não atrapalhe o trajeto da esfera, e fixe a extremidade livre no outro ponto do suporte de madeira, Figura 2.3 b (3).

Figura 2.3 – Imagens fotográficas (a) da junta de dilatação de PVC, utilizado como trilho, e (b) indicando os pontos de fixação do trilho no suporte de madeira.



(a)



(b)

Fonte: arquivos da autora.

E, por fim o aparato experimental pronto.

Figura 2.4 – Imagem fotográfica do *looping* concluído.



Fonte: arquivos da autora.

Procedimento Experimental:

Material:

- 1 esfera de aço de 2 cm (sugestão) de diâmetro
- 1 bola de gude de 2 cm (sugestão) de diâmetro
- 1 aparato experimental de *looping* pronto

- Peça aos alunos que posicionem a esfera de aço de uma determinada altura, até que o mesmo descubra qual a altura necessária para que o mesmo tenha velocidade suficiente para completar a volta no *looping*; E até que altura o mesmo alcança após realizar a volta. Anotar esses dados.

- Com os dados obtidos, realizar os cálculos baseado no experimento da velocidade com que a esfera atinge o ponto mais alto da curva, utilizando a equação (1.23), já considerando a conservação de energia mecânica;

- Repita o procedimento com a bola de gude.

Sugestão: Pode-se levar em conta o movimento de rotação da esfera, e utilizar a equação 1.53. E, caso ainda se queira discutir a lei de conservação de energia de forma geral e considerar a situação com atrito, pode-se cobrir o trilho com um material áspero e também discutir a relação trabalho força de atrito.

3 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Apresenta-se nesta seção a Sequência Didática (Quadro 1) baseada em Antoni Zabala, bem como um cronograma descrevendo o plano de desenvolvimento da abordagem para cada aula (Quadro 2) e os resultados obtidos da aplicação do produto educacional com os alunos do Colégio Estadual Basílio Itibere – Ensino Médio e Fundamental, no município de Maringá - Paraná.

Quadro 1 – Sequência Didática para aplicação do PE

Público Alvo
Escola: Colégio Estadual Basílio Itibere – Ensino Médio e Fundamental Professora: Arlete Moreira dos Santos Componente Curricular: Física Série: 1ª série Turma: A e B Carga Horária: 02 horas/aula Período: 3º trimestre
Tema Conservação da energia mecânica
OBJETIVO GERAL: - Objetivo introduzir o conceito de transformação de energia -Compreender os conceitos básicos de conservação de energia.
Conteúdos: Conceituais: energia cinética, energia potencial gravitacional e energia mecânica. Procedimentais: Determinar a velocidade das esferas quando atingem o ponto mais alto da curva do <i>looping</i> . Atitudinais: Inserir práticas experimentais; Estimular trabalho em grupo; Estimular o docente a atuar como mediador e não o ensino centrado no mesmo.
Descrição da aula Aula 01 (50 min.): fazer uma revisão de conceitos sobre energia cinética e energia potencial, e de Energia Mecânica. Trabalhar com os alunos a conservação de energia, por meio de exemplos no quadro. Aula 02 (50 min.): Aplicação do produto,fazer uma revisão sobre a conservação de energia, deduzir a equação para calcular a altura mínima de queda, e explorar esses

conceitos usando o produto educacional

RECURSOS DIDÁTICOS

- lousa, giz, livros didático, Produto Educacional - o *looping*, com régua de 1m, 1 esfera de aço e uma bola de gude.

AVALIAÇÃO

Critérios de Avaliação:

Espera-se que os alunos compreendam e relacione a energia cinética, energia potencial e energia mecânica com a conservação de energia mecânica

Discussão sobre o assunto realizado com os alunos;

-Atividade prática: explorar os conceitos utilizando o aparato experimental: *looping*

Instrumentos de avaliação:

-Avaliação será feito por meio de questionário pré-teste e pós-teste no qual será feito uma análise comparativa para avaliar a aprendizagem de forma quantitativa; e a participação dos alunos com as impressões tiradas pelo docente;

Fonte: a autora.

No Quadro 2 está apresentado o cronograma e a descrição de cada aula.

Quadro 2- Cronograma e descrição da aplicação da Sequência Didática.

Aplicação da SD		
Data da aplicação	Atividade desenvolvida na turma 1º A e 1ºB	Nº de aulas
	<p>Nesta aula o professor apresentará de forma breve o conteúdo a ser trabalhado e levantará o conhecimento prévio dos alunos. Iniciar uma breve discussão referente, ao conteúdo a ser aplicado, a seguir aplicar o pré-teste. Utilizando o texto de apoio, explicar o conteúdo referente à conservação de energia mecânica utilizando desenhos no quadro.</p> <p>Em cada desenho deixar claro como a energia se comporta no decorrer do movimento e como a energia se transforma.</p>	1 aula de 50 minutos.
	<p>O professor deverá fazer um desenho do <i>loop</i> no quadro e ao lado uma tabela com os dados fornecidos de altura etc... e demonstrar matematicamente a conservação de energia no sistema. Nesta aula não está sendo considerada a rotação da esfera, somente a translação. Em seguida resolver uma atividade com os alunos para calcular a altura mínima no qual deverá soltar uma bolinha para que a mesma possa completar o <i>loop</i>. Lembrar</p>	1 aula de 50 minutos

	<p>os alunos de que a velocidade inicial de liberação deve ser nula.</p> <p>Separar os alunos em grupos, de no máximo 5, distribua os protótipo do <i>loop</i> e deixá-los a vontade para explorar os conceitos estudados.</p> <p>Um pouco antes do término da aula aplicar o pós- teste, para a verificação da aprendizagem.</p>	
--	---	--

As aulas ministradas nas turmas do 1º ano A e B, para aplicação do produto, foram no mesmo dia logo cada turma com duas aulas conjugadas. Novamente, a profundidade em abordar o conteúdo vai depender do tempo disponível, este é o mínimo que podemos fazer para trabalhar com o *looping*. E seguir as sugestões apresentadas de cálculo no procedimento experimental, de calcular a velocidade no ponto mais alto do loop, trabalhar o processo de rotação junto com o de translação da esfera, e até situação com atrito.

3.1 Aula 1 - Introdução a Conservação da Energia Mecânica

Para a aplicação desse produto é sugerido à aplicação de um questionário pré-teste, com o objetivo de investigar os conceitos prévios dos alunos, pois é necessário para avaliá-los durante a aplicação do produto.

- **Questionário prévio (pré-teste)**

Este está constituído de 5 questões utilizando como estratégia a montanha russa.

- 1) A altura do *loop* deve ser igual à maior queda da montanha russa?
- 2) O que você entende por conservação de energia mecânica?
- 3) Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?
- 4) O que você entende por dissipação de energia?
- 5) Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o *loop* independente do número de pessoas?

Após recolher o teste, discutimos com os alunos as dificuldades encontradas durante a resolução do questionário, a fim de despertar a curiosidade sobre o assunto.

Sugestão: o professor pode pedir para os alunos uma leitura prévia do livro didático para ser feito em casa com o intuito de uma discussão um pouco mais elaborada.

3.2 - Aula 2- Aplicação do produto

Na segunda aula fazer um desenho do *looping* no quadro e explorando os conceitos de energias, conservação de energia, definido uma equação para calcular a altura mínima em que se deve deixar cair um objeto para que ele possa completar o *loop*. Nesse momento os alunos perceberão que a massa não interfere no sistema. Em seguida separar os grupos de até cinco alunos e distribuir a cada grupo um protótipo do *looping*, deixar os alunos explorar os conceitos visto em sala de aula por alguns minutos.

Como altura mínima para soltar a bolinha. Na Figura 2.5 apresenta o registro dos alunos nesta etapa.

Figura 2.5 – Imagem fotográfica dos grupos realizando o experimento no *aparato*



Fonte: arquivos da autora.

Na Fig.2.6, o aluno usou um cone feito de papel para facilitar na hora de liberar a bolinha de gude no ponto mais alto, pois eles não estavam conseguindo solta-la para que percorresse o percurso.

Figura 2.6 – Imagem fotográfica dos grupos realizando o experimento de uma forma alternativa para liberar a esfera.



Fonte: arquivos da autora

A Fig.2.7 apresenta os alunos que juntaram as extremidades de dois *looping*, com a intenção de que a esfera (bola de gude) quando terminasse de completar a volta de um dos *looping* passe para o outro *looping* fazendo a volta contrária.

Figura 2.7- Imagem fotográfica alunos tentando fazer a esfera (bola de gude) passar de um *looping* para o outro.



Fonte: arquivos da autora.

Enquanto os alunos manuseavam o *looping*, a professora passa em cada grupo questionando alguns conceitos ao passar pelo grupo da Fig. 2.5 da esquerda,

foi colocada uma régua no ponto mais alto do *looping*, até alcançar a base na vertical, marcando a altura. Os alunos foram questionados sobre o que acontece se soltar a esfera (bola de gude) daquela altura, eles responderam que a esfera (bola de gude) não conseguiria completar o *looping*, porque não teria velocidade o bastante, e para provar eles a soltaram.

Aos alunos que uniram a extremidade de dois *looping* tentando fazer a esfera (bola de gude) passar de um *looping* para o outro e quando questionados se haviam conseguido disseram que não porque a “bolinha” não tinha velocidade suficiente para completar o segundo *looping*.

Após alguns minutos foram recolhidos o *looping* de cada equipe, organizaram a sala novamente, a seguir foi aplicado o questionário pós-teste.

- **Questionário pós-teste.**

Após aplicação do produto, aplicar o questionário pós-teste a fim de avaliar se houve uma aprendizagem significativa

- 1) A altura do *loop* deve ser igual à maior queda da montanha russa? Explique
- 2) O que você entende por conservação de energia mecânica?
- 3) Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?
- 4) Que você entende por dissipação de energia?
- 5) Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o *looping* independente do número de pessoas? Explique.

3.3 Aplicações do Produto Educacional

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos da aplicação do produto educacional com os alunos do Colégio Estadual Basílio Itibere – Ensino Médio e Fundamental, no município de Maringá - Paraná.

3.4 Público Alvo

O PE foi aplicado a duas turmas de 1º ano do ensino médio, uma turma com 18 alunos e a outra com 16 alunos do Colégio Estadual Basílio Itibere – Ensino Médio e Fundamental, do município de Maringá - Paraná.

Os alunos residem próximos a escola. É uma turma bastante mista, em relação

à classe social.

O colégio possui um laboratório de ciências para a realização das atividades, mas é muito escasso em equipamentos experimentais na área de física. Não há incentivo por parte dos professores e dirigentes quanto à realização de experimentos e feira de ciências.

Mediante a tantas dificuldade a elaboração do PE para o ensino de física, despertou bastante interesse nos alunos. Os relatos posteriores dos alunos foram muito satisfatórios.

3.5 Análise dos Resultados.

Nesta seção será apresentada a parte qualitativa e quantitativa da validação do uso do PE com os alunos, como uma estratégia de ensino, bem como de avaliar o conhecimento prévio dos alunos em relação ao funcionamento de uma Montanha Russa.

3.6 Análises dos questionários: PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.

A análise foi feita questão a questão e posteriormente um resumo dos resultados estão apresentados na Tabela 3.1.

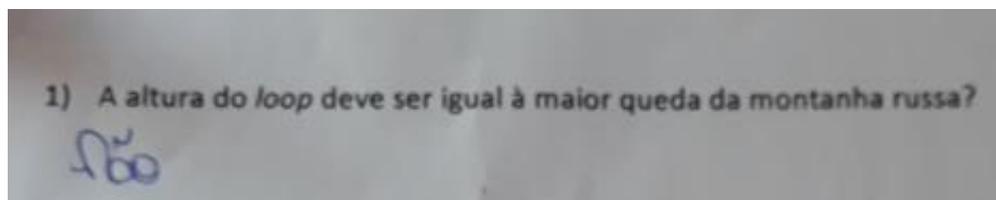
- **QUESTÃO 1 (pré- teste / pós-teste):** A altura do *loop* deve ser igual à maior queda da montanha russa?

Resposta esperada pelo professor: Não, porque se for à mesma altura o objeto não terá velocidade suficiente para completar o looping e cairá.

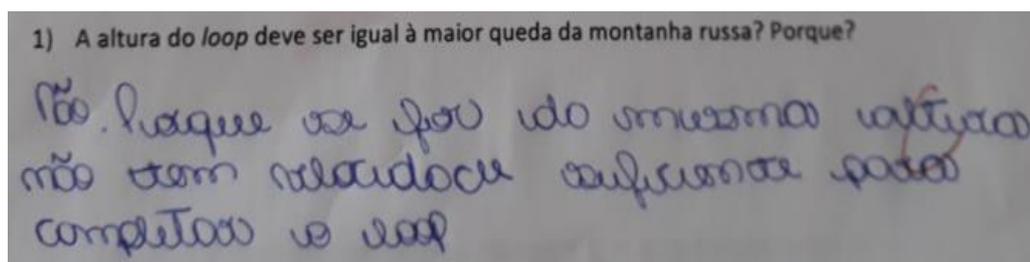
Ao propor essa questão esperava se que os alunos respondessem baseado no conceito prévio no qual serviria de ancora para o próximo conceito.

Ilustramos a seguir algumas das respostas selecionadas, por exemplo, o do(a) estudante 1.

Figura 3.1 – Imagem fotográfica da resposta do estudante 1, (a) pré-teste e (b) pós teste.
Transcrição: a) “Não” e b) “Não. Porque se for do [sic] mesma altura não tem velocidade suficiente para completar o loop”.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo da autora e questionário dos (as) estudantes.

Na questão 1, a maior parte dos alunos colocaram a resposta esperada tanto no pré como no pós teste, os resultados foram satisfatórios.

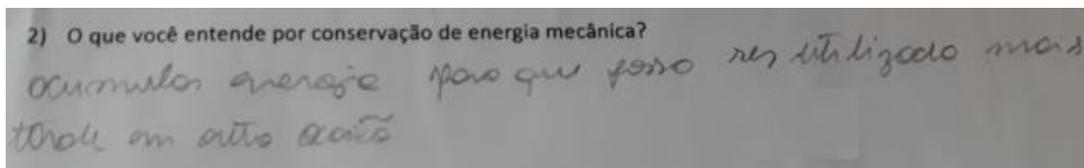
- **Questão2 (pré-teste / pós-teste):** O que você entende por conservação de energia mecânica?

Resposta esperada pelo professor: conservação da energia mecânica estabelece que a quantidade de energia mecânica total em um sistema isolado permanece constante.

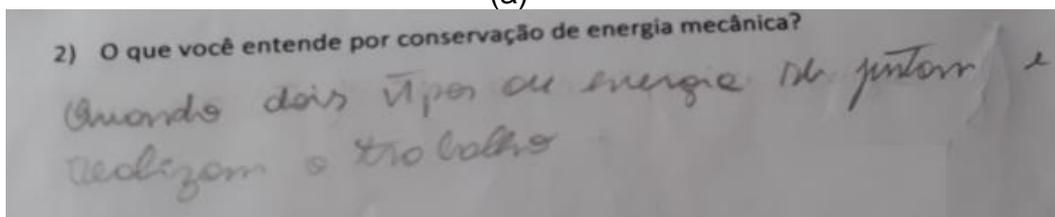
A Figura 3.2 (a) e (b) ilustra um tipo de resposta dada pelo (a) estudante 2.

Figura 3.2 – Imagem fotográfica da resposta do estudante 1, (a) pré-teste e (b) pós teste.

Transcrição: a) “acumular energia para que possa ser utilizada mais tarde em outra ocasião” e b) “Quando dois tipos de energia se juntam e realizam trabalho”.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo da autora e questionário dos (as) estudantes.

Nesta questão, o resultado esperado não foi tão bom, nos dois testes, sendo pré teste 67,7% responderam de forma não esperada, no pós teste 73,5%. Não obtiveram melhora, ouve um aumento no número de alunos que não responderam de forma esperada.

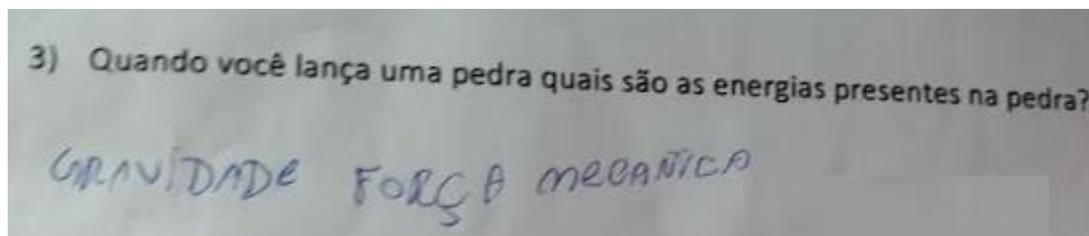
- **Questão 3 (pré teste / pós teste):** Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?

Resposta esperada pelo professor: Energia cinética e energia potencial.

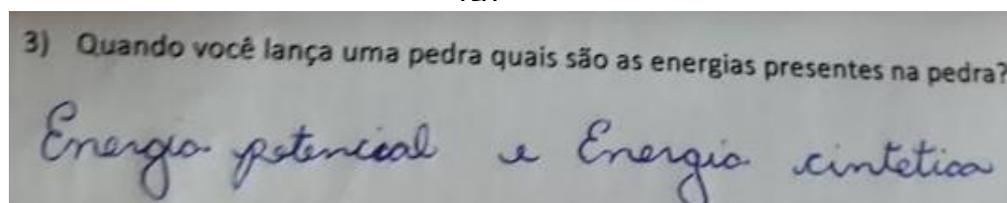
No pré teste o nível de acertos estava bem baixo em contrapartida no pós teste teve um aumento significativo de acertos.

Na Figura 3.3 – apresenta-se um tipo de resposta antes e depois da aplicação do PE.

Figura 3.3 – Imagem fotográfica da resposta do estudante 1,(a) pré-teste e (b) pós teste. Transcrição: a) “gravidade força mecânica” e b) “Energia potencial e Energia sintética [sic]”.



(a)



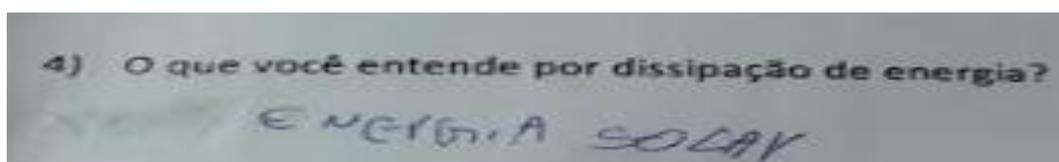
(b)

Fonte: Arquivo da autora e questionário dos (as) estudantes.

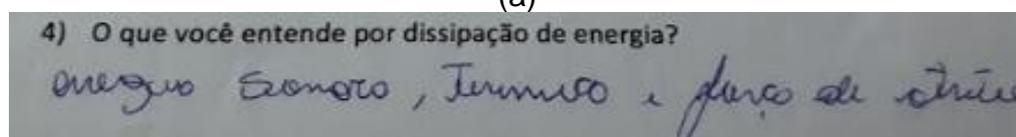
- **Questão 4 (pré teste / pós teste):** O que você entende por dissipação de energia?
Resposta esperada pelo professor: É toda energia perdida em um sistema em forma de calor, atrito etc.

Os alunos no pré-teste tiveram bastante dificuldade para responder essa questão, pois não sabiam muito sobre o assunto pelo menos 50% da sala responderam incorretamente, no pós-teste tiveram uma melhora, 82,3% conseguiram compreender. Um exemplo é a resposta apresentada na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Imagem fotográfica da resposta do estudante 1,(a) pré-teste e (b) pós teste. Transcrição: a) “energia solar” e b) “energia sonora, térmica e força de atrito”.



(a)

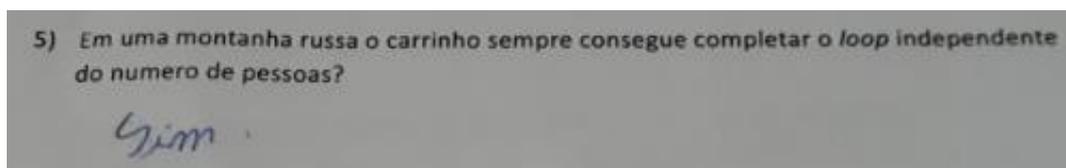


(b)

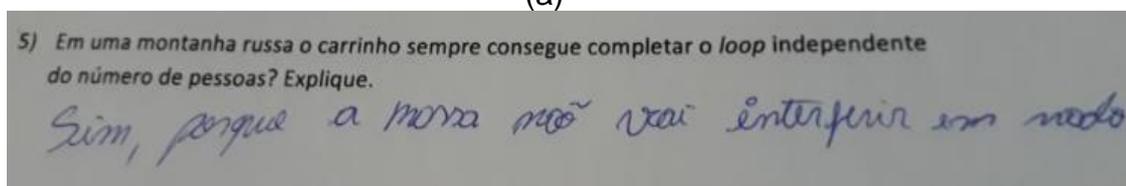
Resposta esperada pelo professor: sim, porque o sistema não depende da massa.

Fazendo uma análise geral em termo de porcentagem, no pré-teste os alunos obtiveram uma margem de 61,8% de acertos e na analise do pós-teste os alunos obtiveram uma margem de 67,6%, de acerto, no entanto ouve uma pequena melhora

Figura 3.5 – Imagem fotográfica da resposta do estudante 1,(a) pré-teste e (b) pós teste. Transcrio: a) “sim” e b) “Sim, porque a massa não vai interferir em nada”.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo da autora e questionário dos (as) estudantes.

Na Tabela 3.1, apresentam-se o percentual dos dados obtidos nos teste aplicados.

Tabela 3.1 - Relaciona o dado obtido no pré-teste e no pós-teste aplicado.

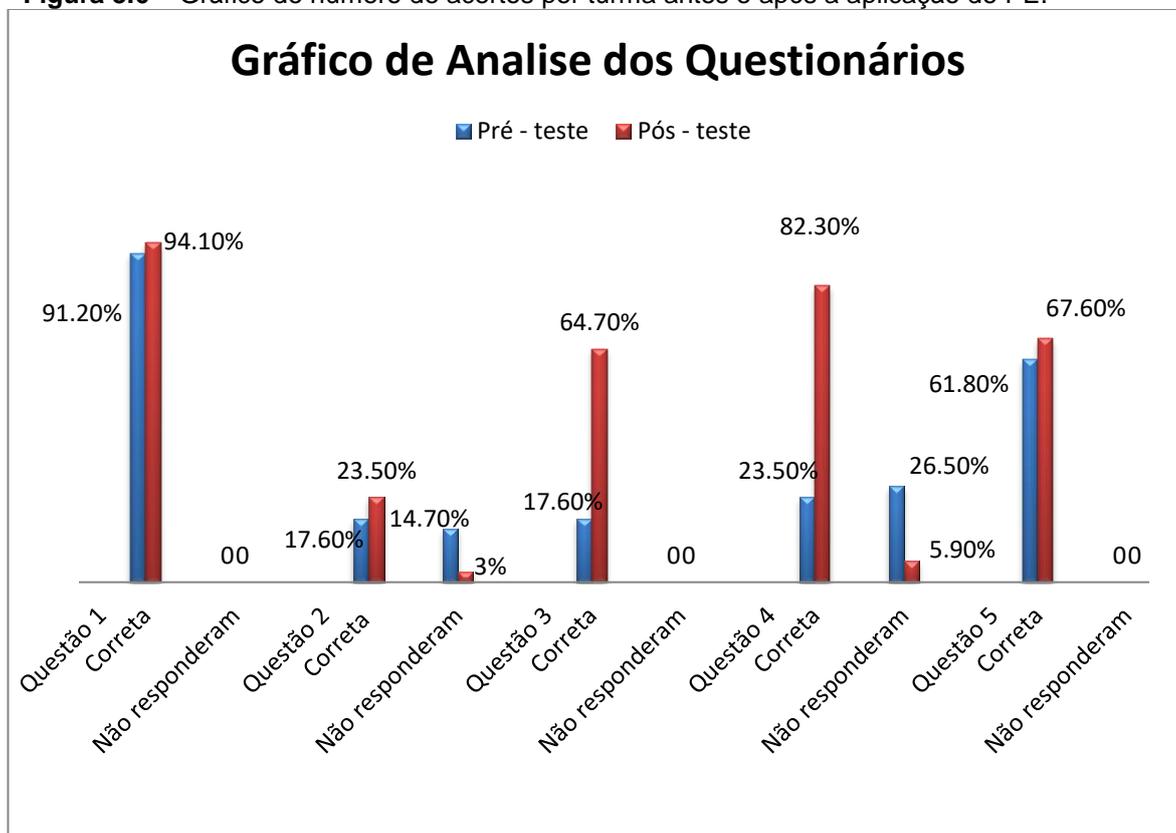
Turmas 1 A e B	Pré - teste	Pós - teste
Questão 1		
Correta	91,2%	94,1%
Errada	8,8%	5,9%
Não responderam	0	0
Questão 2		
Correta	17,6%	23,5%
Errada	67,7%	73,5%
Não responderam	14,7%	3%
Questão 3		
Correta	17,6%	64,7%

Errada	82,4%	35,3%
Não responderam	0	0
Questão 4		
Correta	23,5%	82,3%
Errada	50%	11,8%
Não responderam	26,5%	5,9%
Questão 5		
Correta	61,8%	67,6%
Errada	38,2%	32,4%
Não responderam	0	0

Fonte: a autora

A seguir, na Figura 3.6, o gráfico de análise dos dados das duas turmas.

Figura 3.6 – Gráfico do número de acertos por turma antes e após a aplicação do PE.



Fonte: a autora.

Um dos objetivos desse produto é proporcionar ao professor uma ferramenta que o auxilia no desenvolvimento de seu trabalho. O produto educacional veio como uma ferramenta facilitadora para que se possa trabalhar com alunos de primeiro ano do ensino médio. Na aplicação do produto foram realizados diversos exemplos referentes à conservação de energia e aplicado questionários pré e pós-teste, para avaliar o desempenho dos alunos.

Foram avaliadas duas turmas de 1º ano do ensino médio, uma turma com 18 alunos e a outra com 16 alunos. Ao avaliar a questão 1, nota-se que os alunos já tinham um conceito prévio e após a aplicação houve uma pequena melhora na aprendizagem.

Quanto à questão dois, foi observado que no pré-teste 67,7% dos alunos responderam de forma incorreta ou não esperada, e no pós-teste, além de não melhorar o percentual de erros ou não responderam corretamente aumentou 73,5%. O que poderia ter acontecido? Esses resultados deveriam ser melhores, então o que deu errado? A primeira análise feita foi que os alunos não compreenderam o conceito de conservação de energia, portanto foi sugerida a reaplicação do produto nas mesmas turmas, pois havia encontrado uma falha naquele ponto, no entanto fazendo uma reflexão que, talvez os alunos tivessem entendido o conceito, e que talvez eles só não tivessem entendido a pergunta na forma como foi colocada. Reformulando a questão dois foi perguntado aos alunos quais os tipos de energias o sistema possui, o que acontece com essa energia em cada ponto, por fim como se comporta essas energias ao entrar e sair do sistema, surpreendentemente os alunos responderam corretamente, ou seja, da forma esperada, nota-se que eles compreenderam o conceito, só não entenderam a pergunta na forma em que foi elaborada.

Na terceira questão houve uma grande melhora, logo os alunos compreenderam e entenderam o conteúdo, pois quando lhes foi perguntado os tipos de energias presentes num sistema ao lançar um objeto eles responderam da forma esperada, também citaram o peso como sendo forças presentes no sistema, e indiretamente a influência da aceleração da gravidade

O mesmo fato ocorreu na questão 4, houve uma melhora bem significativa o número de acertos cresceu bruscamente na realização do pós-teste.

E, por fim, na questão 5 houve uma melhora pois essa é uma questão mais

próxima da realidade deles.

Durante a aplicação do produto os alunos foram, orientados, questionados e observados pela professora, no qual se observou bons resultados. Resultados esses que poderiam ser melhores caso a professora possa ter um número maior de aula para trabalhar o conceito e aplicar o produto, no entanto duas aulas foi pouco, para que os alunos possam identificar o conceito novo, compreender e assimilar.

4. RELATO DE EXPERIÊNCIA

A primeira experiência inovadora foi à construção de um *looping* de forma artesanal, e ainda replicar o mesmo. Trocar idéias com o orientador sobre o que ocorria até chegar à versão final.

Trabalhar como PSS (temporário) significa ficar em uma fila esperar aguardando surgir uma vaga para que possamos trabalhar.

Durante esse tempo em sala de aula com os alunos, tive muita dificuldade em me ajustar, pois os alunos vinham da segunda troca de professor, estavam com o conteúdo bastante atrasado, precisou de um tempo para os ajustes professor e aluno, tal como interação pessoal, recuperação de conteúdo atrasados.

Após os ajustes ocorreu a aplicação do produto educacional no qual foi muito bem aceito pelos alunos do primeiro ano do ensino médio e pela escola, foi uma experiência incrível os alunos demonstraram bastante interesse e participaram muito houve um ganho de conhecimento de ambas as partes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O professor tem como papel principal proporcionar aos alunos uma aprendizagem, e para isso é muito importante que desperte a atenção dos alunos e o desejo de aprender. Uma das maneiras de atraí-los é desafiando a buscar conhecimento a fim de promover uma educação de qualidade. O uso de materiais que está inserido no cotidiano é uma ferramenta essencial para esse processo.

Em relação ao presente trabalho, é recomendado que o professor faça uma revisão teórica com os alunos com a intenção de mostrar que para entender a conservação de energia não necessariamente está ligada somente aos cálculos matemáticos, e se ainda restar dúvida ou se houver uma falha na aprendizagem que esta possa ser identificada no início, pois cada pessoa aprende de forma diferente, e nem sempre uma abordagem usada pode atingir todos os alunos a superar as dificuldades.

Um dos objetivos do produto educacional é atrair os alunos, despertar a sua curiosidade, para que possam aprender e não a decorar o conteúdo, pois quando se decora o conteúdo a informação não fica registrada no cognitivo, quando aprendem de forma significativa, o conteúdo fica registrado podendo dizer que o aluno aprendeu.

O papel do professor é preparar os alunos para receber o conhecimento, para que possam viver, na sociedade que é caracterizada competitiva. Nesse sentido, propõe-se a utilização do aparato experimental *looping*, para trabalhar conservação de energia, mais especificamente a conservação de energia mecânica. Além disso, o professor pode calcular a energia cinética de rotação e de translação da esfera, enfim esse produto fica a disposição para o professor explorar conceitos da física com os alunos.

De modo geral o produto proposto desperta interesse dos alunos por ser uma atividade diferenciada e aprendem de maneira significativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D.P. A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982

DOCA, R. H, BISCUOLA, G. J., VILLAS BOAS, N. , **física** 1.1ed. Paulo: Saraiva 2010
FEYNMAN, Richard. Lições de física de Feynman. Trad. Adriana Válio Roque da Silva e Kaline Rabelo. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. , **Fundamentos de física** , vol1 9ª Ed 2012.
MOREIRA, M.A, Aprendizagem Significativa. Brasília Editora da UnB, 1999 ;

MOREIRA, M. A, O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA? Instituto de Física – UFRGS Porto Alegre – RS Disponível em : <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>.
Acesso em 14 de outubro de 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica – Mecânica** Vol.1 - 3ª Ed, .2012.
NITSCHKE, Felipe E. A. **Lei de Hooke e conservação de energia: uma proposta experimental aplicada ao primeiro ano do Ensino Médio.**

RAMOS, CLINTON M., BONJORNO, V., BONJORNO, J. R., BONJORNO, R., Física fundamental, vol. Único editora FTD S.A. SP, 1999

TIPLER, P, AMOSCA, G, **Física para cientistas e engenheiros vol.1** Rio de janeiro 2006.

ANEXO A– Termo de liberação para aplicação do PE na escola.



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Maringá, 22 de outubro de 2018.

À Diretora Janaíçara Lara Tait
Diretora da Escola Estadual Brasilio Itiberê - Ensino Fundamental e Médio
Rua Dr. Arion Ribeiro de Campos, 885 – Zona 2, Maringá, Paraná, 87010-320

Prezada Diretora,

Venho por meio desta, apresentar a Pós-Graduanda **ARLETE MOREIRA DOS SANTOS (RA 49889)**, acadêmica regularmente matriculada no Programa de Pós Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), desde 01/03/2017. Esta desenvolve o trabalho intitulado: "USANDO PROTÓTIPO DA MONTANHA RUSSA PARA ENTENDER A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA" sob a orientação do Prof. Breno Ferraz de Oliveira.

Nesse sentido, solicitamos a autorização desta Escola para que a pós-graduanda **ARLETE MOREIRA DOS SANTOS** possa realizar a sua pesquisa para desenvolver e aplicar seu trabalho de mestrado na Escola Estadual Brasilio Itiberê, nas duas turmas do primeiro ano do Ensino Médio, respeitando o caráter ético e assegurando a preservação da identidade das pessoas participantes.

Esclarecendo que os acadêmicos do MNPEF são professores da rede de ensino que ministram a componente curricular Física ou Ciências, e que o trabalho de mestrado destes deve gerar um Produto Educacional e uma Dissertação explorando a validade de seu produto educacional. Solicitamos assim, a permissão para a divulgação do trabalho desenvolvido incluindo os resultados e suas respectivas conclusões da aplicação do Produto Educacional preservando sigilo e ética.

Por fim, nos colocamos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o desenvolvimento do projeto de pesquisa que está sendo realizado.

Agradecemos vossa compreensão e colaboração.
Atenciosamente,

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira
Orientador

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
Coordenador do Programa de Pós-Graduação do Profissional
em Ensino de Física (Polo UEM)

AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO:

Concordo com o solicitado:

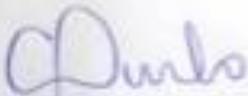
Janaíçara Alves Malheiros Lara Tait
DIRETORA - RA 5 325 487 3
Res. 741/2018 - D.O. 1 - 04/03/2018

Diretora Janaíçara Lara Tait

DECLARAÇÃO

Eu, **Carlos Henrique Durlo**, portador do RG 9.230.866-9, residente no município de Maringá, estado do Paraná, graduado em Letras-Português e Literaturas Correspondentes pela Universidade Estadual de Maringá, Mestre em Letras pela Universidade Estadual de Maringá e Doutorando em Letras pela Universidade Estadual de Maringá, declaro para os devidos fins, e a quem interessar, que realizei a revisão da dissertação de Mestrado, bem como do Produto Educacional: **ENTENDENDO A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA POR MEIO DA MONTANHA RUSSA**, de autoria de **ARLETE MOREIRA DOS SANTOS**.

Por ser expressão da verdade, firmo a presente declaração.



CARLOS HENRIQUE DURLO
RG 9.230.866-9

APÊNDICE – PRODUTO EDUCACIONAL

Neste apêndice apresenta-se o Produto Educacional de forma a ser confeccionado e aplicado.



PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico

ENTENDENDO A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA POR MEIO DE MONTANHA RUSSA

ARLETE MOREIRA DOS SANTOS

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Pólo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Breno Ferraz de Oliveira

Maringá - PR
FEVEREIRO, 2020

Apresentação

Prezado Professor,

O presente produto educacional oferece uma ferramenta de fácil acesso ao professor, para trabalhar a conservação de energia mecânica em sala de aula, por intermédio da utilização de um *looping* artesanal para complementar e potencializar o conceito físico. A realização desse produto conta com a participação dos alunos e uma metodologia investigativa por meio de experimentação.

Os professores em sala de aula, contam com um fator negativo, que acaba dificultando o seu trabalho, que é número de aulas reduzidas e as salas superlotadas, fatores esses que por sua vez interfere na e a aprendizagem do aluno.

Diante disto esse produto Educacional (PE) tem por objetivo ser uma ferramenta facilitadora nesse processo de ensino aprendizagem, visto que a montanha russa nada mais é que um *looping*, e é um objeto que serve como um fator de ancoragem para que possamos explorar e assim obter uma aprendizagem significativa.

Aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ou seja, a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específico (Moreira, 1999).

A elaboração desse produto foi baseada e produzida a partir dos conceitos do livro didático, sendo que o mesmo trás diversos exemplos em formas de figuras, retratando o *looping*.

Nesse material, o professor encontrara um roteiro para a realização e aplicação do produto *looping* e ilustrações que facilitarão a demonstração do conteúdo.

Para avaliar a aprendizagem foram sugeridos questionários que podem ser aplicados antes, e depois da aplicação do produto. Dessa forma, o professor saberá se esse método de trabalho esta sendo satisfatório e se esta ocorrendo uma aprendizagem significativa sabendo que para que ocorra uma aprendizagem significativa existe algumas condições. Uma dessas condições diz que.

“independentemente de quão potencialmente significativo seja o material a ser aprendido se a intenção do aprendiz é simplesmente a de memorizá-lo arbitrariamente e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos ou sem significado.” (Moreira, 1999)

Este material estará disponível para *download* na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série pelo docente interessado.

Maringá, 20 de Fevereiro de 2020.

Arlete Moreira dos Santos

SUMÁRIO

CONTEÚDO

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	67
2 PRODUTO EDUCACIONAL.....	73
2.1 Objetivo	73
2.2 Construção do Aparato Experimental	73
2.2.1 Materiais Utilizados.....	73
2.2.2 Preparação dos Materiais Utilizados para a Estrutura.....	73
2.2.3 Montagem do Aparato Experimental	74
2.2.4 Aparato Experimental.....	78
3 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	79
3.1 Plano de Aula	81
3.2 Aula 1- Questionário prévio (pré-teste).....	83
3.3 Aula 2 - Aplicação do Produto	83
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Físico norte americano Richard Phillips Feynman (1918-1988) se referiu ao conceito de conservação de energia.

Existe um fato, ou se você preferir uma lei que governa todos os fenômenos naturais que são conhecidos até hoje [...]. A lei é chamada de conservação da energia. Nela enunciamos que existe certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais a natureza passa. Essa é uma idéia muito abstrata porque é um princípio matemático: ela diz que existe uma quantidade numérica que não muda quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou algo concreto é apenas um estranho fato de que podemos calcular algum número e quando terminamos de observar a natureza fazer seus truques e calculamos o número novamente ele é o mesmo. (Feynman.)

Ao realizar qualquer movimento ou atividade física, ocorre uma transformação de energia, podendo ser energia química, energia mecânica, energia térmica por exemplo.

Para que uma pessoa possa realizar atividade, mover-se, correr, ela precisa de energia que é gerada por meio da ingestão de alimentos. Logo essa energia é transformada em calor e movimento. Nos aparelhos elétricos a energia é transformada em energia mecânica, energia sonora, energia térmica e no caso dos veículos parte do combustível é transformada em energia cinética que possibilita o movimento.

Mediante a estas observações pode-se enunciar o princípio da conservação da energia mecânica podendo ser escrita da seguinte forma: “*A energia pode ser transformada de uma forma em outra, mas não pode ser criada nem destruída; a energia total é constante*”. (DOCA, 2010)

A Equação (1) é uma representação da energia mecânica em um sistema conservativo dada por:

$$E_M = E_C + E_P = \text{constante} \quad (1)$$

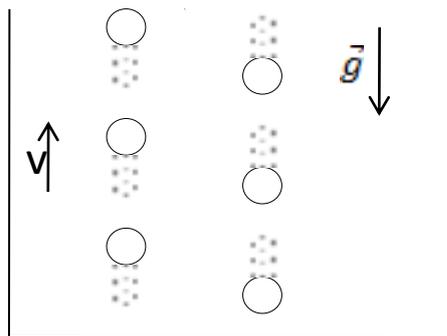
Sistema conservativo, quando o objeto do sistema não está sujeito a forças de atrito e de arrasto. A força de arrasto atuante em um corpo é, portanto, composta de duas parcelas: uma devida ao arrasto de atrito e a outra ao arrasto de

pressão, arrasto é a força que faz resistência ao movimento de um objeto sólido através de um fluido. O arrasto é feito de forças de fricção (atrito), que agem em direção paralela à superfície do objeto. Uma força não conservativa é chamada de forças dissipativas. A força de atrito cinético e arrasto são forças dissipativas.

A energia pode ser representada de varias formas um exemplo dessa representação esta nas coisas mais simples, como o ato de lançar objetos. Pode se observar que, quando ha um aumento de energia cinética no sistema ocorre uma diminuição igual da energia potencial e vice versa.

Tomaremos por exemplo um objeto sendo lançado para cima num movimento vertical sob a ação do campo gravitacional da Terra, desprezando a resistência do ar (Fig. 1).

Figura 1 - Desenho esquemático indicando objeto lançado para cima

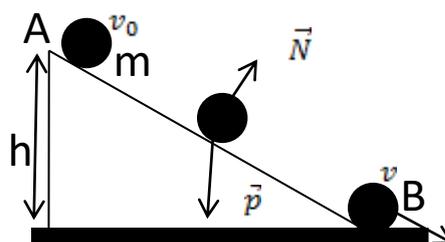


Fonte: a autora

Durante a subida a energia cinética da pedra vai diminuindo enquanto a energia potencial aumenta. O mesmo acontece na queda. A energia cinética aumenta enquanto a energia potencial diminui, na mesma proporção. Isso faz com que a soma da energia potencial com a energia cinética não varie, de modo que a energia mecânica permaneça sempre constante. Pode se afirmar, no entanto que o sistema mecânico idealizado é conservativo.

No exemplo a seguir, observe o caso em que uma bolinha é abandonada do alto de um plano inclinado de uma altura h , desprezando a força de atrito e a resistência do ar.

Figura 2 - Desenho esquemático indicando plano inclinado



Fonte: a autora.

Observa-se que a energia mecânica no ponto A é igual à energia mecânica no ponto B conforme a Eq. (4)

$$\text{Ponto A: } E_M = E_C + E_P \quad (2)$$

$$\text{Ponto B: } E_M = E_C + E_P \quad (3)$$

$$E_{MA} = E_{MB} \quad (4)$$

Fazendo uma análise das energias presentes no ponto A e no ponto B nota-se que no ponto A, por ser o ponto mais alto, possui apenas a energia potencial e quanto a energia cinética é nula. Considerando que o corpo não possui velocidade naquele ponto $v_0 = 0$. Enquanto no ponto B o corpo perde altura e ganha velocidade, portanto nesse ponto a energia potencial é igual a zero, possuindo apenas energia cinética, assim como a Eq.(5)

$$E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB}. \quad (5)$$

Fazendo algumas substituições temos

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot mV^2 \quad (6)$$

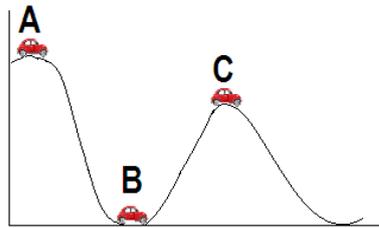
$$2 \cdot \frac{m}{m} \cdot g \cdot h = V^2. \quad (7)$$

Obtendo assim, a equação final para a velocidade mínima em que a esfera chegará ao solo.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (8)$$

O mesmo conceito de conservação de energia se aplica para um sistema como o da Figura 3. Desprezando as forças dissipativas (resistência do ar, atrito) o corpo possui a mesma energia mecânica ao passar pelos pontos A, B e C.

Figura 3 - Desenho esquemático indicando uma simulação da montanha russa.



Fonte: a autora

$$\text{Ponto A: } E_M = E_C + E_P \quad (9)$$

$$\text{Ponto B: } E_M = E_C + E_P \quad (10)$$

$$\text{Ponto C: } E_M = E_C + E_P \quad (11)$$

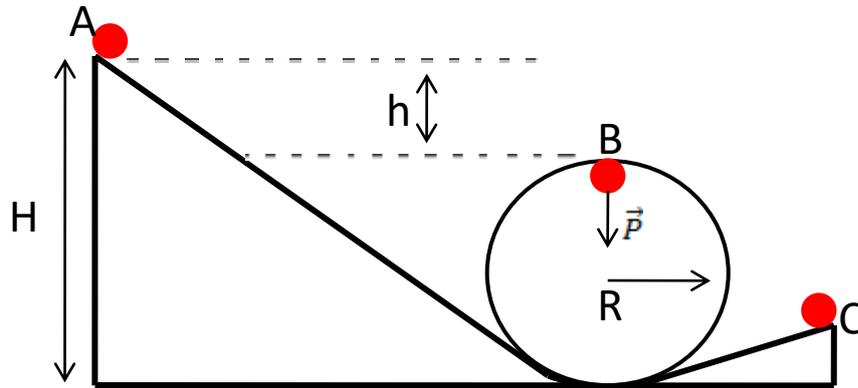
E, por fim, no caso da montanha russa, considerando o momento em que a esfera é abandonada no alto de uma rampa, esse modelo permite relacionar o princípio da conservação da energia com a dinâmica do movimento circular de uma maneira muito motivadora e interessante.

Portanto, uma esfera abandonada no alto de uma rampa (Figura 4) é capaz de percorrer toda trajetória sem sair do trilho, pode-se perceber o papel da energia potencial gravitacional (mgh) a partir da altura mínima necessária para completar o *looping* e a ação da força centrífuga da esfera contra o trilho. Mas é importante lembrar que a esfera possui uma rotação e por possuir pequenas variações será desprezada nesse momento.

Esse modelo não nos permite fazer verificações quantitativas por causa do atrito e da rotação da esfera, que exige o conceito de energia cinética de rotação, que não será abordada nesse momento.

Para que o objeto possa completar a volta é preciso saber a altura mínima necessária partindo da equação (4).

Figura 4 - Desenho esquemático indicando o movimento de uma esfera no *looping*



Fonte: adaptada pelo autor

$$E_{MA} = E_{MB}.$$

Como o objeto foi abandonado no ponto A logo $V_0=0$

$$E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB}, \quad (12)$$

$$m \cdot g \cdot H_{min} = \frac{1}{2} \cdot mV^2 + m \cdot g \cdot h. \quad (13)$$

Sendo que $h = 2R$, $V^2 = V_{min}^2$, analisando o ponto mais alto do *looping* na figura 5, nota-se que a força normal é zero, pois quando a bolinha esta atinge a altura máxima ela tende a perder o contato com a pista, no entanto $\vec{F}_c = \vec{P} + \vec{N}$ e igualando com eq. (1.25) obtém $V^2 = R \cdot g$

$$g \cdot H_{min} = \frac{1}{2} \cdot V_{min}^2 + 2R \cdot g, \quad (14)$$

$$g \cdot H_{min} = \frac{1}{2} \cdot R \cdot g + g \cdot 2R. \quad (15)$$

Reagrupando os termos e isolando H_{min} temos a altura mínima que o objeto pode ser abandonado para completar o *looping*.

$$H_{min} = \frac{R}{2} + 2R,$$

$$H_{min} = \frac{5R}{2}. \quad (16)$$

No caso de considerar o movimento de rotação da esfera maciça:

$$E_{mA} = m \cdot g \cdot H$$

$$E_{mB} = mg(2R) + \frac{1}{2} mv_{cm}^2 + \frac{1}{2} I\omega^2. \quad (17)$$

Sendo $I = \frac{2}{5} mr^2$ e $\omega = \frac{v}{r}$

$$v_{cm} = \sqrt{2g(H - 2R) - \frac{I_{cm} \cdot \omega^2}{m}} \geq \sqrt{Rg}. \quad (18)$$

Observação: Nesse trabalho o movimento de rotação e a resistência do ar serão desprezados, por isso foi usado esfera com maior densidade, portanto não se devem usar bolas de tênis de mesa ou isopor.

A energia cinética no caso da existência da rotação é:

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (19)$$

Para melhor entender ver seção 1.1.5. da dissertação.

2 - PRODUTO EDUCACIONAL

2.1 OBJETIVO

Analisar e estudar os conceitos de conservação de energia.

2.2 CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

Nesta seção será descrito a lista de materiais utilizados e o passo a passo da construção do aparato experimental. No caso um “looping” artesanal.

2.2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Esta lista de materiais é para a construção de um aparato experimental.

- 1 ripa de pinus de 1 metro
- 1 ripa de pinus de 50 cm
- 1 ripa de pinus de 20 cm
- 1 lixa de madeira A237
- 10 parafusos de madeira 3,8mm x 40mm P/BUC. 6mm
- 6 pregos 6 x 6 1,10 mm x 14mm
- 1 junta de dilatação cinza 17 mm x 3mm x 2000 mm
- 1 serrote
- 1 martelo
- 1 Parafusadeira ou chave de fenda
- 1 furadeira
- 1 broca 4mm

2.2.2 PREPARO DOS MATERIAIS PARA A ESTRUTURA

1. Com o auxílio de uma lixa, lixar as ripas de pinus de 1 m até que ela fique com aspecto de liso, sem farpas para não machucar ninguém, em seguida usar um pano seco para retirar o pó da madeira.

2. Com um serrote divida a ripa em duas partes iguais com 50 cm cada.
3. Em uma das partes da ripa de 50 cm, meça 2 cm na extremidade e faça um corte na diagonal, conforme indicado na Figura 2.1 (a). Pegue a ripa de 20 cm meça 6 cm, em uma das extremidades faça um corte na diagonal como na Figura 2.1 (b).

Figura 2.1 – Imagem fotográfica (a) indicando como fazer o corte na diagonal em uma das extremidades da ripa de 50 cm e (b) o corte já feito também na ripa de 20 cm, indicado com a seta em vermelho.



Fonte: arquivos da autora.

2.2.3 MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL

Para a montagem do aparato experimental, primeiramente separe todos os materiais a serem utilizados: as ripas de madeira, a junta de dilatação de PVC, os pregos e parafusos, bem como as ferramentas necessárias para a montagem Figura (2.2).

Figura 2.2 – Imagem fotográfica para a montagem do aparato experimental: (a) ripa de 1m de comprimento, (b) ripa de 50 cm de comprimento, (c) a ripa de 20 cm, (d) junta de dilatação, e (5) 4 parafusos.



Fonte: arquivos da autora

1. Na ripa de 50 cm, com a furadeira e a broca faça dois furos paralelos horizontalmente na extremidade contrária ao corte diagonal (dica: furar a madeira antes com uma broca menor para que o parafuso não rache a madeira) conforme a Figura 2.3.

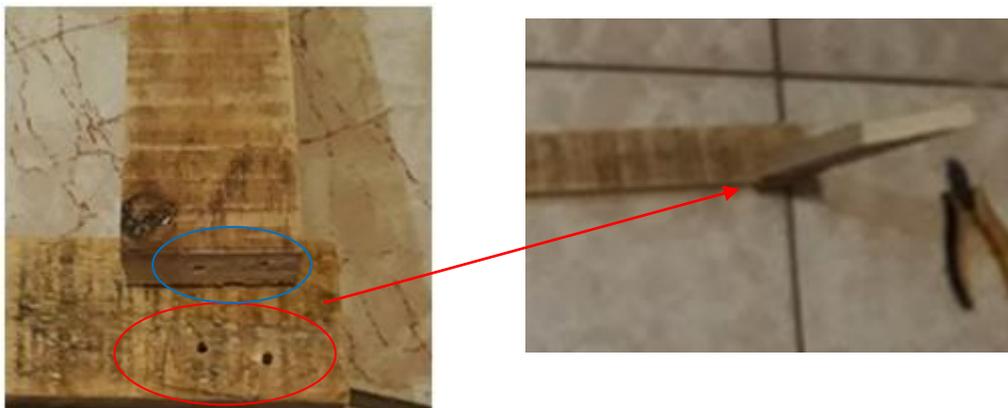
Figura 2.3 – Imagem fotográfica indicando o local para fazer os furos na madeira antes de parafusar. Ripa de 50 cm.



Fonte: arquivos da autora.

2. Na outra extremidade da ripa de 1m com o uso da furadeira e da broca faça dois furos paralelos horizontal na parte inferior da ripa de 1m, ilustrado na Figura 2.4 (a), e fixar a ripa de 20 cm (Figura 2.4 (b)).

Figura 2.4 – Imagem fotográfica (a) indicando o local para fazer os furos circulos em vermelho na madeira antes de parafusar. Ripa de 1 m, e (b) como fixar a ripa de 20 cm, furos circulos em azul) na de 1m.



Fonte: arquivos da autora,

3. A ripa de 1m é a base da estrutura. Fixe a outra ripa de 50 cm na vertical (o corte em diagonal deve ficar para cima) formando um ângulo de 90° entre as duas ripas, conforme indicado na Figura 5(a). Com a Parafusadeira ou chave de fenda e o parafuso unir as partes de 1m na vertical com a de 50 cm, conforme a Figura 5(b).

Figura 2.5 – Imagem fotográfica (a) Indicando como ficará a montagem e (b) como fixar a ripa de 20 cm, furos circulosados em azul na de 1m. Com prego e 1 parafuso.



(a)

(b)

Fonte: arquivos da autora.

4. Colocar um prego na ponta da junta de dilatação para facilitar quando for pregar na madeira (Figura 2.6 (a)) e (b) fixando a junta na parte superior da ripa.

Figura 2.6 – Imagem fotográfica colocando o prego primeiro na junta de dilatação de PVC. E sua fixação na parte superior da ripa de 50 cm. (b) Fixando o prego na junta.



(a)

(b)

Fonte: arquivos da autora.

5. Na base, parte horizontal de 1m, com a trena ou régua meça mais ou menos 65 cm, faça um arco do *looping* com a junta de dilatação e prenda com prego, continue a curvar a junta até formar um círculo e prenda novamente com

prego a outra parte conforme a Figura 2.7 (a). Ao colocar a junta de dilatação na madeira com o prego. Usar uma chave de fenda para fixá-lo completamente assim não correrá o risco de quebrar o material (Figura 2.7 (b)).

Figura 2.7 – Imagem fotográfica (a) fixando com um prego a parte do loop da junta de dilatação na base do suporte de madeira. (b) a parte do loop fixada na base da madeira.



(a)



(b)

Fonte: arquivos da autora.

6. Pegue a ponta da junta de dilatação que da sequência ao *looping* e coloque na diagonal da ripa de 20 cm que foi fixado na final da base e finalize com o prego, conforme a Figura 2.8.

Figura 2.8 – Imagem fotográfica indicando a fixação da junta de dilatação de PVC na haste vertical (extremidade mais baixa, a de 20 cm) da base de madeira, ponto indicado pela seta em vermelho.



Fonte: arquivos da autora.

2.2.4 APARATO EXPERIMENTAL

Na Figura 2.9, o aparato experimental do protótipo de montanha russa (chamado nesse trabalho de *looping* artesanal) pronto.

Figura 2.9 – Imagem fotográfica do aparato experimental pronto. Em que (1) local de onde será liberada a esfera (aço ou bola de gude), (2) haste vertical lateral de madeira maior (50 cm), (3) base de madeira (1 m) , (4) haste vertical lateral menor (20 cm), e (5) o loop.



Fonte: arquivo da autora.

Para a aplicação desse produto é sugerido à aplicação do pré-teste, com o objetivo de investigar os conceitos prévios dos alunos, pois é necessário para avaliá-los durante a aplicação do produto.

3-APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Apresenta-se nesta seção a Sequência Didática (Quadro 1) baseada em Antoni Zabala, bem como um cronograma descrevendo o plano de desenvolvimento da abordagem para cada aula (Quadro 1).

Quadro 1 – Sequência Didática para aplicação do PE

Público Alvo
Escola: Professora: Componente Curricular: Física Série: 1ª série Turma: Carga Horária: 02 horas/aula (MÍNIMO) Período:
Tema Conservação da energia mecânica
OBJETIVO GERAL: - Objetivo introduzir o conceito de transformação de energia -Compreender os conceitos básicos de conservação de energia.
Conteúdos: Conceituais: energia cinética, energia potencial gravitacional e energia mecânica. Procedimentais: Determinar a velocidade das esferas quando atingem o ponto mais alto da curva do <i>looping</i> . Atitudinais: Inserir práticas experimentais; Estimular trabalho em grupo; Estimular o docente a atuar como mediador e não o ensino centrado no mesmo.
Descrição da aula Aula 01 (50 min.): fazer uma revisão de conceitos sobre energia cinética e energia potencial, e de Energia Mecânica. Trabalhar com os alunos a conservação de energia, por meio de exemplos no quadro. Aula 02 (50 min.): fazer uma revisão sobre a conservação de energia, deduzir a equação para calcular a altura mínima de queda, e explorar esses conceitos usando o produto educacional

RECURSOS DIDÁTICOS

- lousa, giz, livros didático, Produto Educacional - o *looping*, com régua de 1m, 1 esfera de aço e uma bola de gude.

AVALIAÇÃO**Critérios de Avaliação:**

Espera-se que os alunos compreendam e relacione a energia cinética, energia potencial e energia mecânica com a conservação de energia mecânica

Discussão sobre o assunto realizado com os alunos;

-Atividade prática: explorar os conceitos utilizando o aparato experimental: *looping*

Instrumentos de avaliação:

-Avaliação será feito por meio de questionário pré-teste e pós-teste no qual será feito uma análise comparativa para avaliar a aprendizagem de forma quantitativa; e a participação dos alunos com as impressões tiradas pelo docente;

Fonte: a autora.

No Quadro 2 está apresentado o cronograma e a descrição de cada aula.

Quadro 2- Cronograma e descrição da aplicação da Sequência Didática.

Aplicação da SD		
Data da aplicação	Atividade desenvolvida na turma 1º A e 1ºB	Nº de aulas
	<p>Nesta aula o professor apresentará de forma breve o conteúdo a ser trabalhado e levantará o conhecimento prévio dos alunos. Iniciar uma breve discussão referente, ao conteúdo a ser aplicado, a seguir aplicar o pré-teste. Utilizando o texto de apoio, explicar o conteúdo referente à conservação de energia mecânica utilizando desenhos no quadro.</p> <p>Em cada desenho deixar claro como a energia se comporta no decorrer do movimento e como a energia se transforma.</p>	1 aula de 50 minutos.
	<p>O professor deverá fazer um desenho do <i>looping</i> no quadro e ao lado uma tabela com os dados fornecidos de altura etc... e demonstrar matematicamente a conservação de energia no sistema. Nesta aula não está sendo considerada a rotação da esfera, somente a translação. Em seguida resolver uma atividade com os alunos para calcular a altura mínima no qual deverá soltar uma bolinha para que a mesma possa completar o <i>looping</i>. Lembrar os alunos de que a velocidade inicial de liberação deve ser nula.</p>	1 aula de 50 minutos

	<p>Separar os alunos em grupos, de no máximo 5, distribua os protótipo do <i>looping</i> e deixá-los a vontade para explorar os conceitos estudados.</p> <p>Um pouco antes do término da aula aplicar o pós- teste, para a verificação da aprendizagem.</p>	
--	---	--

QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE.

- 1) A altura do *looping* deve ser igual à maior queda da montanha russa?
- 2) O que você entende por conservação de energia mecânica?
- 3) Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?
- 4) O que você entende por dissipação de energia?
- 5) Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o *looping* independente do número de pessoas?

Após aplicação do produto, aplicar um questionário pós- teste a fim de avaliar se houve uma aprendizagem significativa.

QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE

- 1) A altura do *looping* deve ser igual à maior queda da montanha russa?Explique
- 2) O que você entende por conservação de energia mecânica?
- 3) Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?
- 4) Que você entende por dissipação de energia?
- 5) Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o *looping* independente do número de pessoas?Explique.

3.1 - PLANO DE AULA

Escola: Colégio Estadual Basílio Itibere – Ensino Médio e Fundamental

Professora: Arlete Moreira dos Santos

Disciplina: Física

Série: 1ª série

<p>Turma: A e B</p> <p>Carga Horária: 02 horas/aula</p> <p>Período: 3º trimestre</p>
<p>Tema</p> <p>Conservação da energia mecânica</p>
<p>OBJETIVO GERAL:</p> <p>- Objetivo introduzir o conceito de transformação de energia</p> <p>-Compreender os conceitos básicos de conservação de energia.</p>
<p>CONTEÚDOS ESPECÍFICOS: forças conservativas, energia mecânica conservativa</p>
<p>Descrição da aula</p> <p>Aula 01 (50 min.): fazer uma revisão de conceitos sobre energia cinética e energia potencial, trabalhar com os alunos a conservação de energia, por meio de exemplos no quadro.</p> <p>Aula 02 (50 min.): fazer uma revisão sobre a conservação de energia, deduzir a equação para calcular a altura mínima de queda, e explorar esses conceitos usando o produto educacional</p>
<p>RECURSOS DIDÁTICOS</p> <p>- lousa, giz, livros didático, produto Educacional o <i>looping</i>.</p>
<p>AVALIAÇÃO</p> <p>Critérios de Avaliação:</p> <p>Espera-se que os alunos compreendam e relacione a energia cinética, energia potencial e energia mecânica com a conservação de energia mecânica;</p> <p>Discussão sobre o assunto realizado com os alunos;</p> <p>-Atividade prática: explorar os conceitos utilizando o <i>looping</i></p> <p>Instrumentos de avaliação:</p> <p>-Avaliação será feito por meio de questionário pré-teste e pós - teste no qual será feito uma análise comparativa para avaliar a aprendizagem.</p>
<p>BIBLIOGRAFIA: Bonjorno,Física1/Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola, Newton Villas Boas. 1 ed. --São Paulo: Saraiva,2010</p>

Para a aplicação desse produto é sugerido à aplicação de um questionário pré-teste, com o objetivo de investigar os conceitos prévios dos alunos, pois é necessário para avaliá-los durante a aplicação do produto.

3.2 - Aula 1 Questionário prévio (pré-teste)

Este está constituído de 5 questões utilizando como estratégia a montanha russa.

- 1) A altura do *loop* deve ser igual à maior queda da montanha russa?
- 2) O que você entende por conservação de energia mecânica?
- 3) Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?
- 4) O que você entende por dissipação de energia?
- 5) Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o *loop* independente do número de pessoas?

Após recolher o teste, discutir com os alunos a dificuldade encontrada durante a resolução do questionário, a fim de despertar a curiosidade sobre o assunto.

Sugestão: o professor pode pedir para os alunos uma leitura prévia do livro didático para ser feito em casa com o intuito de uma discussão um pouco mais elaborada.

3.3 - Aula 2 - APLICAÇÃO DO PRODUTO

Na segunda aula fazer um desenho do *looping* no quadro e explorar os conceitos de energias, conservação de energia, definindo uma equação para calcular a altura mínima em que se deve deixar cair um objeto para que ele possa completar o *looping*. Nesse momento os alunos perceberão que a massa não interfere no sistema.

Em seguida separar os grupos de até cinco alunos e distribuir a cada grupo um protótipo do *looping*, deixar os alunos explorarem os conceitos por alguns minutos.

Procedimento Experimental:

Material:

- 1 esfera de aço de 2 cm (sugestão) de diâmetro
- 1 bola de gude de 2 cm (sugestão) de diâmetro
- 1 aparato experimental de *looping* pronto

Sugestão: não utilizar esfera muito “leve” como isopor para que a força de arrasto não tenha muita influencia.

- Peça aos alunos que posicionem a esfera de aço de uma determinada altura, até que o mesmo descubra qual a altura necessária para que o mesmo tenha velocidade suficiente para completar a volta no *looping*; E até que altura o mesmo alcança após realizar a volta. Anotar esses dados.
- Com os dados obtidos, realizar os cálculos baseado no experimento da velocidade com que a esfera atinge o ponto mais alto da curva, utilizando a equação (1.23), já considerando a conservação de energia mecânica;
- Repita o procedimento com a bola de gude.

Após aplicação do produto, aplicar o questionário pós-teste a fim de avaliar se houve uma aprendizagem significativa

Questionário pós-teste

- 1) A altura do *loop* deve ser igual à maior queda da montanha russa? Explique
- 2) O que você entende por conservação de energia mecânica?
- 3) Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?
- 4) Que você entende por dissipação de energia?
- 5) Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o *loop* independente do número de pessoas? Explique.

As respostas do Pré-teste que foi igual ao Pós-teste que se espera são as seguintes:

1) **Questão 1:** Altura do *loop* deve ser igual à maior queda da montanha russa?

Resposta: Não porque se for à mesma altura o objeto não terá velocidade suficiente para completar o looping e cairá.

2) **Questão 2:** O que você entende por conservação de energia mecânica?

Resposta: Conservação da energia mecânica estabelece que a quantidade de energia total em um sistema isolado permanece constante

3) **Questão 3:** Quando você lança uma pedra quais são as energias presentes na pedra?

Resposta Energia cinética e energia potencial.

4) **Questão 4:** O que você entende por dissipação de energia?

Resposta: É toda energia perdida em um sistema em forma de calor, atrito etc.

5) **Questão 5:** Em uma montanha russa o carrinho sempre consegue completar o looping independente do número de pessoas? Explique.

Resposta: sim, porque o sistema **não** depende da massa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse produto educacional foi atrair os alunos e despertar curiosidade para que possam aprender e não a decorar o conteúdo, pois quando se decora conteúdo a informação não fica registrada no cognitivo. Quando aprendem de forma significativa, o conteúdo fica registrado podendo dizer que houve aprendizagem.

Embora seja um aparato experimental bem conhecido e construído de várias formas, inclusive existe comercialmente como brinquedo, mas muito dispendiosos e outros construídos com mangueiras.

A proposta foi incentivar o docente a sair da zona de conforto, incentivar a escola fornecer materiais de laboratório, pois os alunos não conseguem visualizar o que se explica em sala de aula, somente aulas teóricas. Considerando o pouco espaço físico, ainda sim é possível construir um aparato com materiais de fácil acesso, ainda não visto na literatura, que foi o uso da junta de dilatação de PVC, o que proporciona também conhecimento da atualização do que se está sendo utilizado no cotidiano, e transformar uma peça de um aparato experimental, pois os fins eram diferentes, pois a junta é utilizado na área de construção. Inclusive que é possível abordar um conteúdo com duas aulas de 50 minutos. Mesmo que isso não seja o ideal.

Além disso, um dos papéis do professor é preparar os alunos para receber o conhecimento, para que possam viver, na sociedade que é caracterizada competitiva.

Nesse sentido propôs-se a utilização do *looping artesanal*, para trabalhar conservação de energia e podendo ir além. O professor pode calcular a energia de rotação e de translação da esfera (aço ou bolinha de gude) e pode ser usado para trabalhar com as leis de Newton aplicada no movimento circular. Enfim, esse produto fica a disposição para o professor explorar conceitos da física com os alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, N. F., Sequências didáticas: **estrutura e elaboração**. Disponível em :<://www.scielo.br/pdf/ciedu/v20n3/1516-7313-ciedu-20-03-0639.pdf>. Acesso em 29 de novembro de 2019.

CARRON, W. G. O. , . Vol. Único. **As Faces da Física**-- São Paulo: Moderna, 1997.

CARVALHO, E. de S. ,**Sequência Didática: uma proposta para o ensino do conceito de fração**

DA SILVA, D. N. Novo ensino médio - **física**, Paraná, volume único São Paulo Editora Ática -2000.

Diretrizes Curriculares de Física para a Educação básica do Estado do Paraná. DOCA, R. H.,BISCUOLA, G. J., VILLAS BOAS, N. , **física**1.1ed. Paulo: Saraiva 2010.

FEYNMAN, Richard. Lições de física de Feynman. Trad. Adriana Válio Roque da Silva e Kaline Rabelo. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GASPAR, A. , Física - Mecânica - volume 1, São Paulo, Editora Ática -2000.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de física** , vol1 9ºEd

MOREIRA, M.A.**Aprendizagem Significativa**. Brasília Editora da UnB, 1999 ;

MOREIRA, M. A, O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA? Instituto de Física – UFRGS Porto Alegre – RS Disponível em : <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em 14 de outubro de 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica – Mecânica** Vol.1 - 3º Ed, .2012.

RAMOS, CLINTON M., BONJORNIO, V., BONJORNIO, J. R., BONJORNIO, R., Física fundamental, vol. Único editora FTD S.A. SP, 1999.

Secretaria de Estado da Educação do Paraná. 2008. Disponível em:<http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/dce_fis.pdf>. Acesso em 29 de novembro de 2019.

TIPLER, P, A MOSCA, G, **Física para cientistas e engenheiros vol.1** Rio de janeiro, 2006.