

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo **ufscar** Sorocaba



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA.

**ELABORAÇÃO DE UMA HISTÓRIA EM  
QUADRINHOS UTILIZANDO TÓPICOS DE FÍSICA  
PARA O ENSINO MÉDIO.**

**BRUNO DARROS LORENÇON**

**ORIENTADOR: PROF. DR. EDEMAR BENEDETTI FILHO**

**COORIENTADOR: PROF. DR. JAMES ALVES DE SOUZA**

Sorocaba - SP  
Abril de 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA.

**ELABORAÇÃO DE UMA HISTÓRIA EM  
QUADRINHOS UTILIZANDO TÓPICOS DE FÍSICA  
PARA O ENSINO MÉDIO.**

**BRUNO DARROS LORENÇON**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. Edemar Benedetti Filho.

Coorientador: Prof. Dr. James Alves de Souza.

Sorocaba - SP  
Abril de 2019

**BRUNO DARROS LORENÇON**

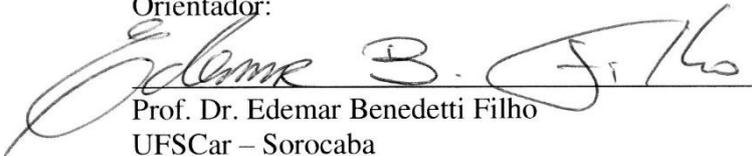
**ELABORAÇÃO DE UMA HISTÓRIA EM QUADRINHOS UTILIZANDO  
TÓPICOS DE FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Sorocaba 11 de abril de 2019.

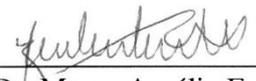
Orientador:

  
Prof. Dr. Edegar Benedetti Filho  
UFSCar – Sorocaba

Examinador:

  
Prof. Dr. Johnny Vilcarromero López  
UFSCar – Sorocaba

Examinador:

  
Prof. Dr. Marco Aurélio Euflauzino Maria  
FACENS – Sorocaba

Sorocaba  
Abril de 2019

Darros Lorençon, Bruno

Elaboração de uma História em Quadrinhos Utilizando Tópicos de Física para o Ensino Médio / Bruno Darros Lorençon. -- 2019.

139 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Edemar Benetti Filho, James Alves de Souza

Banca examinadora: Johnny Vilcarromero López, Marco Aurélio Eufлаuzino Maria

Bibliografia

1. História em Quadrinhos. 2. Lúdico. 3. Ensino de Física. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esta dissertação a minha esposa Tatiane que me incentivou a participar do processo seletivo para o referido programa, ao meu filho Pedro, meu irmão Lucas e meus pais Marcos e Edna.*

# AGRADECIMENTO

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

A Deus por me impulsionar nesse momento da minha vida concluindo este mestrado.

A minha esposa Tatiane, meu filho Pedro, meus pais Marcos e Edna e meu irmão Lucas, pessoas que amo e me incentivaram a realizar esta jornada.

Aos meus amigos de trabalho, Berenice, Aline e Wellington que deram ideias e inovações para a confecção do produto que compõe este trabalho.

Por fim aos meus orientadores Prof. Dr. Edemar Benedetti Filho e Prof. Dr. James Alves de Souza, incluindo todo o corpo docente do programa PROFIS-So, que durante as disciplinas trouxeram contribuições para a realização deste trabalho.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

Robert Collier

# RESUMO

DARROS LORENÇON, Bruno. Elaboração de uma História em Quadrinhos Utilizando Tópicos de Física para o Ensino Médio. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2019.

Neste trabalho apresentamos a elaboração de uma História em Quadrinhos como material complementar para o professor de Física, cujo enredo se dá em um parque de diversões onde as personagens vivenciam e apresentam situações em que alguns conceitos físicos específicos são trabalhados no decorrer da história. Foram escolhidos temas sobre mecânica newtoniana, termodinâmica, óptica em espelhos e o experimento de dupla fenda. O produto educacional decorrente deste mestrado foi aplicado com alunos das três séries do Ensino Médio de uma Escola Estadual, localizada no estado de São Paulo. A aplicação do material desenvolvido foi realizada após a apresentação teórica dos conteúdos físicos envolvidos nas respectivas salas do Ensino Médio servindo de introdução para as Histórias em Quadrinhos. Um dos principais objetivos deste trabalho foi, através do lúdico, incentivar os alunos à leitura, visando melhorar a motivação e o estudo de ciências no Ensino Básico, e à aprendizagem de tópicos de Física, com o intuito de despertar o interesse dos alunos para leituras mais elaboradas dos conceitos trabalhados. Foi realizada a verificação da frequência com que os alunos leem livros didáticos ou outros gêneros literários e também se o gênero trabalhado, abordando conceitos de Física, era do agrado dos mesmos. Esta foi realizada através de um questionário e de discussões durante a aplicação do material. As discussões foram gravadas em áudio. O material analisado sugere que houve maior compreensão dos conceitos de Física utilizando as Histórias em Quadrinhos, as quais contribuíram também para melhorar a interação entre os alunos em sala de aula tornando o ambiente mais agradável e motivador para o tratamento das aulas de Física. O produto educacional desenvolvido tem o formato de uma revista em quadrinhos contendo a explicação de todos os respectivos conceitos de Física abordados nas situações vivenciadas pelas personagens da história, sendo escrita em uma linguagem acessível a todos os professores de Física do Ensino Médio.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Lúdico. História em Quadrinhos. Leitura.

# ABSTRACT

DARROS LORENÇON, Bruno. Making a Comic Book using Physics Concepts for High School. 2019. Master's Thesis (Master's degree in Physics Teaching) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2019.

In this work we present the elaboration of a comic book as a complementary material for the Physics teacher, whose plot takes place in an amusement park, where the characters experience situations in which some specific physical concepts are worked through the story. Subjects were chosen on Newtonian mechanics, thermodynamics, optics in mirrors and the double-slit experiment. The educational product resulting from this master's degree was applied to students of the three high school series of a State School, located in the state of São Paulo. The application of the developed material was performed after the theoretical presentation of the physical contents involved in the respective classroom of the High School serving as an introduction to the Comics. One of the main objectives of this work is, through play, to encourage students to read in order to improve motivation and the study of science in Basic Education, such as Physics. The purpose is to increase students' interest for more elaborate readings of the concepts worked. To collect a feedback from learners about their overall satisfaction with our approach we performed the verification of the frequency with which the students read didactic books or other literary genres and also if the genre worked, approaching concepts of Physics, was to the liking of the same ones. Those were done through a questionnaire and discussions during the application of the material. The discussions were recorded in audio. The material analyzed suggests that there was a greater understanding of the concepts of Physics using the Comics, which also contributed to improve the interaction among students in the classroom making the environment more pleasant and motivating for the treatment of Physics classes. The educational product developed has the format of a comic book containing the explanation of all the respective concepts of Physics addressed in the situations experienced by the characters of the story, being written in a language accessible to all Physics teachers of High School.

**Keywords:** Physics Teaching. Playful. Comic Book. Reading.

# LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 – A imagem à esquerda mostra a capa do livro “*The Cartoon Guide To Physics*”. À direita apresentamos uma das páginas do livro mostrando o tipo de ilustração e a forma que as equações e conceitos são abordados. .... 11
- Figura 2.2 – Livros pedagógicos em formato de mangá no Instituto Federal de São Paulo. ... 12
- Figura 2.3 – Tirinha de astronomia encontrada no site de criação de HQs. .... 14
- Figura 2.4 - Exemplo utilizado pela professora Mileni Britto, do Colégio São José, no Rio de Janeiro. Ela realiza avaliações com tirinhas, nas quais se pode observar fenômenos físicos ligados ao cotidiano ou a brincadeiras. .... 16
- Figura 2.5 - Exemplo utilizado pela professora Isa Costa, da Universidade Federal Fluminense, de Niterói, elaborado junto com uma equipe mostrando situações-problema de Física, também através de tiras recortadas de jornal. .... 17
- Figura 2.6 – Uma das tirinhas desenvolvidas pelo Professor Francisco Caruso no formato cartão postal que trata a questão de referencial. .... 18
- Figura 2.7 – História em quadrinhos desenvolvida por alunos da terceira série do Ensino Médio e utilizadas nas aulas de Física. .... 18
- Figura 3.1 – Representação do sistema de vetores mostrando a força resultante centrípeta  $FC$  no carrinho no momento em que o mesmo realiza uma curva com raio de curvatura  $R$ . Note que a força centrípeta é contrária ao versor radial  $r$ . .... 25
- Figura 3.2 - Imagem do quadrinho desenvolvido para representar o momento em que o carrinho começa a descer a partir de sua altura máxima para discutir o processo de conversão de energia potencial gravitacional em cinética. .... 27
- Figura 3.3 - Imagem da HQ mostrando a utilização de equações, como da energia potencial e cinética, no decorrer da história. .... 28
- Figura 3.4 – Diagrama esquemático do fluxo de energia de uma máquina térmica, mostrando uma fonte quente à temperatura  $T_1$  fornecendo uma certa quantidade de energia através de calor,  $Q_1$ , da qual parte é convertida em outra modalidade através de trabalho  $W$  e a outra parte é dissipada pelo sistema através de calor,  $Q_2$ , para a fonte fria à temperatura  $T_2 < T_1$ . .... 32
- Figura 3.5 – Esquema ilustrativo de montagem do barquinho *pop pop*. O sistema é composto por (1) prancha de isopor, (2) caldeira feita com o metal de latinas de refrigerante, (3) é o gás formado no interior da caldeira após o aquecimento da água contida na mesma, (4) é a água que penetra no interior da caldeira, (5) são os tubos de exaustão construídos com canudinhos e (6) é a fonte quente do sistema feita com uma vela. .... 33
- Figura 3.6 – Esquema ilustrativo do barquinho *pop pop* representando as partes de uma máquina térmica de acordo com a figura 3.4. .... 34

Figura 3.7 – Experimento do barquinho a vapor em funcionamento. ....	35
Figura 3.8 – Quadrinhos mostrando o procedimento de montagem do barquinho a vapor na nossa HQ. O último quadrinho mostra o barquinho em funcionamento no final da história. ....	36
Figura 3.9 – Se estendermos a mão direita em frente a um espelho plano observaremos nossa imagem de forma simétrica, com a mão esquerda estendida e vice-versa. ....	38
Figura 3.10 – A imagem formada do objeto $O$ no espelho $E$ é dada por $I_1$ . Essa imagem passa a ser um objeto para o espelho $E'$ , o qual produz a imagem $I_2$ , a qual será um objeto para o espelho $E$ , e assim por diante. Da mesma forma, a imagem de $O$ em relação ao espelho $E'$ é o ponto $I_3$ , o qual será um objeto para $E$ , produzindo a imagem $I_4$ , e assim por diante. Desse modo, são formadas infinitas imagens. ....	38
Figura 3.11 – Efeito do espelho infinito observado colocando-se um objeto entre dois espelhos planos dispostos paralelamente um de frente para o outro. ....	39
Figura 3.12 – Imagem representando a situação de uma pessoa entre dois espelhos planos paralelos separados de uma distância $d$ . ....	40
Figura 3.13 – A distância entre o observador e sua imagem é a mesma distância $d$ entre os dois espelhos planos. ....	40
Figura 3.14 – Sequência de imagens vista pelo observador. ....	41
Figura 3.15 – Imagem que representa a ilusão de um corredor através do fenômeno espelho infinito. Isso pode ser visto quando o menino da imagem bate o rosto contra o espelho acreditando ser uma saída do labirinto de espelhos. ....	41
Figura 3.16 – (A) Quando colocamos um objeto a $45^\circ$ (plano bissetor) de dois espelhos separados por $90^\circ$ observa-se um número ímpar de imagens formadas, $n = 3$ . (B) Quando o objeto é colocado entre dois espelhos separados por $40^\circ$ observa-se a formação de um número par de imagens, $n = 8$ , comprovando as condições em que a eq.(11) é válida. ....	42
Figura 3.17 – Experimento da dupla fenda realizado com uma espingarda que dispara rolhas maciças mostrando em (a) somente a fenda 1 descoberta, em (b) somente a fenda 2 descoberta e em (c) ambas as fendas descobertas. As curvas $P1x$ , $P2x$ e $P12x$ mostram a forma como as rolhas estão distribuídas na região logo atrás das fendas para as configurações (a), (b) e (c), respectivamente. ....	45
Figura 3.18 – Realizando o experimento da dupla fenda com um feixe luminoso, observam-se as curvas (a) $I1x$ e (b) $I2x$ , as quais fornecem as intensidades das ondas passando pelas fendas 1 e 2, respectivamente, quando somente uma das fendas está descoberta. Em (c) observamos o padrão usual de interferência da fenda dupla com a intensidade resultante $I12x$ apresentando um comportamento oscilatório devido ao fenômeno de interferência construtiva e destrutiva dos feixes provenientes das fendas 1 e 2. ....	46

Figura 3.19 – À esquerda ilustramos o experimento de dupla fenda realizado com rochas para atingir o alvo. Nesta situação as personagens poderão derrubar apenas um macaquinho para cada tiro disparado e os macaquinhos derrubados serão apenas aqueles que estão na região logo atrás das duas fendas. À direita ilustramos o experimento realizado com uma espingarda que dispara um feixe laser. Devido ao padrão de interferência formado mais macaquinhos poderão ser atingidos em comparação com o primeiro experimento. ....	47
Figura 4.1 – Imagem da história em quadrinhos elaborada pelos alunos da 2ª série do Ensino Médio. ....	49
Figura 4.2 – No quadrinho circulado é mostrada a abordagem da 1ª Lei da Termodinâmica e a utilização do conceito da força peso e sua equação (seta) em um momento oportuno da história elaborada pelos alunos, mostrando entendimento sobre o que está sendo discutido. ....	50
Figura 4.3 - Personagens criadas para a História em Quadrinhos desenvolvida neste trabalho. ....	51
Figura 4.4 – Sequência de quadrinhos em processo de contorno das imagens com a caneta nanquim. ....	53
Figura 4.5 - Alguns quadrinhos da HQ digitalizados antes do processo de ilustração. ....	54
Figura 4.6 - Imagem da tela do computador de um quadrinho sendo ilustrado e com as falas das personagens sendo inseridas com o software <i>Adobe Photoshop CS6</i> , versão demonstrativa. ....	54
Figura 4.7 - A imagem à direita é um recorte da imagem à esquerda, para dar continuidade nos balões de fala. ....	55
Figura 5.1 – Histograma mostrando o número de alunos que possuem o hábito de ler ou não HQs para cada turma do Ensino Médio (EM) em que o nosso produto educacional foi aplicado. ....	62
Figura 5.2 – Respostas obtidas pela maioria dos alunos entrevistados, quando perguntados se as HQs contribuem para auxiliá-los no processo de ensino e aprendizagem. ....	63

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ATPCs** – *Aula de Trabalho Pedagógico Coletivo.*

**HQ** – *História em Quadrinhos.*

**HQs** – *Histórias em Quadrinhos.*

**MNPEF** – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

**PROFIS-So** – *Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba.*

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS .....	3
1.2 O LÚDICO .....	3
<b>A METODOLOGIA DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS. ....</b>	<b>5</b>
2.1 A HISTÓRIA DAS HQS ATÉ OS DIAS DE HOJE. ....	5
2.2 RELAÇÃO ENTRE HQ E EDUCAÇÃO. ....	7
2.3 A PRESENÇA DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO DE FÍSICA. ....	10
2.4 AS CONTRIBUIÇÕES DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO DE FÍSICA. ....	14
<b>TÓPICOS DE FÍSICA ABORDADOS NAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS .....</b>	<b>22</b>
3.1 APRENDENDO TÓPICOS DE MECÂNICA CLÁSSICA NA MONTANHA-RUSSA. ....	22
3.2 INTRODUÇÃO À TERMODINÂMICA E SUAS APLICAÇÕES. ....	29
3.3 VISUALIZANDO O INFINITO ESTUDANDO ÓPTICA. ....	37
3.4 O EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA E O BRINQUEDO DE TIRO AO ALVO. ....	44
<b>METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>48</b>
4.1 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL. ....	48
4.2 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL. ....	55
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>58</b>
5.1 INTERAÇÃO DOS ALUNOS E A CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA. ....	58
5.2 FORMAÇÃO LEITORA DAS HQS NO ENSINO DE FÍSICA. ....	61
5.3 O USO DAS HQS COMO MOTIVADOR PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA. ....	64
5.4 REPERCUSSÃO DA HQ NA ESCOLA. ....	67
<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO .....</b>	<b>125</b>

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

Iniciar a carreira de professor numa era em que a tecnologia predomina, a veiculação de informações e conhecimentos é uma tarefa que exige muito direcionamento de conteúdos para que os alunos não percam tempo com excesso de informações desnecessárias.

Nestes oito anos de prática docente no Ensino Médio, lecionando a disciplina de Física, a preocupação com o aprendizado dos alunos durante as aulas sempre esteve presente. Observando o baixo desempenho, seja por desinteresse pelo assunto ou falta de motivação, iniciamos um levantamento de como estimular a participação efetiva dos estudantes durante as aulas de Física.

A missão de qualquer professor é formar alunos conscientes, críticos e ativos para enfrentar qualquer situação que apareça utilizando os conhecimentos adquiridos durante a formação dos mesmos. Sabendo que no âmbito educacional o professor de Física é um profissional cada vez mais escasso, proporcionalmente semelhante ao grau de desinteresse dos educandos por esta disciplina, acaba tornando-se um consenso que o ensino de Física deva ser diferenciado. Vive-se numa era em que o ensino não é somente formador, mas idealizador de sonhos.

Isso faz com que o professor precise ter, não só um profundo entendimento na área de Física, mas também possuir habilidades adicionais para motivar os seus alunos com metodologias diversas para torná-los realidade como destaca Fiorentini *et al.* (2005):

“Em toda a história da escolarização nunca se exigiu tanto da escola e dos professores quanto nos últimos anos. O autor destaca também que essa pressão decorre, em primeiro lugar, do desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação e, em segundo lugar, das rápidas transformações no processo de trabalho e de produção da cultura”. (FIORENTINI *et al.*, 2005, p.137).

Nesse contexto pergunta-se: Sendo a Física uma disciplina que trata de fenômenos da natureza, do desenvolvimento de tecnologia e de situações cotidianas dos alunos, estes não deveriam ser motivos suficientes para despertar o interesse do estudante para o estudo da mesma? Segundo Bonadiman (2007):

As causas que costumam ser apontadas para explicar as dificuldades na aprendizagem da Física são múltiplas e as mais variadas. Destacamos a pouca valorização do profissional do ensino, as precárias condições de trabalho do professor, a qualidade dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula, a ênfase excessiva na Física clássica e o quase total esquecimento da Física moderna, o enfoque demasiado na chamada Física matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, o distanciamento entre o formalismo escolar e o cotidiano dos alunos, a falta de contextualização dos conteúdos desenvolvidos com as questões tecnológicas, a fragmentação dos conteúdos e a forma linear como são desenvolvidos em sala de aula, sem a necessária abertura para as questões interdisciplinares, a pouca valorização da atividade experimental e dos saberes do aluno, a própria visão da ciência, e da Física em particular, geralmente entendida e repassada para o aluno como um produto acabado. (BONADIMAN, 2007, p. 3).

Tendo em vista a necessidade da busca de novas ferramentas que possam complementar o trabalho do professor de Física e incentivar os alunos à leitura, ponto que acreditamos ser essencial para o aprendizado das ciências, decidimos elaborar uma história em quadrinhos, trazendo de forma lúdica, alguns conceitos de Física nas áreas de mecânica newtoniana, termodinâmica, óptica e o experimento da dupla fenda. As personagens da história são jovens aventureiros, como qualquer aluno do Ensino Médio, e o seu enredo é voltado para situações vividas em um parque de diversões. Na tentativa de explicar os fenômenos observados, otimizar processos e até mesmo resolver problemas que aparecem no decorrer da história de maneira inesperada, nossos jovens utilizam o que aprenderam sobre Física.

Nosso produto educacional é composto por uma revista em quadrinhos em que são explicados todos os fenômenos físicos de maneira divertida em uma linguagem acessível para todos os professores do Ensino Médio. Com a aplicação do produto em sala de aula foi possível observar que o material é muito promissor para incentivar os alunos à leitura, além de melhorar a compreensão dos conceitos de Física utilizados nas histórias em quadrinhos e também tornar a sala de aula em um ambiente mais agradável e motivador para o ensino de Física.

## 1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi a experiência em ensinar Física utilizando atividades lúdicas em sala de aula. Apesar da eficiência desse ferramental, os alunos ainda carecem do desejo pela leitura. Uma vez que os livros didáticos geralmente trazem textos técnicos com problemas geralmente idealizados fora da realidade, decidimos elaborar um material que motivasse os alunos à leitura para que se interessassem por explicações de fenômenos físicos, com uma história cotidiana contada por jovens da idade de nossos alunos do Ensino Médio.

Ensinar Física utilizando quadrinhos não é uma novidade, pois vários autores adotam esta metodologia de ensino para o ensino de ciências (FRANCISCO JR e UCHÔA, 2015; SANTOS e PEREIRA, 2013; LACERDA *et al.*, 2017). O diferencial do nosso trabalho é que os nossos quadrinhos são elaborados pelo próprio professor e não pelos alunos, como na maioria de outros trabalhos. Este tratamento tornou a proposta mais abrangente, uma vez que nem todos os alunos conseguem desenhar ou até mesmo se interessam pela arte dos quadrinhos. O processo de elaboração dos quadrinhos pelos alunos pode ser tratado com importância maior do que o objetivo principal que é aprender Física. Isso pode acarretar em um tempo mal aproveitado para o ensino de física e levar ao desinteresse dos alunos. Com a história pronta, elaborada pelo professor, fica mais fácil engajar os alunos na história e até mesmo fazer com que eles se identifiquem com algum personagem da história. Portanto, nosso principal objetivo é motivar os alunos à leitura científica utilizando as Histórias em Quadrinhos para auxiliar o professor no tratamento de conceitos físicos de forma lúdica.

## 1.2 O LÚDICO

O lúdico abrange muitas modalidades na qual sua principal função é desenvolver a imaginação, trabalhando com expressões corporais e emocionais. As modalidades que se enquadram como lúdicas são: jogos, brinquedos e divertimentos.

Segundo Callicchio e Batista (2017), trabalhar com o lúdico estimula as funções sensoriais e cognitivas, além de permitir o equilíbrio emocional, pois vai ao encontro do

interesse do indivíduo e, por meio dele, projeta seu mundo interior e passa a conhecer melhor o meio em que vive.

Quando a criança é estimulada no decorrer de sua vida, sua aprendizagem é aguçada, obtendo facilidade na percepção de sua vida cotidiana. Segundo Vygotsky (1991), antes dos três anos, a criança ainda não desenvolveu o pensamento abstrato e por isso age de acordo com o estímulo imediato dos objetos. As atividades lúdicas são mecanismos de aprendizagem importantes para estimular o desenvolvimento e o convívio social.

Da mesma forma que uma situação imaginária, como em uma definição de regras específicas, o brinquedo propicia na criança, o que Vygotsky (1984) chama de zona de desenvolvimento proximal.

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

Em uma História em Quadrinhos (HQ), o imaginário da criança ou do adolescente é estimulado o tempo todo, onde situações corriqueiras podem vir à tona durante a história, podendo atingir a zona de desenvolvimento proximal destes estudantes criando subsunçores para que o estudo de Física seja divertido e interessante.

Subsunçores são pontos de ancoragem dos conceitos, ou seja, de onde se parte para construir novos conhecimentos construindo as chamadas “pontes cognitivas” entre os saberes que o aluno já tem, capaz de servir como um ancoradouro a uma nova informação à qual podem ser atribuídos significados (AUSUBEL *et al.*, 1980; MOREIRA, 1983).

É possível, com o emprego da HQ, que os educandos formem e entendam novos conceitos de forma ampla através da linguagem facilitada pelas relações entre imagens e texto, ou seja, formem conceitos concretos. Ocorre o processamento de informações que devem estar organizadas progressivamente para fixar seu novo conhecimento. Todo esse processo possibilita a ocorrência da aprendizagem significativa nos alunos, que é definida por Moreira como:

[...] a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação ancora-se em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Ou seja, novas ideias, conceitos, proposições podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras ideias, conceitos, proposições relevantes e inclusos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ancoradouro para os primeiros (MOREIRA, 1999, p. 11).

# Capítulo 2

## A METODOLOGIA DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS.

---

---

### 2.1 A HISTÓRIA DAS HQS ATÉ OS DIAS DE HOJE.

Quando se fala em História em Quadrinhos (HQs) vem em nossa cabeça desenhos de super-heróis e histórias infantis. Na verdade, a HQ é uma linguagem que pode representar qualquer gênero textual através de uma sequência de imagens. Existem autores que defendem a ideia de que a origem das HQs está diretamente ligada às imagens encontradas nas cavernas conhecidas como pinturas rupestres e também aos vitrais de antigas igrejas ou às imagens sequenciais que relatam a via sacra, caminho realizado por Jesus para a crucificação (RAMA *et al.*, 2004).

Durante o surgimento da imprensa no século XV ao XVII, iniciou-se o processo de apresentação de imagens nos jornais onde eram desenhadas com o intuito de tornar a notícia realista. As imagens tiveram grande repercussão na época onde as notícias passaram a ser representadas por desenhos em sequências, dando a ideia real dos fatos e motivando os leitores (VERGUEIRO e RAMOS, 2009).

Segundo Rama *et al.* (2004), no início do século XVIII um artista gráfico e escritor suíço chamado Rudolf Töpffer foi o precursor da produção de desenhos com algumas falas nas imagens, como rodapé, vendidos em folhas soltas. Essas imagens se chamaram histórias em estampas. Nos Estados Unidos os jornais trouxeram um forte embalo para a produção das histórias em quadrinhos. Os autores Joseph Pulitzer e William Randolph Hearst, principais

donos dos jornais norte americanos da época, disputavam a atenção dos leitores colocando em seus jornais os quadrinhos como atrativo.

O primeiro quadrinho norte americano a ser apresentado no *New York Journal* foi o chamado *Yellow Kid*. Sua estreia oficial aconteceu no dia 17 de fevereiro de 1895 em preto e branco e a partir de 5 de maio, deste mesmo ano, passou a ser apresentada em cores e foi o quadrinho no qual teve início o surgimento dos balões de fala. No Brasil uma publicação parecida com o *Yellow Kid* foi “As aventuras de Nhoquim”, criado por Ângelo Agostini, considerado o precursor dos quadrinhos no Brasil (ANDRAUS, 2007).

Segundo a história cronológica dos fatos, o fortalecimento na produção dos quadrinhos data do final do século XIX ao início do século XX, onde a característica cômica é fortemente presente. Porém, seus traços eram ligados à infância e à família, conhecidas nos Estados Unidos como *family strips*:

Caracterizadas por ter como protagonistas personagens infantis, via de regra, mas não necessariamente, garotos – as *Kid Strips*, surgem no início do século XX, herdeiras de uma longa tradição iconográfica europeia de histórias centradas em crianças. Através delas, como menciona Javier Coma, ampliam-se “as possibilidades oferecidas pelos protagonistas para transmitir, sob aparência inocente, propostas sociopolíticas que seriam mais espinhosas se estivessem apoiadas em personagens adultas”. Esse tipo de tiras obteve grande sucesso do público, jamais perdendo seu atrativo (VERGUEIRO, 2001).

Anos depois, inicia-se a produção das revistas em quadrinhos para o grande público americano. Estas começaram a ser produzidas após a crise do ano de 1929 nos Estados Unidos onde surgiram as publicações dos famosos super-heróis, como a Série Super Aventuras, Super Man em 1939 e as revistas de ficção científica, geralmente para enaltecer um herói americano e projetar os Estados Unidos como uma nação do bem.

Após a Segunda Guerra Mundial, a apresentação de uma HQ intitulada *Maus*, uma história de Vladek Spiegelman, um judeu polonês que sobreviveu ao campo de concentração de Auschwitz, narrada por ele mesmo ao filho Art, é considerada um clássico contemporâneo das Histórias em Quadrinhos. Foi publicado em duas partes, a primeira em 1986 e a segunda em 1991. No ano seguinte, o livro ganhou o prestigioso Prêmio Pulitzer de literatura. O que se relata entre os especialistas é que houve um aumento de quadrinhos violentos nessa época. Isso culminou na prisão de vários jovens, em que inúmeros deles, foram presos porque tiveram contato com a leitura da série *Maus*, relatado no vídeo produzido pela plataforma do letramento (PAIXÃO *et al.*).

Tendo em vista essas estatísticas, que discorrem sobre a evolução das HQs, Vergueiro (2004) aponta que essa perseguição aos quadrinhos foi elaborada pelo psiquiatra Fedric Wertham, mostrando, negativamente, o que os quadrinhos após esse período de guerra poderiam causar. Com isso é criado um código de ética para separar as revistas “permitidas” das “proibidas”, ou seja, a saída das insinuações violentas. Esse código permeia até os dias atuais.

Todavia, os quadrinhos apresentam ideias que podem influenciar, de certa forma, o leitor, na busca de conhecimento e ao estímulo pela leitura. A influência das HQs está na ligação entre o texto verbal e o visual na contextualização de um determinado assunto trazendo diversão, ensino e informação (VERGUEIRO, 2009).

Sua produção com a crescente tecnologia envolvida vem sendo apresentada com a ajuda de outras formas de mídias como o cinema, por exemplo, que ultimamente vem lançando os famosos filmes dos super-heróis, fazendo com que este gênero literal ganhe força na infância de muitos indivíduos. Uma das produções mais importantes no Brasil foi “A turma da Mônica”, de Maurício de Souza, que vem sendo assistida pelo público infantil na forma de animações como “*Mônica Toy*”. As animações vêm sendo utilizadas no mundo das HQs, pois as histórias desenvolvidas atualmente necessitam de uma apresentação aprimorada para acompanhar o mundo tecnológico que a circunda dando ideia de movimento e vida aos personagens.

Ainda que essa nova linha de produção das HQs se apresente como o seu futuro, os impressos de revistas ou livros não deixaram de existir, pois existe um público muito grande que aprecia as séries impressas. Com relação ao ensino, muitos professores procuram, dentro de suas práticas educativas, inserir as HQs como um incentivo à leitura e como um motivador no tratamento de conceitos didáticos. Estes podem ser impulsionados pelo mundo imagético das HQs trazendo mais significado no que concerne à aprendizagem de ciências.

## 2.2 RELAÇÃO ENTRE HQ E EDUCAÇÃO.

O processo de ensino e aprendizagem é acompanhado, inevitavelmente, pelo processo social de modernização e utilização de novos equipamentos, recursos, tecnologias e estratégias, os quais são disseminados no mundo todo. Nos ambientes de sala de aula também há a necessidade de aprimoramento e modernização de metodologias de ensino em qualquer

nível. Diante desta necessidade, o profissional da educação possui um grande desafio a trilhar onde uma das maneiras é se aperfeiçoar na busca de novas práticas pedagógicas.

Além do incentivo à leitura, escolhemos criar uma revista em quadrinhos para o ensino de Física para tornar o trabalho em sala de aula mais prazeroso tanto para o aluno quanto para o professor. Adicionalmente à diversão e estimulação do imaginário dos educandos, as HQs podem ter um papel formador importante durante a introdução de temas específicos para apresentação de conceitos já discutidos previamente ou para abrir uma roda de discussão sobre um determinado assunto.

Considerando-se a necessidade de modernização e novas metodologias para o ensino de Física, os Parâmetros Curriculares (PCN, 1999; PCN+, 2002) relatam a ideia de uma formação geral onde o ensino deve contribuir para uma formação mais sólida, compreendendo cientificamente os fenômenos que estão presentes no dia a dia, distante do que geralmente ocorre na maioria das escolas brasileiras. Estas dificuldades na aprendizagem são discutidas no próprio PCN, na qual:

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas (PCN, 1999, p. 22).

Neste sentido, conforme as próprias colocações no PCN:

“Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem” (PCN, 1999, p. 23).

As HQs se mostram favoráveis através do uso de linguagens diferenciadas para o ensino de Física, podendo complementar o tratamento matemático dado aos problemas, o qual muitas vezes é visto pelos alunos como algo muito complexo. O uso de imagens coloridas, que são características dos quadrinhos, e a presença de onomatopeias, podem contribuir de forma relevante no processo de ensino e aprendizagem que está ligado ao emocional dos alunos, dando ideia de movimento e realismo às imagens. Segundo Santos e Trivelato (2003)

80% dos estímulos que recebemos são ligados à visão. Portanto, as cores das ilustrações dos quadrinhos podem assumir uma função importantíssima na formação de opinião, pois os mesmos criam um efeito lúdico daquilo que se observa.

Diante do exposto, o uso das HQs com finalidades pedagógicas e facilitadoras no processo de ensino e aprendizagem ainda é pouco utilizado e disseminado nas escolas brasileiras para o ensino de física. Essa ferramenta promissora teve precedente no início da década de 1990, quando muitos autores de livros didáticos passaram a diversificar a linguagem utilizada em suas obras, bem como as ilustrações e imagens esquemáticas, no sentido de facilitar a apreensão do conteúdo (VERGUEIRO, 2014). Assim sendo, a utilização de quadrinhos tende a enriquecer essa gama de recursos imprescindíveis ao processo de ensino e aprendizagem, que vem se mostrando cada dia mais complexa dada a vastidão de modelos e atrativos tecnológicos disponíveis.

Um aspecto de extrema importância a se considerar no uso de HQs em sala de aula é a capacitação adequada do professor. Não adianta ter em mãos um material didático bem elaborado e não saber explorá-lo de maneira adequada com os alunos. O uso inadequado dessa estratégia pode trazer um conhecimento raso, sem significado, e totalmente “descartável” por parte do estudante. Isso torna o nosso trabalho muito importante, pois nosso intuito é que o mesmo funcione como um guia para o professor poder explorar de forma mais efetiva tal recurso pedagógico.

Muitos profissionais na área da educação ainda não admitem e não incluem o uso de HQs em suas aulas, principalmente pelo motivo de que elas não tenham sido criadas no meio acadêmico ou simplesmente por desconhecem a utilidade deste recurso didático. As novas diretrizes pedagógicas admitem e incentivam o uso de estratégias diferenciadas e materiais considerados não usuais, desde que sejam classificados em algumas de suas funções como pedagógicos, atendendo assim aos requisitos para serem utilizados pelo professor (PCN, 1999).

O uso da metodologia empregando histórias em quadrinhos pode trazer uma poderosa e importante colaboração para inúmeras áreas de ensino, principalmente na contribuição da leitura, compreensão de conceitos e significados, podendo auxiliar o aluno a obter e interpretar resultados que antes pareciam bastante complexos. Fundamentalmente, essa metodologia pode ajudar os alunos a desmistificar as ciências. A maioria dos alunos enxerga nas disciplinas de ciências, como a Física e a Química, apenas processos de memorização de fórmulas para serem utilizadas em situações problema específicas ou para prestar o vestibular. Porém, é desejável que os alunos entendam os conceitos abordados. Isto já é combatido há

vários anos (PCN, 1999). O trabalho proposto demonstrou ser um incentivador para que os alunos não dependam exclusivamente da memorização de fórmulas para dar seguimento em disciplinas sobre as ciências. É desejável que os alunos possam desfrutar do entendimento teórico e utilizem as aplicações de fórmulas e as realizações de cálculos para poderem quantificar o fenômeno observado e assim compreender melhor, de maneira efetiva, os assuntos teóricos abordados.

A personagem fundamental e imprescindível para o sucesso da aplicação da proposta é o professor, o qual trabalhará como moderador na condução das atividades em sala de aula. Isso significa que o professor precisa adquirir uma postura de orientador para conseguir os resultados esperados. A preparação técnica deste profissional para a utilização dessa metodologia é indispensável, e seus estudos na forma de aplicar o material é essencial e fundamental para bons resultados, equilibrando o conteúdo pedagógico e a ludicidade da atividade. Essa preparação não demanda ser necessariamente acadêmica, mas sim no sentido de estudar o material e elaborar um plano de trabalho coerente onde se delimitem os resultados que realmente possam ser alcançados com o emprego das HQs, não necessariamente sem os conteúdos pedagógicos. Nesse sentido, segundo Hodson (1988) temos:

Para se alcançar este objetivo recomenda-se que a atividade concentre-se apenas nos aspectos desejados, com um planejamento cuidadoso que considere as ideias prévias dos estudantes a respeito da situação estudada, o tempo necessário para completar a atividade, as habilidades requeridas e aspectos ligados à segurança (HODSON, 1988 *apud* BORGES, 2002, p. 301).

Na próxima seção apresentamos como a metodologia do uso das Histórias em Quadrinhos vem sendo incorporada no ensino de Física.

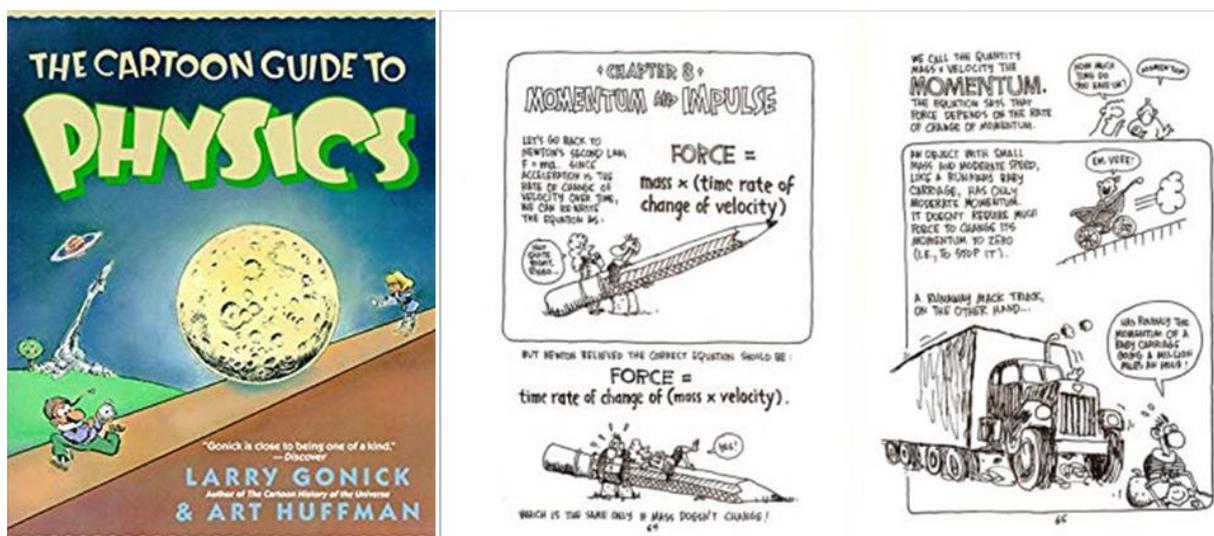
### 2.3 A PRESENÇA DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO DE FÍSICA.

Atualmente, percebe-se principalmente nos sistemas de ensino adotados no Brasil, uma deficiência acentuada dos educandos em absorver conceitos teóricos e na interpretação de textos para aplicação de fórmulas matemáticas para resolução de problemas de Física. Poucas vezes são empregadas estratégias para resolver as situações-problema, sejam elas nas

avaliações formais ou mesmo nas situações cotidianas (MARÇAL, 2004, p.7). Muitos desses educandos sabem as fórmulas e seus nomes, mas não reconhecem o momento correto de aplicá-las, resultando em dificuldades, erros e conseqüentemente menor eficiência em se chegar às respostas corretas ou mesmo começar a desenvolvê-las. O emprego das HQs surge como uma estratégia complementar para uma abordagem diferenciada do Ensino de Física na tentativa de tornar a disciplina mais prazerosa e funcional.

Um livro que aborda o tema no Ensino de Física é “*The Cartoon Guide to Physics*” (GORNICK, 1991), no qual são apresentados dois capítulos para os tópicos de mecânica e de eletromagnetismo. As imagens contidas nesta obra são ilustradas em branco e preto com os conceitos de Física sendo apresentados no decorrer da história e as equações das leis da Física estão em destaque durante a apresentação das imagens, como mostra a figura 2.1.

**Figura 2.1** – A imagem à esquerda mostra a capa do livro “*The Cartoon Guide To Physics*”. À direita apresentamos uma das páginas do livro mostrando o tipo de ilustração e a forma que as equações e conceitos são abordados.



Fonte: Gornick, 1991.

Recentemente foi publicado no sítio do Instituto Federal de São Paulo (IFSP, 2018), a distribuição de livros pedagógicos em formato de *mangá* (Histórias em Quadrinhos de estilo japonês), destinados a alunos dos cursos técnicos integrados ao Ensino Médio com o objetivo de atrair os estudantes para várias disciplinas, veja figura 2.2. Destaca-se o conteúdo de eletricidade que se enquadra no currículo da disciplina de Física.

**Figura 2.2** – Livros pedagógicos em formato de mangá no Instituto Federal de São Paulo.

Fonte: INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO. Câmpus do IFSP recebem livros pedagógicos em formato de mangá. “Disponível em:” <https://www.ifsp.edu.br/noticias/481-campus-do-ifsp-recebem-livros-pedagogicos-em-formato-de-manga>. Acesso em 28 fev. 2019.

As HQs, por serem fáceis de ler e trazer prazer durante sua leitura, vem sendo incorporadas em várias áreas do conhecimento por possuir cunho popular aliado com o lúdico, o linguístico e o psicológico, sendo apresentados nas ilustrações descritas em (TESTONI e ABIB). O trabalho relata o desenvolvimento de uma História em Quadrinhos que leva como enredo o tema do “Princípio da Inércia”.

Outras possibilidades de desenvolvimento que mais aparecem sobre HQs no ensino de Física é quando o professor apresenta o tema e os próprios alunos desenvolvem suas ilustrações, como descrita na análise realizada por Chicorá e Camargo (2017). Segundo os autores o uso das HQs foi classificado em quatro finalidades: Discussão, Explicação, Expressão e Motivação. De acordo com essas categorias de análise, os alunos foram autores das historinhas em três delas, conseguindo expressar concepções a respeito de um determinado assunto da Física. Em uma das categorias foi apresentado um trabalho em que os próprios autores da pesquisa desenvolveram a HQ para aplicar aos seus alunos e atingir o objetivo desejado (CHICORÁ e CAMARGO, 2017).

Dentro desta perspectiva de desenvolver HQs no Ensino de Física como recurso didático, além de Testoni e Abib é importante destacar o trabalho “A super – Física dos super-heróis” (OLIVEIRA, 2005), onde alunos da segunda série do Ensino Médio pesquisaram a Física dos poderes dos super-heróis dos quadrinhos populares como “Homem Aranha”, “Hulk”, “Super-Homem”, “Mulher Maravilha”, “Quarteto Fantástico” e “X-Men” sob a óptica da Física. A utilização de quadrinhos que participaram e ainda participam do imaginário infantil pode contribuir muito para o desenvolvimento cognitivo e imaginário dos alunos. Quantas vezes nos perguntamos se seria possível voar ao lermos algum quadrinho do Super-Homem? As HQs podem contribuir para mudar o ambiente da sala de aula, transformando o mesmo em um lugar onde ocorra a busca do conhecimento através do prazer da leitura e das histórias em que os conceitos de Física são contextualizados.

Outra técnica usada na abordagem didática do uso dos quadrinhos é descrita por Euzébio *et al.* (2011). Os autores abordam temas sobre o conteúdo de astronomia, porém as tirinhas são feitas através de um site de criação de HQs, veja exemplo na figura 2.3. As tirinhas estão disponíveis para que qualquer professor possa utilizá-las.

As HQs, além do caráter motivacional, podem também contribuir para despertar a imaginação dos alunos com relação aos conceitos abordados em qualquer área do saber. Segundo Aquino *et al.* (2015) as HQs contribuem para um sistema de ensino mais prazeroso e lúdico ao aprendizado dos alunos:

[...] aplicação dessa metodologia, o professor passa a ter um recurso que lhe possibilita uma ação diferenciada em sala de aula, oportunizando o aprendizado e a produção de conhecimentos de uma maneira mais prazerosa, promovendo uma quebra na rotina em sala de aula. (AQUINO *et al.*, 2015, p. 57)

Como vimos existem vários trabalhos no Ensino de Física que abordam a metodologia das HQs, todos com suas particularidades, porém, o grande desafio que se encontra na área é a elaboração de um material que atenda às necessidades didáticas em sala de aula. Existem autores que elaboraram seu próprio material através de aplicativos de construção de tirinhas. Em outros casos os alunos produziram as histórias e as tirinhas e em outros, as mesmas foram produzidas através de um levantamento bibliográfico. Neste trabalho nós produzimos uma revistinha em quadrinhos, como as encontradas em bancas de jornal, contendo uma História em Quadrinhos com tópicos de Física para o Ensino Médio. A história se passa em um parque de diversões em que as personagens irão apresentar situações problema para que os alunos criem estratégias para superá-las a partir do conhecimento de Física.

Figura 2.3 – Tirinha de astronomia encontrada no site de criação de HQs.



Fonte: GEISON. Galileu Galilei. “Disponível em”: <https://www.pixton.com/comic/wz1jnz64>. Acesso em: 28 fev. 2019.

## 2.4 AS CONTRIBUIÇÕES DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO DE FÍSICA.

Uma sugestão para o emprego do uso de HQs no Ensino de Física é utilizá-las para aprofundar os conceitos que já foram abordados durante aulas prévias, servindo como aulas de revisão. Isso pode ser muito útil para resgatar os conceitos mais importantes que serão utilizados em outros momentos do curso e também para sanar eventuais dúvidas remanescentes no decorrer do processo de ensino e de aprendizagem aos alunos. Outra vantagem é seu uso com alunos de inclusão, portadores de necessidades especiais, visto que a estrutura do Ensino de Física muitas vezes se mostra difícil para esses alunos, no sentido de atender as necessidades especiais destes indivíduos. Como exemplo, podemos citar os alunos com baixo rendimento escolar. Estes fazem com que o professor necessariamente busque alternativas de ensino. Como descrito por Ribeiro (2017):

As HQs, pela riqueza que possuem, podem se transformar em instrumento pedagógico de grande potencial para a aprendizagem e interação social dos alunos que apresentam necessidades específicas de aprendizagem. Assim, pode promover a socialização entre alunos e dos alunos com o professor, uma vez que a interação estimula a construção de conhecimento. Para tanto, o potencial das HQs requer que a mediação do docente propicie a participação de todos os discentes da mesma classe nesse processo (RIBEIRO, 2017, p.1).

As observações realizadas durante o desenvolvimento e aplicação desta proposta confirmam como essa abordagem colaborou com o processo de aprendizagem de um aluno com necessidades especiais. O tratamento durante as aulas e a interação do aluno diante do uso dessa metodologia foi de suma importância para sua socialização, estímulo e aprendizagem.

Os alunos, de forma geral, se mostraram entusiasmados e bastante receptivos com a nossa proposta. Contudo, não utilizamos nossa HQ com o intuito de substituir os livros didáticos ou outras metodologias de ensino. As Histórias em Quadrinhos devem ser utilizadas para complementar o trabalho em sala de aula, contribuindo para quebrar os paradigmas que tornam o Ensino de Física pouco atraente e de difícil assimilação pela maioria dos alunos. O uso das HQs pode ser um grande estímulo para os alunos se interessarem pela leitura de textos teóricos presentes nos livros didáticos, os quais podem ser mais abstratos e exigirem um maior raciocínio.

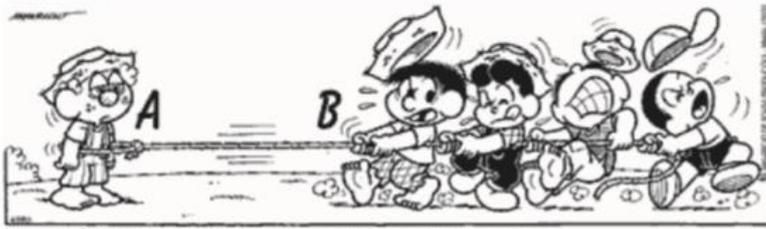
Partindo da concepção de que as HQs são produções artísticas, percebemos que a Arte é uma maneira de produção de conhecimento, assim como a Física, que pode apresentar situações através de imagens que dialogam com fenômenos presentes na natureza e fazem parte da forma de pensar da sociedade. Zanetic (2006) observa que em diversas obras literárias pode-se deduzir a influência das ideias científicas nas produções. Gomes, Giorgi e Raboni (2011) destacam ainda a presença da Física na imaginação de pintores, como Leonardo da Vinci, que estudou as sombras e como elas parecem diferentes com luzes artificiais ou naturais. Ele analisou a nitidez e o tamanho delas conforme a distância da fonte de luz, criando técnicas mais avançadas de pintura e representação da realidade. Conforme Zanetic (2006) enfatiza, a relação interdisciplinar entre a Física, a Arte e a Literatura é uma forma possível de levar o educando a uma melhor aprendizagem e uma compreensão mais apurada da realidade, o que converge em uma maior consciência de suas ações no mundo e maior autonomia em suas escolhas para a vida.

Especificamente no Ensino de Física, muitos professores vêm trabalhando com o uso de Histórias em Quadrinhos para facilitar e aprofundar o ensino para os conceitos teóricos em

suas aulas. Porém, a grande maioria utiliza os quadrinhos já elaborados. Estes são geralmente adaptados ou modificados de acordo com a necessidade do que se deseja abordar, como mostra os exemplos das figuras 2.4 e 2.5.

**Figura 2.4** - Exemplo utilizado pela professora Mileni Britto, do Colégio São José, no Rio de Janeiro. Ela realiza avaliações com tirinhas, nas quais se pode observar fenômenos físicos ligados ao cotidiano ou a brincadeiras.

Observe, abaixo a representação de uma situação de equilíbrio.



Copyright © 2001 Mauricio de Sousa Produções Ltda. Todos os direitos reservados. 4940

Adaptada de uma tirinha da Turma da Mônica.

A melhor representação vetorial das forças que atuam nos pontos A (o nó) e B (a mão do Chico Bento) é:

A)  $\rightarrow \leftarrow$

B)  $\leftarrow \rightarrow$

C)  $\searrow \nearrow$

D)  $\downarrow \uparrow$

Fonte: BRITO, M. Oficina de Educação através de História em Quadrinhos. “Disponível em:” [www.cbpf.br/eduhq](http://www.cbpf.br/eduhq). Acesso em 14 fev. 2019

**Figura 2.5** - Exemplo utilizado pela professora Isa Costa, da Universidade Federal Fluminense, de Niterói, elaborado junto com uma equipe mostrando situações-problema de Física, também através de tiras recortadas de jornal.

É, a Turma da Mafalda conseguiu mostrar ao Miguelito, de uma maneira bem simples, o por que da Lua manter sempre a mesma face voltada para Terra no seu movimento ao redor do nosso planeta. Porém, as dúvidas dele não pararam por aí. Veja as outras perguntas do Miguelito?

O que faz a Lua ficar girando em volta da Terra? Por que ela não cai?

Refleta sobre as questões do Miguelito e apresente uma explicação.

Fonte: Oliveira, J. G. (2005, p.33)

Na iniciativa de produzir um material contendo tirinhas o Professor Francisco Caruso, pesquisador e professor na Universidade Federal do Rio de Janeiro, produziu um kit contendo doze tirinhas na forma de cartão postal, lançada em julho de 2000 durante a 52ª Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), relatado por Oliveira (2005). Na figura 2.6 é apresentado um exemplo dos cartões produzidos por Francisco Caruso.

Como destacado no capítulo anterior, um dos métodos abordados por professores de Física no uso das HQs é a elaboração das histórias pelos próprios alunos. Segundo Pedroso (2012) alunos do curso de Física do triângulo mineiro utilizaram as aventuras dos heróis das Histórias em Quadrinhos desenvolvidas por 40 alunos da 3ª série do Ensino Médio para aplicar os conhecimentos adquiridos na disciplina, veja exemplo apresentado na figura 2.7. A

partir de adaptações dos quadrinhos originais, os alunos criaram novas histórias de acordo com os propósitos da disciplina.

**Figura 2.6** – Uma das tirinhas desenvolvidas pelo Professor Francisco Caruso no formato cartão postal que trata a questão de referencial.



Fonte: Oliveira, de R. 2005.

**Figura 2.7** – História em quadrinhos desenvolvida por alunos da terceira série do Ensino Médio e utilizadas nas aulas de Física.



Fonte: “Disponível em:” <http://uipi.com.br/destaques/destaque-1/2012/05/13/alunos-aplicam-as-leis-da-fisica-em-historias-em-quadrinhos/>. Acesso em: 02 março 2019.

Tendo em vista os levantamentos realizados sobre o uso das HQs na disciplina de Física e que tal metodologia pode contribuir para a aprendizagem da disciplina, nossa proposta é diferenciada, no sentido de apresentar um material elaborado pelo professor para complementar suas aulas, especificamente para o Ensino da Física, no formato de uma revistinha de banca de jornal, para abordar situações cotidianas aplicando conceitos apresentados em sala de aula. Nossa HQ narra a história em um parque de diversões, onde as personagens que são os próprios jovens, com uma linguagem aproximada da faixa etária em que o produto será aplicado, passam a discutir os conceitos físicos no decorrer da trama, bem como utilizá-los para resolver as situações-problema que vão aparecendo. A arte é composta por ilustrações e cores chamativas para atrair a atenção dos alunos visualmente, em um primeiro momento, mostrando lugares em que os adolescentes já vivenciaram, com o intuito de aprofundar ou introduzir os temas e conceitos abordados no material. Esse produto pode ser utilizado por qualquer professor de Física.

# Capítulo 3

## TÓPICOS DE FÍSICA ABORDADOS NAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS

---

---

Neste capítulo discutimos os temas da Física utilizados nas nossas Histórias em Quadrinhos (HQs). Os temas foram escolhidos para abordar uma história que ocorre em um parque de diversões. À medida que as personagens se divertem nos brinquedos elas ficam curiosas sobre o funcionamento dos mesmos, podendo discutir a Física de forma bastante abrangente em áreas como a Mecânica Clássica, a Termodinâmica, a Óptica e tópicos de Física Moderna. A seguir descreveremos detalhadamente os fenômenos Físicos envolvidos em cada brinquedo do parque de diversões considerado em nossa HQ.

### 3.1 APRENDENDO TÓPICOS DE MECÂNICA CLÁSSICA NA MONTANHA-RUSSA.

Em mecânica clássica abordamos conceitos como: força peso, a segunda lei de Newton, energia potencial e cinética, energia mecânica e conservação da energia mecânica entre outros. Estes foram considerados na HQ especificamente no brinquedo da montanha-russa.

O termo conservação em Física significa que a variável de uma equação que representa uma grandeza física conservativa é constante ao longo do tempo, ou seja, a variável tem o mesmo valor antes e depois da ocorrência de um evento ou processo. A grandeza considerada é a energia e a discussão sobre sua conservação foi feita durante o

passagem na montanha-russa, que é um dos brinquedos mais fascinantes de um parque de diversões.

A característica mais marcante relatada pelas pessoas que já se divertiram numa montanha-russa é geralmente sobre o momento da subida do carrinho, o ranger das correntes que levam o conjunto de carrinhos até o topo da primeira descida, trazendo um momento de tensão.

No momento em que se inicia a subida do carrinho até o ponto mais alto, inicia-se o processo de obtenção de energia potencial gravitacional que fará com que o carrinho desça sobre os trilhos completando todo o percurso. Esse conceito de energia está ligado à altura máxima atingida pelo carrinho com relação à sua posição inicial, a qual nós colocamos o nosso referencial ou altura zero para o sistema.

Para entendermos melhor como todo esse processo funciona, partiremos da definição de trabalho. Trabalho é uma forma de transmissão de energia para levar um determinado corpo de um ponto a outro de sua trajetória através de uma força generalizada. No caso do carrinho da montanha-russa, o trabalho é realizado através da força peso para deslocar o carrinho de uma altura  $h_1$  até  $h_2$ . Matematicamente o trabalho  $W_{1 \rightarrow 2}$  de uma força resultante  $\vec{F}$ , para levar um sistema de uma posição ou estado 1 para uma posição 2, é dado pelo produto escalar desta força pelo deslocamento  $d\vec{y}$  do mesmo, ou seja,

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{y}. \quad (1)$$

Na montanha-russa, a energia é transferida para o carrinho através da força de um motor que o leva para cima a partir de uma altura inicial  $h_1$  até o ponto mais alto da montanha-russa  $h_2$ , de onde será abandonado.

Quando o carrinho chega ao ponto mais alto da primeira subida, fica em repouso por alguns segundos, estando sujeito à força gravitacional dada pela equação:

$$\vec{F} = m\vec{g}, \quad (2)$$

sendo  $m$  a massa total do conjunto e o vetor  $\vec{g}$  a aceleração da gravidade. Essa é a força peso do sistema, que é a força com que a Terra atrai o conjunto carrinho mais passageiros. Substituindo a eq.(2) em (1), onde  $h_1$  é o ponto de partida do carrinho (onde os passageiros aguardam sua vez) e  $h_2$  é o ponto mais alto da montanha-russa (a primeira subida), obtemos:

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_{h_1}^{h_2} m\vec{g} \cdot d\vec{y} = -mg \int_{h_1}^{h_2} dy = -(mgh_2 - mgh_1)$$

$$\therefore W_{1 \rightarrow 2} = -\Delta E_p. \quad (3)$$

O sinal negativo que aparece na segunda igualdade é obtido do produto escalar entre os vetores  $\vec{g}$  e  $d\vec{y}$ . O vetor que representa a aceleração da gravidade está direcionado verticalmente para baixo enquanto que o vetor deslocamento vertical está para cima, uma vez que tomamos o nosso zero da altura na posição inicial do carrinho antes deste ser levado para o topo da montanha russa.

Note que o trabalho realizado por uma força gravitacional sobre o carrinho, quando o mesmo se desloca entre dois pontos, não depende da trajetória de  $h_1 \rightarrow h_2$ , mas somente dos pontos inicial e final,  $h_1$  e  $h_2$ , respectivamente. Isso significa que a força gravitacional é uma força conservativa e o trabalho pode ser representado pelo negativo da variação de uma grandeza chamada energia potencial gravitacional, dada por  $E_p = mgh$ . A classe de forças conservativas como a gravitacional, elástica, eletrostática, etc. são chamadas dessa forma porque conservam a energia mecânica do sistema.

A energia potencial gravitacional do carrinho, adquirida durante a subida do mesmo, será convertida em energia cinética durante a descida, partindo do ponto mais alto até o ponto inicial.

A partir do momento em que o carrinho começa a descer sobre a influência da força gravitacional, a emoção toma conta dos passageiros dos vagões. Para os participantes no interior do carrinho, além do aumento de velocidade incrível na primeira descida, eles experimentam algo realmente curioso que acontece durante as rápidas curvas, que é a ação de uma força que tenta jogá-los para fora da curva, fazendo com que sejam pressionados nas paredes do carrinho durante o percurso.

Mas como pode uma força agir em um corpo sem existir o agente da força? Na verdade, o que está ocorrendo é o efeito dos passageiros estarem se movendo em um referencial não inercial, ou seja, um referencial acelerado. O que os passageiros sentem é o efeito do que chamamos de pseudoforça, ou força de inércia centrífuga. Esta é nomeada dessa forma porque não cumpre os requisitos necessários da definição de força provenientes das leis de Newton. Isso significa que as leis da mecânica de Newton se aplicam apenas a sistemas de referência inerciais, que são sistemas de referência em que corpos livres da ação de forças não têm o seu estado de movimento alterado, ou seja, corpos livres não sofrem acelerações quando não há forças sendo exercidas nos mesmos. Tais sistemas ou estão parados, velocidade nula, ou em movimento retilíneo uniforme uns em relação aos outros, velocidade constante. Como a pseudoforça centrífuga somente aparece em sistemas acelerados devido à rotação do sistema, esta não pode ser considerada como uma força de acordo com a definição

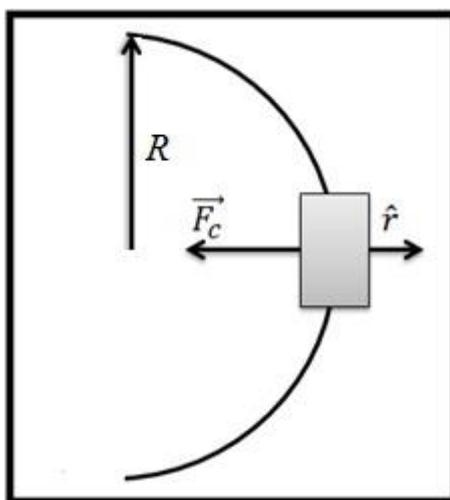
de Newton. O efeito é o mesmo de sermos pressionados contra as paredes de um ônibus quando o mesmo realiza uma curva.

Para que o carrinho consiga realizar a curva sem descarrilhar e continuar o trajeto é necessário que uma força resultante haja sobre ele. Esta é chamada de força centrípeta e é dada pela equação:

$$\vec{F}_C = -m \frac{v^2}{R} \hat{r}, \quad (4)$$

em que  $\hat{r}$  é o versor radial da trajetória curvilínea direcionado para fora da curva, mostrando que a força centrípeta é direcionada para a origem do raio de curvatura  $R$ , ou seja, para dentro da curva, uma vez que utilizamos  $-\hat{r}$  na eq.(4), veja figura 3.1.

**Figura 3.1** – Representação do sistema de vetores mostrando a força resultante centrípeta  $\vec{F}_C$  no carrinho no momento em que o mesmo realiza uma curva com raio de curvatura  $R$ . Note que a força centrípeta é contrária ao versor radial  $\hat{r}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores.

Por conveniência, podemos escrever a eq.(4) em termos da velocidade angular  $\omega$ . Sendo  $v = R\omega$ , obtemos  $\vec{F}_C = -m\omega^2 R\hat{r}$ .

No caso da pseudoforça centrífuga, o seu efeito é sentido para fora da trajetória curvilínea, ou seja, possui o sentido positivo do versor radial  $\hat{r}$ . Como os passageiros são mantidos no interior dos carrinhos da montanha-russa durante a realização de uma curva, o efeito resultante é como se a pseudoforça centrífuga  $\vec{F}_{Cf}$  sentida pelos passageiros fosse equilibrada pela força normal das paredes dos carrinhos sobre eles, que no caso é a própria força centrípeta. Dessa forma podemos escrever  $\vec{F}_{Cf} = m\omega^2 R\hat{r}$ . Lembrando que estamos

apenas falando sobre um efeito, não estamos aplicando a definição de força de Newton para a força centrífuga. Só queremos saber quais os parâmetros que podem influenciar neste efeito.

Substituindo  $\vec{F}_{cf}$  na eq.(1), obtemos o que seria o equivalente da energia potencial da pseudoforça centrífuga  $\varphi_{cf}(R)$  em uma trajetória curvilínea de raio  $R$ . Integrando o raio da trajetória de  $0$  a  $R$  e considerando  $\varphi_{cf}(0) = 0$  obtemos,

$$\varphi_{cf}(R) = \int_0^R \vec{F}_{cf} \cdot d\vec{R},$$

$$\varphi_{cf}(R) = \frac{m\omega^2 R^2}{2}. \quad (5)$$

A eq.(5) mostra que a energia potencial centrífuga é proporcional ao quadrado da velocidade do carrinho, pois  $\omega^2 R^2 = v^2$ , ou seja, para um raio de curvatura fixo, quanto maior a velocidade do carrinho maior será a energia potencial centrífuga. Isso significa que maior deverá ser a força centrípeta para manter o carrinho na curva, conforme eq.(4), ou seja, será mais difícil manter o carrinho na curva à medida que sua velocidade aumenta. Esse fenômeno é explorado em montanhas-russas que possuem o famoso loop, que ocorre quando o carrinho percorre um círculo no plano vertical. A velocidade limite para o carrinho realizar um loop permite que os passageiros do mesmo fiquem literalmente de cabeça para baixo. Isso ocorre porque a pseudoforça centrífuga atinge grandes intensidades de tal forma que pressiona os passageiros contra o assento mantendo-os em sua posição e impedindo que os mesmos caiam sob o efeito da força gravitacional.

O movimento do carrinho em toda a sua trajetória é causado pela conversão de energia potencial para outra forma de energia, relacionada ao movimento, chamada de energia cinética  $E_c$ . Para obtenção de uma expressão matemática que caracteriza essa energia vamos considerar o carrinho com massa constante  $m$  movendo-se sob a ação de uma força  $\vec{F}$ . Pela segunda lei de Newton temos que:

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad (6)$$

em que  $\vec{a}$  é o vetor aceleração do carrinho.

O trabalho  $W$  realizado por esta força, de acordo com a eq.(1), é dado por

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{x} = m \int_1^2 \vec{a} \cdot d\vec{x} = m \int_1^2 \frac{dv}{dt} dx,$$

onde consideramos a velocidade na mesma direção do deslocamento. Sendo a velocidade uma função da posição, ou seja,  $v = v[x(t)]$  podemos escrever a aceleração do carrinho como,

$$a = \frac{dv[x(t)]}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v.$$

Substituindo na expressão para o trabalho obtemos,

$$W_{1 \rightarrow 2} = m \int_1^2 v \frac{dv}{dx} dx = m \int_1^2 v dv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

A expressão dada por  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$  é chamada de energia cinética, de modo que o trabalho de 1 a 2 é igual à variação da energia cinética,

$$W_{1 \rightarrow 2} = \Delta E_c. \quad (7)$$

Esse resultado é conhecido como teorema do trabalho energia. A importância desse teorema reside no fato de podermos calcular o trabalho de um sistema sem a necessidade de conhecer a natureza da força que está agindo sobre o mesmo, como no caso da eq.(1). Basta conhecermos a velocidade inicial e final do sistema.

Quando o carrinho é abandonado do repouso, inicia-se imediatamente o movimento do mesmo. A partir desse momento temos a energia potencial gravitacional armazenada durante a subida sendo convertida em energia cinética. Esse momento é ilustrado na HQ da mesma forma como apresentado na figura 3.2.

**Figura 3.2** - Imagem do quadrinho desenvolvido para representar o momento em que o carrinho começa a descer a partir de sua altura máxima para discutir o processo de conversão de energia potencial gravitacional em cinética.



Fonte: Elaborada pelos autores.

As equações descritas anteriormente, no nível de compreensão matemático adequado para os alunos, podem ser apresentadas durante as aulas à medida que a HQ for sendo mostrada aos alunos, como na figura 3.3.

**Figura 3.3** - Imagem da HQ mostrando a utilização de equações, como da energia potencial e cinética, no decorrer da história.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para descrevermos como a energia potencial é convertida em energia cinética durante o movimento do carrinho, é conveniente definir também a energia mecânica do sistema utilizando o teorema trabalho energia. Considerando que a força total aplicada ao carrinho é composta por forças conservativas e não conservativas podemos escrever o trabalho total  $W$  como sendo a soma do trabalho das forças conservativas  $W_C$  mais o trabalho das forças não conservativas  $W_{NC}$ , ou seja,

$$W = W_C + W_{NC} = \Delta E_C. \quad (8)$$

Como o trabalho das forças conservativas é igual a menos a variação da energia potencial, temos que:

$$-\Delta E_P + W_{NC} = \Delta E_C \rightarrow W_{NC} = \Delta E_C + \Delta E_P,$$

$$W_{NC} = E_C^{(2)} - E_C^{(1)} + E_P^{(2)} - E_P^{(1)} = (E_C^{(2)} + E_P^{(2)}) - (E_C^{(1)} + E_P^{(1)}),$$
$$\therefore W_{NC} = \Delta E,$$

em que  $E = E_C + E_P$  é a energia mecânica do sistema. Se o trabalho das forças não conservativas for nulo temos que  $\Delta E = 0$  e, portanto, a energia mecânica do sistema se conserva e toda energia potencial inicial será convertida em energia cinética. Caso contrário, se  $\Delta E \neq 0$ , a energia mecânica não se conserva. Isso é o que ocorre na realidade, pois temos o atrito do ar, dos rolamentos das rodas do carrinho e entre os trilhos e o carrinho, além da produção de som, fazendo com que a energia potencial inicial do carrinho não seja convertida completamente em energia cinética, ou seja, a energia mecânica do sistema não se conserva.

Durante a explicação dessas grandezas o professor pode fazer perguntas para os alunos como: Mas a energia do sistema não tinha que se conservar? Essa pergunta é muito importante para introduzir o princípio de conservação de energia. É interessante ficar claro que o que não está se conservando neste processo é a energia mecânica do sistema. E é por esta razão que a primeira descida do carrinho tem que ter altura maior, para fazer com que o mesmo tenha energia suficiente para realizar todo o percurso do brinquedo com várias curvas e movimentos de sobe e desce. Se tiver uma única subida com a mesma altura do ponto em que o carrinho é abandonado, o mesmo não conseguirá completar o trajeto, pois não terá energia suficiente para isso.

No princípio de conservação de energia é considerada a energia total do sistema. Esta sim é sempre conservada. Se somarmos todas as modalidades de energia observadas durante a descida do carrinho, o resultado tem que ser o mesmo do valor da energia potencial gravitacional antes do movimento do carrinho ser iniciado. O tratamento deste princípio é importante para introduzir conceitos de Termodinâmica e suas leis, os quais serão discutidos em maiores detalhes na próxima seção.

### 3.2 INTRODUÇÃO À TERMODINÂMICA E SUAS APLICAÇÕES.

Desde a Antiguidade sabe-se que através do calor é possível vaporizar a água e usar esse vapor para realizar trabalho mecânico. A partir do final do século XVIII, a ideia de transformar calor em trabalho começou a ser cada vez mais explorada com o advento das máquinas térmicas. Ainda hoje, esse princípio é largamente utilizado pelo ser humano em suas atividades, com destaque para os setores de geração de energia e de transportes.

Neste trabalho nós analisamos um barquinho a vapor, um experimento conhecido e comumente utilizado como exemplo de máquina térmica, podendo ser encontrado em: <http://www.manualdomundo.com.br/2012/04/como-fazer-um-barco-a-vapor-barquinho-pop-pop/>. Este experimento é muito promissor para auxiliar o professor a fazer com que os alunos entendam o que é uma máquina térmica e o significado de calor segundo os princípios da Termodinâmica.

Uma máquina térmica é qualquer dispositivo que transforma calor em trabalho operando ciclicamente. Segundo os princípios da Termodinâmica, tanto as máquinas térmicas a vapor, que operam com o vapor d'água produzido em uma caldeira, quanto às máquinas térmicas de combustão interna que operam devido aos gases gerados pela queima de combustíveis, têm seu funcionamento baseado no aumento da energia interna das substâncias envolvidas e no trabalho realizado.

Assim como o trabalho, o calor é um método de transferência de energia e depende do caminho ou do processo pelo qual um sistema é movido de um estado de equilíbrio 1 para outro estado de equilíbrio 2. Diferentemente do trabalho, o calor está relacionado com a variação de parâmetros internos do sistema e é um método responsável pela transferência de energia térmica. Portanto, sempre que nós mencionarmos a palavra calor, estamos nos referindo à energia térmica que o sistema adquiriu ou perdeu através desse método.

Com o barquinho *pop pop* podemos discutir tanto a primeira lei quanto a segunda lei da Termodinâmica. Quando fornecemos a um sistema uma certa quantidade de energia através do calor, adquirida de uma fonte térmica, comumente chamada de quantidade de calor  $Q$ , uma parte dessa energia é convertida em outra modalidade através de um corpo de trabalho, que é onde a energia térmica será tratada para ser convertida em outra modalidade através do trabalho  $W$ . No caso do barquinho a vapor parte da energia térmica inicial é convertida em energia cinética, fazendo com que o barquinho se movimente na água. Esse movimento se dá pela expulsão do vapor liberado por um duto de escape. A outra parte da energia, não convertida em movimento, é responsável pela variação da energia interna  $U$  do sistema. Isso significa que, além de ser posto em movimento através do trabalho  $W$ , a carcaça do barquinho esquenta devido à variação de  $U$ .

A primeira lei da Termodinâmica relaciona a variação da energia interna  $\Delta U$  do sistema com a quantidade de calor e trabalho da seguinte forma:

$$U_2 - U_1 = \Delta U = Q - W, \quad (9)$$

ou seja, a variação da energia interna do sistema é dada pela quantidade de energia adquirida pelo mesmo através do calor  $Q$ , menos a quantidade de energia que o sistema fornece a vizinhança através do trabalho  $W$ . Se quisermos colocar da forma descrita no parágrafo anterior basta escrever a primeira lei como  $Q = \Delta U + W$ .

Como o barquinho é uma máquina térmica, ele funciona ciclicamente. Isso significa que  $\Delta U = 0$ , pois o estado final é igual ao estado inicial  $U_2 = U_1$ , uma vez que o ciclo é reiniciado. Pela equação da primeira lei obtemos que  $Q = W$ . Isso implica que todo calor pode ser convertido em trabalho e todo trabalho pode ser convertido em calor. A primeira lei não oferece qualquer restrição sobre a porcentagem de energia que é convertida ou mesmo a direção em que ocorre tal conversão. Isso é feito pela segunda lei da Termodinâmica.

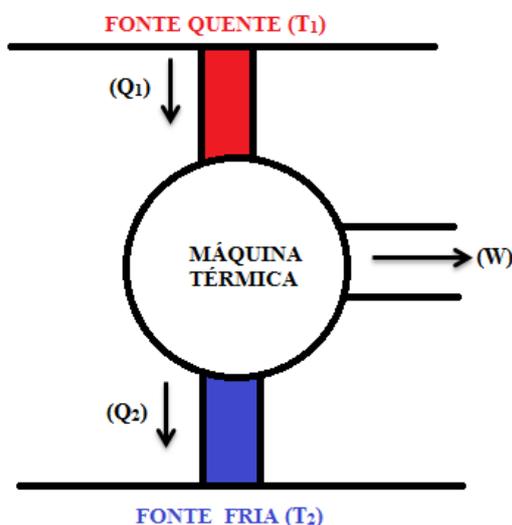
A segunda lei da Termodinâmica nos diz que uma certa quantidade de energia pode ser totalmente convertida em qualquer outra modalidade através do trabalho, ou seja, podemos ter  $W \rightleftharpoons Q$ , com a seta indicando a direção de conversão. Isso pode ser facilmente observado quando atritamos o dedo em alguma superfície convertendo energia mecânica em energia térmica. Por outro lado, a segunda lei nos diz que é impossível converter totalmente calor em trabalho, pois o fluxo de energia através de calor se dá através de um processo irreversível, significando que existem perdas de energia no processo. Portanto, se quisermos obter uma quantidade de trabalho é necessário fornecer uma quantidade de calor maior para compensar as perdas no processo de transferência de energia térmica, ou seja,  $Q \overset{\rightrightarrows}{>} W$ . Como consequência disso é impossível concebemos uma máquina térmica com 100% de eficiência.

Para entendermos melhor essa questão da eficiência de uma máquina térmica vamos ver como se dá o seu funcionamento, o qual é ilustrado na figura 3.4.

A energia fornecida ao sistema através de  $Q_1$  se dá por uma fonte térmica, comumente chamada de fonte quente, cuja temperatura é  $T_1$ . Parte dessa energia é utilizada para realização de trabalho  $W$  e parte é dissipada ou descartada pelo sistema através de  $Q_2$ , na fonte fria com temperatura  $T_2 < T_1$ , como ilustrado na figura 3.4.

O trabalho é dado por  $W = Q_1 - Q_2$ , ou seja, temos  $Q_1 = W + Q_2$  mostrando que devemos ter de fato que  $Q \overset{\rightrightarrows}{>} W$ . Colocando em termos de equações fica bem mais fácil de explicar para os alunos o que significa a compensação que deve ser fornecida ao sistema para realizarmos uma quantidade de trabalho definida.

**Figura 3.4** – Diagrama esquemático do fluxo de energia de uma máquina térmica, mostrando uma fonte quente à temperatura  $T_1$  fornecendo uma certa quantidade de energia através de calor,  $Q_1$ , da qual parte é convertida em outra modalidade através de trabalho  $W$  e a outra parte é dissipada pelo sistema através de calor,  $Q_2$ , para a fonte fria à temperatura  $T_2 < T_1$ .



Fonte: Elaborada pelos autores.

O rendimento ou eficiência  $\eta$  da máquina térmica é definido como a quantidade de trabalho útil produzida pela quantidade de energia total fornecida pela fonte quente, ou seja,

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (10)$$

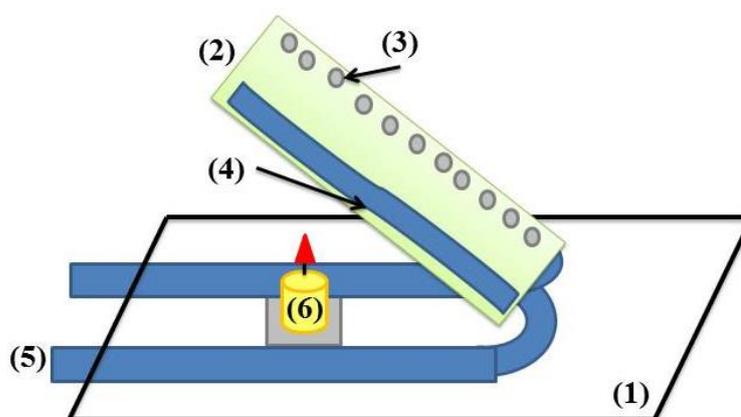
Como  $\frac{Q_2}{Q_1} < 1$  temos que o rendimento da máquina térmica é sempre menor que 100%, ou seja,  $\eta < 1$ .

Vamos analisar agora o funcionamento do barquinho a vapor montado neste trabalho e verificar se o mesmo pode ser realmente tratado como uma máquina térmica. Na figura 3.5 apresentamos uma ilustração do barquinho montado com materiais simples e de fácil aquisição. A carcaça do barquinho é construída com uma placa de isopor, sua caldeira é feita com metal obtido de latinhas de refrigerante e os tubos de exaustão com dois canudinhos. A fonte quente é uma vela e a fonte fria é a água juntamente com a atmosfera que está na vizinhança do barquinho.

O barquinho *pop pop* é movido por um dispositivo muito simples, composto por uma pequena caldeira conectada a dois tubos de exaustão. A caldeira é inicialmente preenchida com uma pequena porção de água. Quando a vela é acesa, a energia térmica é transferida à caldeira através de calor, a água em seu interior evapora produzindo vapor. A expansão do

vapor faz com que o mesmo seja expelido da caldeira através dos dois tubos de exaustão. A expulsão do vapor faz com que haja transferência de momento do barquinho para a água e pela terceira lei de Newton, uma reação é produzida, fazendo com que a água transfira momento para o barquinho propelindo o mesmo para frente. A saída de vapor se dá rapidamente provocando pequenas explosões, que é a origem do som *pop pop*.

**Figura 3.5** – Esquema ilustrativo de montagem do barquinho *pop pop*. O sistema é composto por (1) prancha de isopor, (2) caldeira feita com o metal de latinhas de refrigerante, (3) é o gás formado no interior da caldeira após o aquecimento da água contida na mesma, (4) é a água que penetra no interior da caldeira, (5) são os tubos de exaustão construídos com canudinhos e (6) é a fonte quente do sistema feita com uma vela.



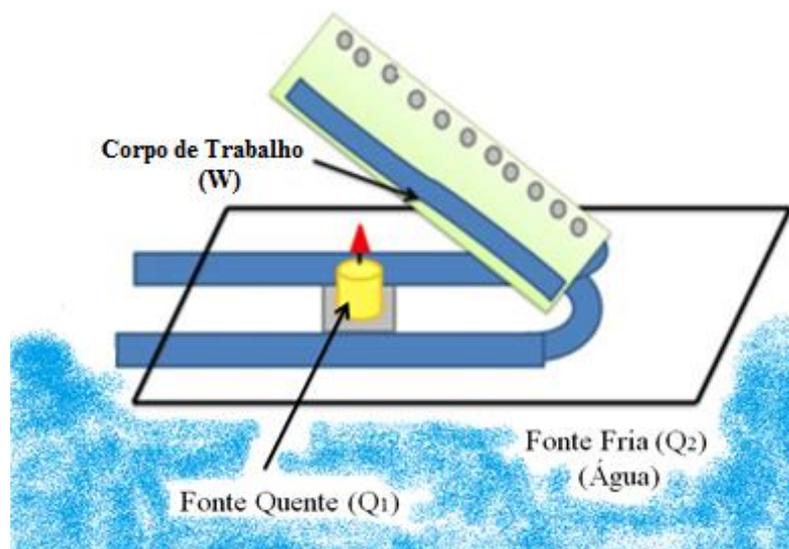
Fonte: Elaborada pelos autores.

Quando o vapor escapa pelos tubos forma-se vácuo na caldeira criando-se uma diferença de pressão entre a parte interna da caldeira e o lado de fora do barquinho, onde temos pressão atmosférica. Essa diferença de pressão faz com que água seja empurrada para dentro da caldeira, para a produção de mais vapor fazendo com que o ciclo seja reiniciado. Portanto, a água fica oscilando periodicamente no interior da caldeira devido à geração de vapor, expulsão do mesmo através dos tubos de exaustão e a diferença de pressão causada pela exaustão. A água é expelida pelos dois tubos do barquinho na primeira fase do ciclo e absorvida na segunda fase. Se a água fosse expelida por um tubo e absorvida pelo outro o barquinho ficaria girando na água e isso não ocorre. Ele se move sempre para frente enquanto a vela estiver acesa.

Vemos então que este é um excelente experimento para discussão de máquina térmica, pois é possível identificarmos a fonte quente, dada pela vela, o corpo de trabalho, dado pela

caldeira e os tubos de exaustão, e a fonte fria dada pela água e atmosfera na vizinhança do barquinho, veja ilustração na figura 3.6.

**Figura 3.6** – Esquema ilustrativo do barquinho *pop pop* representando as partes de uma máquina térmica de acordo com a figura 3.4.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O funcionamento do barquinho a vapor é apresentado na HQ em uma situação problema, na qual nossos jovens aventureiros constroem um barco a vapor com os materiais disponíveis no local. Neste momento, o professor pode explorar os conceitos e a funcionalidade do barquinho utilizando o experimento, o qual possui uma montagem fácil, barata e objetiva para o entendimento e discussão das leis da Termodinâmica.

Durante o funcionamento do barquinho é possível observar as transformações de energia no sistema e o processo de diferença de pressão causada pela exaustão através das ondulações na água, como mostra a foto do experimento na figura 3.7.

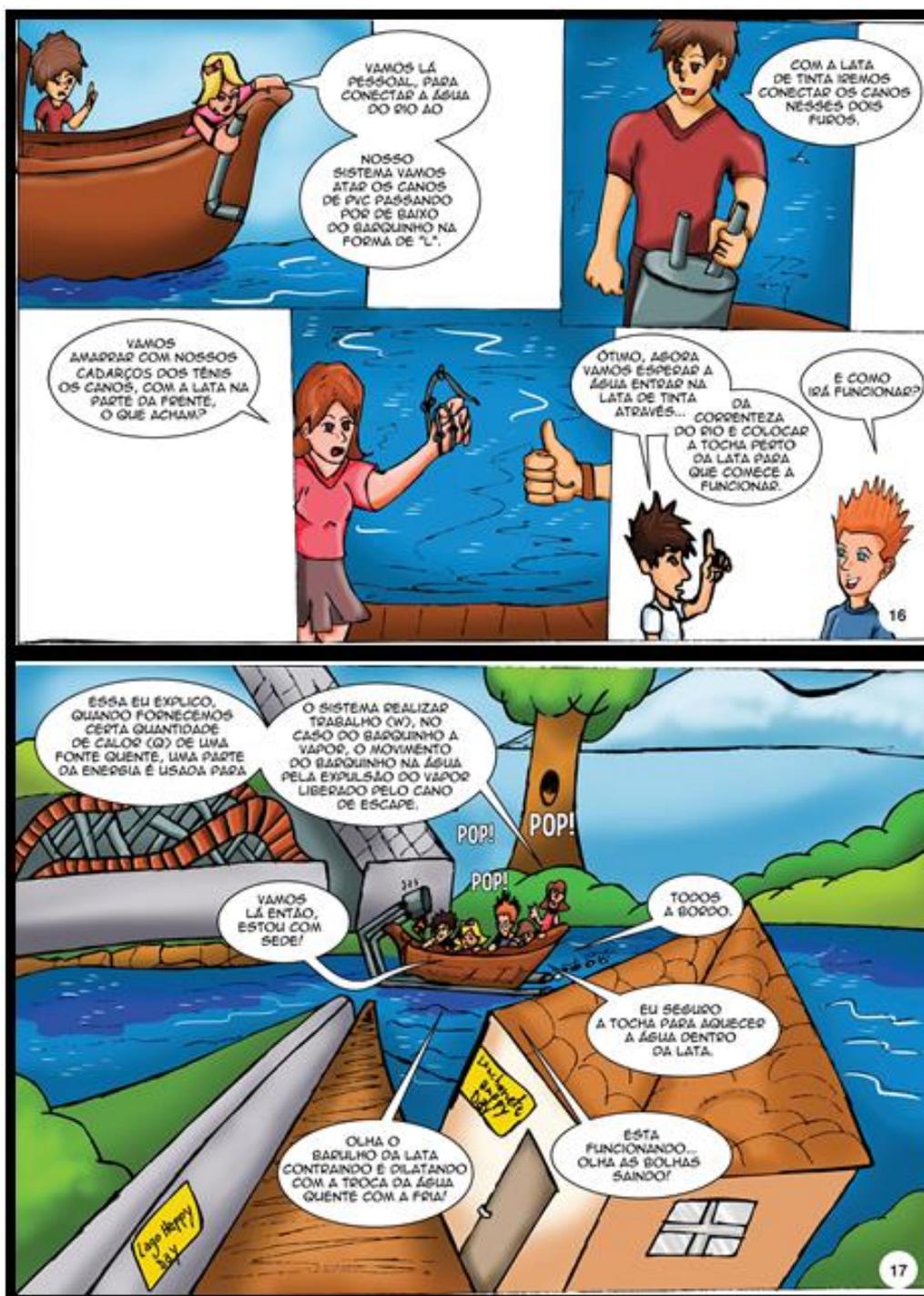
Como já mencionado, na HQ apresentamos uma situação problema que demanda a construção de um barco a vapor pelas personagens através do conhecimento das Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica. Toda a discussão relacionada à Física do funcionamento do barco e a aquisição de materiais para sua construção é apresentada nas conversas das personagens nos quadrinhos, como mostra a figura 3.8.

**Figura 3.7** – Experimento do barquinho a vapor em funcionamento.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3.8 – Quadrinhos mostrando o procedimento de montagem do barquinho a vapor na nossa HQ. O último quadrinho mostra o barquinho em funcionamento no final da história.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.3 VISUALIZANDO O INFINITO ESTUDANDO ÓPTICA.

Na física a óptica é dividida em duas partes: óptica geométrica e óptica física. A diferença entre essas vertentes está no estudo fenomenológico do comportamento da luz.

O físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831-1879) contribuiu de forma excepcional na demonstração da natureza clássica da luz. Através de sua teoria, proveniente de suas famosas equações, as equações de Maxwell, ele uniu eletricidade, magnetismo e óptica e mostrou que a luz é um efeito eletromagnético correspondendo à propagação de ondas elétricas e magnéticas. Nessa nova teoria, a luz seria apenas uma parte do espectro das ondas eletromagnéticas. A teoria de Maxwell era capaz de explicar todos os fenômenos ópticos até então conhecidos. Desde as leis da reflexão, da refração, até os fenômenos da difração e interferência da luz.

Na óptica geométrica consideramos que a luz se propaga através de feixes luminosos em linha reta podendo ser bloqueados ou desviados. Quando ocorre o bloqueio de um feixe luminoso observa-se a projeção de sombras, que são locais em que há ausência de luz. Para que haja o desvio da luz, os obstáculos devem possuir dimensões maiores que seu comprimento de onda. Estes obstáculos são conhecidos como espelhos ou lentes.

Na seção três do nosso produto educacional trabalhamos com os conceitos da óptica geométrica. Para tal estudo é necessário compreender três princípios básicos:

- **Princípio da propagação retilínea da luz:** a luz se propaga em linha reta através de um meio que possui as mesmas propriedades físicas.

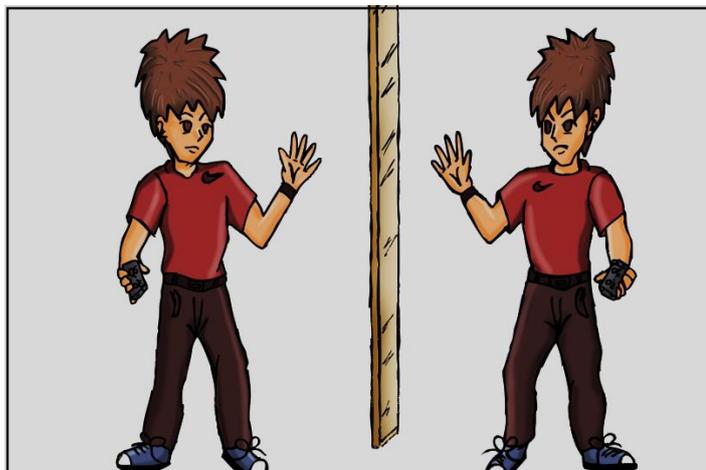
- **Princípio da independência dos raios luminosos:** dois raios ao se cruzarem seguem seus caminhos sem produzir qualquer interferência um no outro.

- **Princípio do caminho inverso:** o caminho de propagação da luz não se modifica quando o sentido de propagação se inverte.

Esses princípios são observados na produção de imagens no interior de um labirinto de espelhos em um parque de diversões, tema que abordamos na HQ, onde a luz entra pelas aberturas das portas de entrada e saída do labirinto ou são produzidas artificialmente.

Como o tema é o labirinto de espelhos, nós discutimos sobre a formação de imagens em espelhos planos. Em um espelho plano sua imagem é idêntica ao objeto que está a sua frente, porém de forma simétrica. Isto significa que o espelho forma um plano de simetria entre o objeto e sua imagem, ou seja, todos os pontos do objeto e de sua imagem estão à mesma distância do espelho, veja ilustração na figura 3.9.

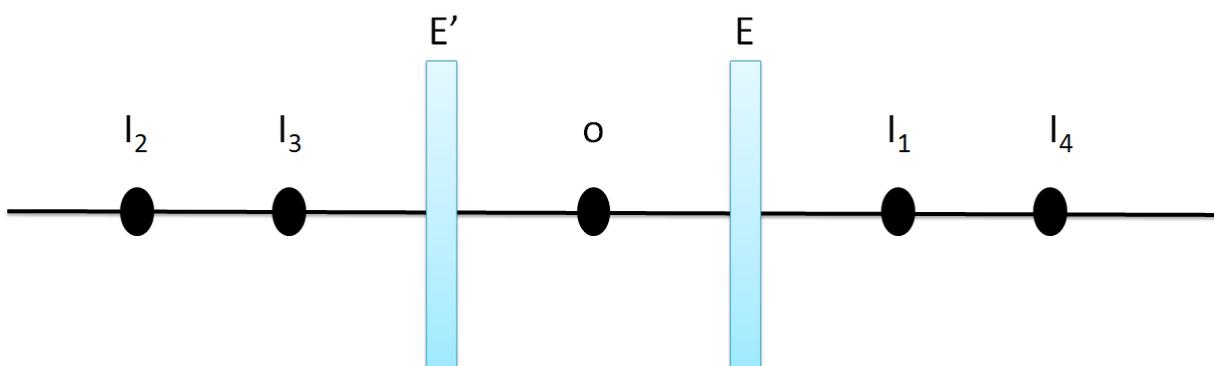
**Figura 3.9** – Se estendermos a mão direita em frente a um espelho plano observaremos nossa imagem de forma simétrica, com a mão esquerda estendida e vice-versa.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A maior dificuldade em encontrar a saída do labirinto de espelhos no parque de diversões é devido à grande quantidade de espelhos em seu interior, dispostos em diferentes direções, com o intuito de confundir os visitantes. Estes diversos espelhos produzem imagens repetitivas criando ilusões de corredores que podem representar uma saída falsa do labirinto. Esse fenômeno é conhecido como efeito do espelho infinito e é produzido quando dois espelhos são colocados um de frente para o outro paralelamente. Para entendermos como isso ocorre vamos utilizar a imagem apresentada na figura 3.10 onde temos dois espelhos paralelos um de frente para o outro.

**Figura 3.10** – A imagem formada do objeto  $O$  no espelho  $E$  é dada por  $I_1$ . Essa imagem passa a ser um objeto para o espelho  $E'$ , o qual produz a imagem  $I_2$ , a qual será um objeto para o espelho  $E$ , e assim por diante. Da mesma forma, a imagem de  $O$  em relação ao espelho  $E'$  é o ponto  $I_3$ , o qual será um objeto para  $E$ , produzindo a imagem  $I_4$ , e assim por diante. Desse modo, são formadas infinitas imagens.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Esse efeito é observado na foto apresentada na figura 3.11 onde colocamos um carrinho entre dois espelhos planos dispostos paralelamente um em frente do outro. Note o bonito efeito da imagem do carrinho se repetindo indefinidamente.

**Figura 3.11** – Efeito do espelho infinito observado colocando-se um objeto entre dois espelhos planos dispostos paralelamente um de frente para o outro.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Podemos analisar e até quantificar esse fenômeno através do caminho óptico da luz, ou seja, a distância que a luz viaja em cada reflexão. Para isso vamos considerar uma pessoa em pé exatamente entre dois espelhos paralelos separados por uma distância  $d$ , ou seja, a pessoa está situada a uma distância  $\frac{d}{2}$  de cada espelho, como mostra a ilustração da figura 3.12.

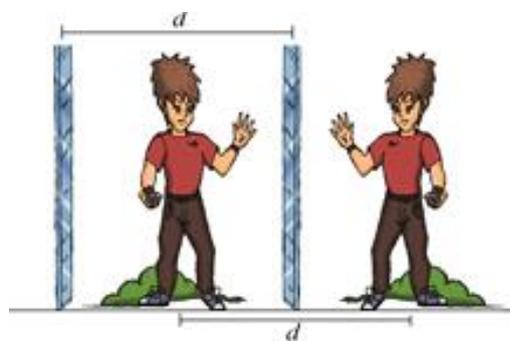
**Figura 3.12** – Imagem representando a situação de uma pessoa entre dois espelhos planos paralelos separados de uma distância  $d$ .



Fonte: Elaborada pelos autores.

A primeira imagem do observador aparecerá à mesma distância  $\frac{d}{2}$  do espelho que ele está observando, mas atrás deste espelho, ou a uma distância  $d$  do observador, veja figura 3.13.

**Figura 3.13** – A distância entre o observador e sua imagem é a mesma distância  $d$  entre os dois espelhos planos.



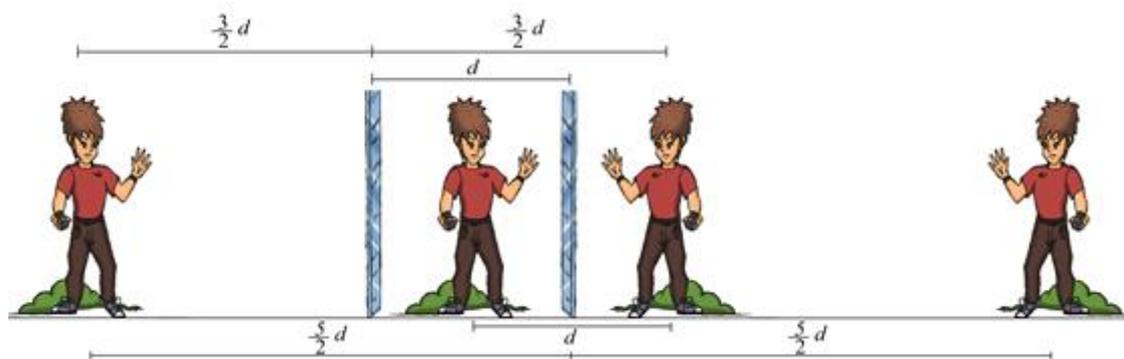
Fonte: Elaborada pelos autores.

A próxima imagem voltada para o observador será produzida pela reflexão da primeira imagem no espelho situado atrás dele. Como a primeira imagem está situada a  $\frac{d}{2}$  do espelho de referência e os dois espelhos estão separados por uma distância  $d$ , ela estará a uma distância  $\frac{d}{2} + d = 3\frac{d}{2}$  do espelho que está atrás do observador, como ilustrado na figura 3.14.

Por sua vez, esta última estará a uma distância de  $5\frac{d}{2}$  do espelho de referência formando a segunda imagem vista pelo observador. Continuando esse raciocínio é possível mostrar que as imagens formadas em ambos os espelhos obedecem à sequência de múltiplos

ímpares de  $\frac{d}{2}$ , ou seja,  $1\frac{d}{2}, 3\frac{d}{2}, 5\frac{d}{2}, 7\frac{d}{2}, \dots, n\frac{d}{2}$ , para  $n$  ímpar crescendo indefinidamente. Esse fenômeno nos quadrinhos que produzimos é ilustrado através da formação de túneis falsos nos espelhos causando um efeito visual de um corredor sem fim, veja figura 3.15.

**Figura 3.14** – Sequência de imagens vista pelo observador.



Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura 3.15** – Imagem que representa a ilusão de um corredor através do fenômeno espelho infinito. Isso pode ser visto quando o menino da imagem bate o rosto contra o espelho acreditando ser uma saída do labirinto de espelhos.



Fonte: Elabora pelos autores.

Com isso podemos concluir que quando um objeto está localizado entre dois espelhos planos paralelos são formadas infinitas imagens decorrentes das reflexões das próprias imagens. Se tivermos apenas os espelhos um de frente para o outro é possível observar o

efeito de um corredor infinito na sala de espelhos de um parque de diversões devido à reflexão de um espelho no outro, como ilustrado no quadrinho da figura 3.15.

É possível quantificar o número de imagens de um objeto formadas quando alguma associação de espelhos é realizada. Dependendo do ângulo  $\theta$  formado entre os dois espelhos planos o número  $n$  de imagens é dado pela seguinte relação:

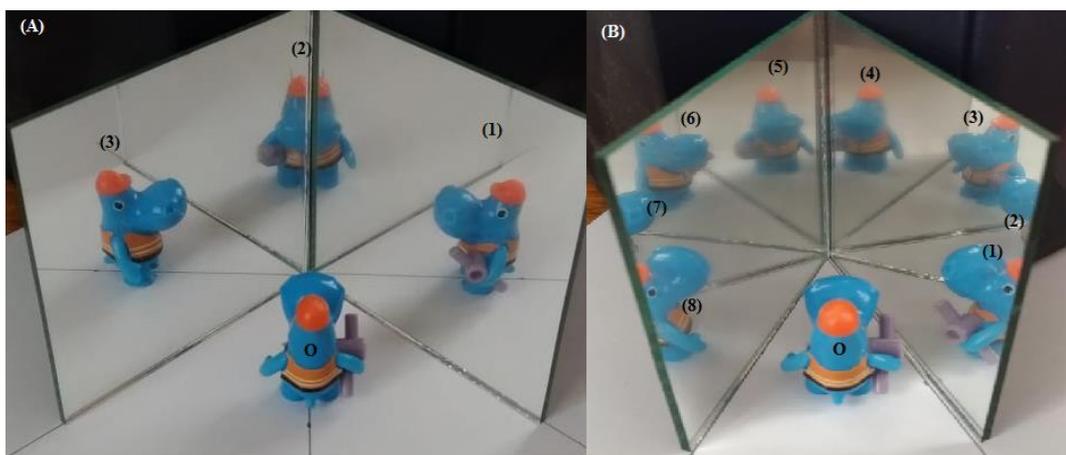
$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - 1, \quad (11)$$

Essa expressão é válida quando  $n$  é dado por:

- Um número ímpar, para um objeto que está no plano bissetor de  $\theta$ . O plano bissetor é um plano localizado a  $45^\circ$  entre os planos vertical e horizontal. Para termos uma situação como esta, fizemos  $\theta = 90^\circ$  na eq.(11) e posicionamos um boneco no plano bissetor, localizado a  $45^\circ$  de cada espelho. Pela eq.(11) devemos ter  $n = 3$  imagens formadas. Isso é confirmado na figura 3.16 A.

- Um número par, para qualquer objeto colocado em qualquer ponto entre dois espelhos. Para verificar isto, consideramos o ângulo entre os dois espelhos de  $\theta = 40^\circ$ . Pela eq.(11) devemos ter  $n = 8$  imagens, como mostra a figura 3.16 B;

**Figura 3.16** – (A) Quando colocamos um objeto a  $45^\circ$  (plano bissetor) de dois espelhos separados por  $90^\circ$  observa-se um número ímpar de imagens formadas,  $n = 3$ . (B) Quando o objeto é colocado entre dois espelhos separados por  $40^\circ$  observa-se a formação de um número par de imagens,  $n = 8$ , comprovando as condições em que a eq.(11) é válida.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Quando essas duas condições não são satisfeitas, o número de imagens formadas é simplesmente dado por:

$$n = \frac{360^\circ}{\theta}, \quad (12)$$

Tanto a eq.(11) quanto a eq.(12) podem ser utilizadas para representar a situação em que temos dois espelhos paralelos, ou seja,  $\theta = 0$ . Como a divisão por zero não existe, o problema é resolvido a partir da realização de uma operação chamada de o limite de uma função. Sendo  $n = n(\theta)$ , uma função de  $\theta$ , podemos tomar a eq.(10) e calcular o seguinte limite,

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} n(\theta) = \lim_{\theta \rightarrow 0} \left( \frac{360^\circ}{\theta} - 1 \right),$$

Usando a propriedade de limites,  $\lim_{x \rightarrow a} [f(x) \pm g(x)] = \lim_{x \rightarrow a} f(x) \pm \lim_{x \rightarrow a} g(x)$ , que pode ser encontrada em qualquer livro de cálculo diferencial e integral, obtemos:

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{360^\circ}{\theta} - \lim_{\theta \rightarrow 0} 1 = \infty - 1 = \infty. \quad (13)$$

Este resultado mostra que se  $\theta$  for um número muitíssimo pequeno, o mais próximo de zero possível teremos 360 dividido por este número que é quase zero, mas não é zero. Isso nos fornece um número muitíssimo grande. Isso pode ser melhor entendido se fizermos a operação para  $\theta = 0,1$ , fornecendo o resultado de  $n = 3.599$ . Se considerarmos  $\theta$  cada vez menor, como por exemplo,  $\theta = 0,01$ ;  $0,001$ ;  $0,0001$ , obteremos os respectivos resultados para o número de imagens formadas  $n = 35.999$ ;  $359.999$ ;  $3.599.999$ . Note que quanto menor  $\theta$  maior será  $n$ , de modo que quando  $\theta$  tender a zero, o número de imagens tenderá a infinito. Como mostrado na eq.(13) se subtrairmos 1 de um número muito grande continuaremos com um número muito grande. É importante lembrar que o símbolo infinito  $\infty$  não representa um número e sim um processo de sempre aumentar um número ou grandeza por uma unidade indefinidamente. Uma vez que podemos diminuir  $\theta$  indefinidamente podemos aumentar  $n$  indefinidamente, sendo este processo representado por  $\infty$ .

Decidimos fazer tal análise para mostrar que é sempre possível utilizar algum formalismo matemático para explicarmos e entendermos fenômenos físicos. A Matemática é indissociável da Física e o seu uso deve sempre ser incentivado de alguma forma quando estivermos ministrando aulas de Física.

### 3.4 O EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA E O BRINQUEDO DE TIRO AO ALVO.

No decorrer do século XVIII vários pesquisadores se debruçaram sobre o problema de explicar a natureza da luz. Apesar das diferentes concepções existentes, a maioria dos estudiosos defendiam a teoria corpuscular da luz devido à óptica newtoniana. Com a descoberta de novos fenômenos como a dupla refração da luz, a teoria corpuscular começa a perder forças, pois esta não era suficiente para fornecer explicações para tais fenômenos. No início do século XIX há o surgimento de obras que fazem com que a teoria ondulatória da luz ganhe mais espaço, como a explicação qualitativa e quantitativa de fenômenos ópticos importantes como os anéis de Newton, a polarização e a difração da luz (OLIVEIRA, MARTINS e SILVA, 2019).

Os trabalhos sobre difração e interferência de Thomas Young e Augustin Fresnel forneceram a base principal para a aceitação de uma nova teoria ondulatória da luz por praticamente todos os estudiosos até as três primeiras décadas do século XIX.

Neste trabalho nós consideramos o experimento da dupla fenda de duas formas: realizados com partículas macroscópicas, como rolhas ou bolinhas de gude, e depois considerando um feixe de luz coerente como um laser. Estes dois efeitos são tratados em nossa HQ quando nossos personagens estiverem se divertindo no brinquedo de tiro ao alvo, no qual eles disparam rolhas com uma espingarda de pressão nos alvos compostos por macaquinhos.

A brincadeira na HQ começa com as personagens tentando dificultar o número de acertos no tiro ao alvo, colocando um obstáculo composto por duas fendas estreitas em frente à espingarda que dispara rolhas. As fendas são feitas em uma caixa de pizza. É interessante o professor iniciar a discussão considerando uma das fendas descoberta, digamos a fenda 1, e a outra fenda (2) coberta, para facilitar a explicação de que as rolhas se acumulam em uma região, logo após a fenda que está descoberta. Falamos região porque como as rolhas são disparadas por diferentes pessoas e podem se desviar ao colidir nas fronteiras da fenda, será muito difícil as rolhas se acumularem em um único ponto, por mais estreita que seja as fendas. Esse procedimento nos permite representar o resultado observado pelas nossas personagens através da introdução do conceito de probabilidade, em que teremos a função de distribuição das rolhas  $P_1(x)\Delta x$  que nos fornece a probabilidade de uma rolha que passa pela fenda 1 acertar um macaquinho localizado no intervalo entre  $x$  e  $x + \Delta x$ .

Ao supor que a fenda 1 é coberta e a fenda 2 é descoberta a mesma discussão pode ser conduzida, com as rolhas se acumulando em uma região logo após a fenda dois, permitindo introduzir de forma análoga a função  $P_2(x)$ . Dessa forma, as curvas  $P_1(x)$  e  $P_2(x)$  fornecem a densidade de probabilidade de uma rolha passar pelas fendas 1 e 2, respectivamente, e acertar um macaquinho localizado na posição  $x$ .

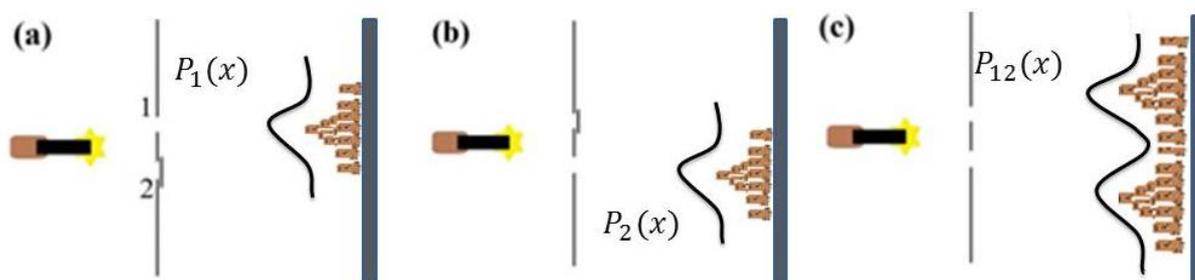
Considerando as duas fendas descobertas e com alguns dos atiradores atirando a esmo em direção à fenda dupla, as outras personagens observariam as rolhas atravessando algumas vezes a fenda 1 e outras vezes a fenda 2, variando entre as possibilidades de maneira aleatória. O resultado é a produção de duas pilhas de rolhas, logo atrás de cada fenda, de uma forma que a curva que descreve tal distribuição de rolhas, dada por  $P_{12}(x)$ , é simplesmente a soma dos resultados quando apenas uma das fendas estava descoberta, ou seja,

$$P_{12}(x) = P_1(x) + P_2(x), \quad (14)$$

Os resultados são ilustrados na figura 3.17.

Portanto, somente os macaquinhos que estiverem localizados na região dada por  $P_{12}(x)$  serão derrubados.

**Figura 3.17** – Experimento da dupla fenda realizado com uma espingarda que dispara rolhas maciças mostrando em (a) somente a fenda 1 descoberta, em (b) somente a fenda 2 descoberta e em (c) ambas as fendas descobertas. As curvas  $P_1(x)$ ,  $P_2(x)$  e  $P_{12}(x)$  mostram a forma como as rolhas estão distribuídas na região logo atrás das fendas para as configurações (a), (b) e (c), respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Se no lugar da espingarda de rolhas utilizarmos uma espingarda que dispara um feixe luminoso cuja fonte é um laser, a descrição do experimento será no contexto de ondas e não de partículas. Neste caso as ondas passam pelas fendas e atingem um anteparo onde é possível medir a intensidade das ondas como função da posição ao longo do anteparo. Para que o experimento possa ser contextualizado no parque de diversões, as personagens deverão

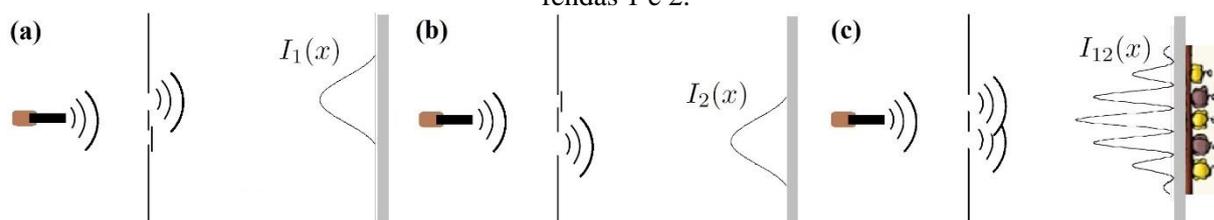
adaptar detectores de luz nos macaquinhos para que os mesmos forneçam alguma resposta quando forem atingidos por alguma intensidade luminosa. Como os fenômenos envolvidos são difração e interferência da luz, é interessante o professor discutir o porquê de escolhermos um laser, que é uma fonte de luz coerente, e que a distância entre as fendas tem que ser da ordem do comprimento de onda  $\lambda$  da luz utilizada.

A luz coerente é importante para que haja interferência dos feixes que saem das duas fendas. A diferença de caminho óptico percorrido pelos dois feixes será responsável pela interferência construtiva e destrutiva da luz. Portanto, precisamos de uma fonte luminosa monocromática, mesma frequência, e que tenha uma relação de fase constante entre si, ou seja, uma luz coerente como o laser. A exigência de que a distância entre as fendas tem que ser da ordem de  $\lambda$  é justificada pelo fenômeno de difração, uma vez que esse efeito faz com que as fendas possam ser tratadas como fontes pontuais de luz fazendo com que haja interferência entre os feixes espalhados pela fenda.

Se realizarmos o experimento mantendo uma das fendas cobertas e a outra fechada, a distribuição da intensidade da luz resultante será semelhante ao resultado obtido para o caso das rolhas, com o pico de intensidade máxima logo atrás da posição da fenda descoberta. Vamos chamar a intensidade proveniente da fenda 1 de  $I_1(x)$ , a qual é dada pelo quadrado da amplitude da onda incidente em  $x$  originada na fenda 1. Neste caso as fendas 1 e 2 são tratadas como fontes luminosas. Para a fenda 2 temos então  $I_2(x)$ . Os dois resultados estão ilustrados na figura 3.18 (a) e (b).

Com as duas fendas descobertas, temos a intensidade resultante dada por  $I_{12}(x)$ , a qual apresenta um comportamento bem diferente com relação ao experimento com rolhas. Esta oscila entre máximos e mínimos de intensidade, formando um padrão de interferência, como mostrado na figura 3.18(c).

**Figura 3.18** – Realizando o experimento da dupla fenda com um feixe luminoso, observam-se as curvas (a)  $I_1(x)$  e (b)  $I_2(x)$ , as quais fornecem as intensidades das ondas passando pelas fendas 1 e 2, respectivamente, quando somente uma das fendas está descoberta. Em (c) observamos o padrão usual de interferência da fenda dupla com a intensidade resultante  $I_{12}(x)$  apresentando um comportamento oscilatório devido ao fenômeno de interferência construtiva e destrutiva dos feixes provenientes das fendas 1 e 2.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Pela teoria de interferência de ondas é possível demonstrar que,

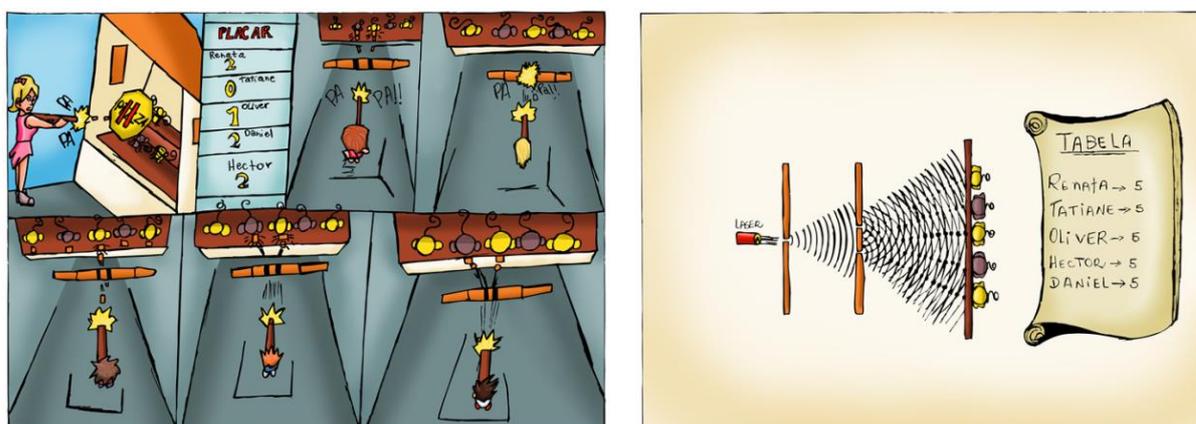
$$I_{12}(x) = I_1(x) + I_2(x) + 2\sqrt{I_1(x)I_2(x)} \cos(\delta), \quad (15)$$

em que  $\delta = \frac{2\pi d \sin(\theta)}{\lambda}$  é a diferença de fase entre as ondas provenientes das duas fendas chegando ao ponto  $x$  do anteparo a um ângulo  $\theta$  com a direção de propagação das ondas, dada por uma linha horizontal que passa entre as duas fendas na figura 3.18. Para observarmos o padrão de interferência, a diferença de caminho óptico dos dois feixes luminosos, dada por  $d \sin(\theta)$ , precisa ser um múltiplo inteiro do comprimento de onda  $n\lambda$  para interferência construtiva (faixas claras) e um múltiplo ímpar de meio comprimento de onda  $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$  para interferência destrutiva (faixas escuras), para  $n = 0, 1, 2, \dots$ , de modo que tenhamos  $\cos(\delta)$  igual a 1 e -1, respectivamente, na eq.(15).

É interessante salientar que o detector no anteparo não registra a chegada de acumulados ou “bolas” de energia das ondas. A intensidade de energia pode ter qualquer valor ao longo do anteparo.

Na nossa HQ as personagens discutem sobre as possibilidades de terem mais ou menos acertos utilizando os dois procedimentos descritos acima, com partículas e ondas. Pela ilustração apresentada na figura 3.19 fica evidente que o experimento com a espingarda laser aumentaria a probabilidade de mais macaquinhos serem acertados, uma vez que os fenômenos de difração e interferência permitem que regiões mais afastadas da linha de tiro da espingarda limitada pela dupla fenda, possam ter alguma intensidade luminosa.

**Figura 3.19** – À esquerda ilustramos o experimento de dupla fenda realizado com rochas para atingir o alvo. Nesta situação as personagens poderão derrubar apenas um macaquinho para cada tiro disparado e os macaquinhos derrubados serão apenas aqueles que estão na região logo atrás das duas fendas. À direita ilustramos o experimento realizado com uma espingarda que dispara um feixe laser. Devido ao padrão de interferência formado mais macaquinhos poderão ser atingidos em comparação com o primeiro experimento.



Fonte: Elaborada pelos autores.

# Capítulo 4

## METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

---

---

### 4.1 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL.

Durante uma das disciplinas cursadas no programa de mestrado, ao qual esse trabalho está vinculado, especificamente no curso de Termodinâmica, realizamos uma pré-aplicação de uma história em quadrinhos (HQ), a qual serviu de protótipo para a produção do tema Termodinâmica e dos outros tópicos desenvolvidos na nossa HQ.

Nesta atividade foi apresentado aos alunos o experimento do barquinho a vapor a uma sala da 2ª série do Ensino Médio juntamente com a explicação do conteúdo de Termodinâmica relacionado à prática. Em seguida, foi pedido para que os alunos produzissem histórias em quadrinhos sobre uma situação problema que envolvesse o experimento do barquinho a vapor. A turma foi dividida em grupos com até três integrantes. Como solução ao problema proposto, os alunos deveriam abordar os assuntos sobre a Primeira Lei da Termodinâmica e/ou Máquinas Térmicas, nas conversas de suas personagens apresentadas nos quadrinhos. Adicionalmente, os alunos deveriam entregar junto com suas histórias, o relato de como foi o aprendizado dos conteúdos através do uso das Histórias em Quadrinhos.

O resultado foi muito promissor, de modo que nos forneceu a motivação necessária para continuar com o projeto das HQs e sobre a importância da ludicidade no ensino de Física. Na figura 4.1 são apresentados os quadrinhos elaborados por um grupo de alunos.

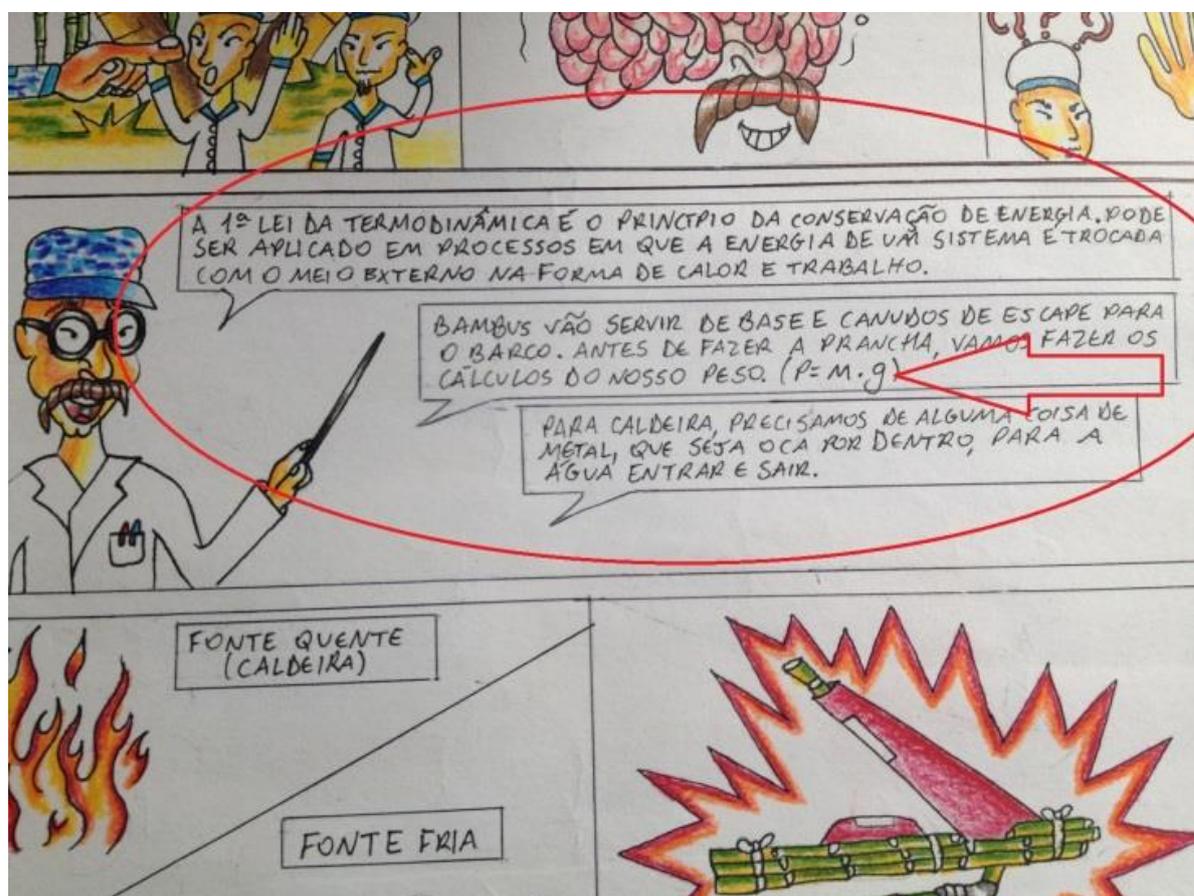
Figura 4.1 – Imagem da história em quadrinhos elaborada pelos alunos da 2ª série do Ensino Médio.



Fonte: LORENÇON (2016, p.5).

É interessante notar como os alunos abordaram o conteúdo da primeira lei da Termodinâmica na história deles e como o enredo forneceu sentido para os conteúdos físicos discutidos em anos anteriores, veja figura 4.2.

**Figura 4.2** – No quadrinho circulado é mostrada a abordagem da 1ª Lei da Termodinâmica e a utilização do conceito da força peso e sua equação (seta) em um momento oportuno da história elaborada pelos alunos, mostrando entendimento sobre o que está sendo discutido.



Fonte: LORENÇON (2016, p.5).

Este resultado preliminar foi muito importante para mostrar que mesmo com as aulas tradicionais de Física, com a exposição de conteúdos e fórmulas, é possível realizar atividades de ensino diferenciadas através da ludicidade. Foi possível trabalhar a Física em três frentes importantes, a teoria, com o formalismo matemático, a experimentação e a ludicidade, com a elaboração das histórias em quadrinhos realizadas pelos alunos.

Essas observações corroboram com as obtidas em trabalhos de Francisco Júnior (2015):

Sendo esta a série inicial do Ensino Médio, a introdução de HQs atuaria positivamente na relação do estudante com as ciências. Contudo, a aceitação da HQ é apenas o primeiro passo. Pesquisas cuja finalidade seja investigar o papel da leitura das HQs na aprendizagem e desenvolvimento crítico do discente ainda são escassas e seriam relevantes para suportar e direcionar a sua utilização mais consistente em sala de aula (FRANCISCO JÚNIOR, 2015, p. 92).

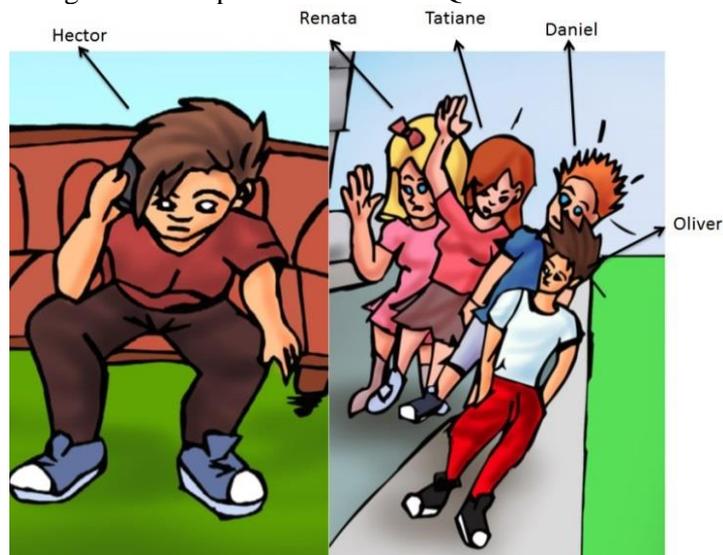
Apesar da motivação com a pré-aplicação da proposta inicial, tivemos que repensar a metodologia de aplicação das HQs para a elaboração do nosso produto final, pois tivemos

como resultado preliminar apenas a HQ apresentada na figura 4.1 em um total de oito grupos de alunos. Como nosso objetivo é atingir o máximo de alunos possível alguns pontos negativos foram observados neste primeiro momento como o tempo fornecido aos alunos para finalizarem suas histórias e os quadrinhos. Foram necessárias várias aulas e apenas um grupo entregou uma história bem feita. Vários alunos alegaram não ter habilidades para desenhar os quadrinhos e isso acabou desmotivando a maioria da turma. Para contornar esse baixo aproveitamento das aulas e a desmotivação dos alunos por falta de habilidades artísticas, nós decidimos criar um material que abordasse os temas da forma que achássemos melhor e com cores vivas e chamativas para ser utilizado como material complementar nas aulas de Física do Ensino Médio. Esta nova abordagem funcionou muito bem e tivemos bastante sucesso com a aplicação da proposta.

O primeiro passo para a elaboração do material foi definir onde a história iria acontecer e quais os temas poderiam ser considerados nos ambientes e cenários escolhidos.

O enredo da HQ elaborada se passa em um parque de diversões chamado “*Happy Day*”. O lugar é propício para o desenvolvimento da história porque um parque de diversões é um local onde vários jovens da idade dos nossos alunos se reúnem para se divertirem. Dessa forma é necessário conferir coerência no discurso executado nas falas das personagens para proporcionar nos alunos uma impressão de que os fatos, situados e explicados no contexto da Física, realmente são passíveis de acontecer. Os nomes das personagens que embarcaram nessa aventura foram escolhidos de maneira arbitrária: Hector, Oliver, Daniel, Tatiane e Renata, apresentados na figura 4.3.

**Figura 4.3** - Personagens criadas para a História em Quadrinhos desenvolvida neste trabalho.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a definição das personagens iniciamos a elaboração dos textos do enredo, os quais foram divididos em quatro capítulos destinados aos temas escolhidos. Nestes fizemos com que as personagens discutissem fisicamente como cada brinquedo apresentado funcionava ou que encontrassem desafios nos brinquedos para serem solucionados com o auxílio da Física. Para cada série em que a proposta foi aplicada escolhemos tópicos específicos que estivessem de acordo com o nível dos alunos e com o currículo da escola.

Para a 1ª série do Ensino Médio consideramos tópicos da mecânica clássica durante o passeio em uma montanha-russa. A escolha da montanha russa é adequada porque, além de ser um brinquedo bastante atrativo, é também tema de discussões de conceitos de mecânica em vários livros didáticos através de exercícios exemplos e de aplicações de conceitos. Durante a criação da história fomos imaginando como se estivéssemos em um grupo de pessoas vivenciando o dia no parque. Durante a espera nas filas dos brinquedos ficamos conversando sobre as expectativas que poderíamos alcançar antes mesmo de brincarmos. Outra colocação na história é em ficar reparando como tal brinquedo realiza seu movimento, desenvolvendo grandes velocidades nas descidas e baixas nas elevações de grande altura sem mesmo ter um motor de propulsão para realizar a tarefa.

Para a 2ª série nós tratamos alguns tópicos de Termodinâmica. Nesta parte da história as personagens tiveram que utilizar a Física para construir um barco a vapor durante um passeio de barco malsucedido. Estes passeios são atrações que os parques de diversões fornecem atualmente. Para esta série foram abordados também conceitos básicos de óptica geométrica no brinquedo chamado labirinto de espelhos. A motivação para a elaboração desta história veio da vivência do autor deste trabalho neste brinquedo. Foram realmente fascinantes as ilusões criadas pelos corredores de espelhos e conseqüentemente as inúmeras trombadas ocasionadas pelos falsos caminhos que surgiam devido às reflexões de outros espelhos fazendo com que as pessoas pensassem que era a saída do labirinto.

Para a 3ª série foi possível explorar o experimento da fenda dupla no brinquedo de tiro ao alvo, em que foi introduzido o conceito de probabilidade e a possibilidade dos eventos acontecerem a partir de tiros disparados com uma espingarda de pressão com rolhas, tratamento de partículas, e na sequência o uso de uma espingarda que dispara um feixe laser, tratamento ondulatório, mostrando o fenômeno de interferência.

Após a definição do enredo e dos tópicos de física que poderiam ser abordados, iniciamos a arte gráfica com a elaboração dos desenhos. Estes foram feitos manualmente em folha de sulfite com tamanho A4. À medida que as falas eram desenvolvidas, os cenários foram surgindo, assim como o papel de cada personagem nos contextos dos enredos. Quando

todos os quadrinhos da HQ foram desenhados, iniciamos o processo de contorno dos desenhos, etapa realizada com uma caneta especial (UNI PIN FINE LINE 0,5) de nanquim, para que os traços dos desenhos ficassem mais fortes, como mostrado na figura 4.4. O contorno mais forte é importante para conseguir melhor qualidade e contraste durante a digitalização dos desenhos para que os mesmos pudessem ser coloridos em um software específico para a edição de imagens.

**Figura 4.4** – Sequência de quadrinhos em processo de contorno das imagens com a caneta nanquim.



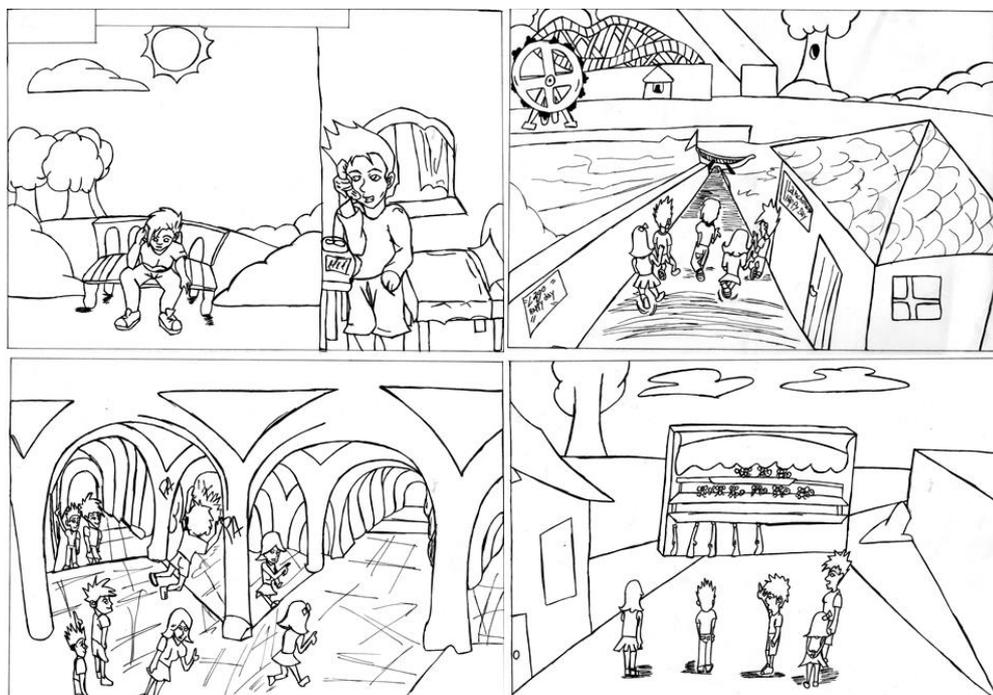
Fonte: Elaborada pelos autores.

Nossa HQ foi finalizada com um total de 24 quadrinhos. Estes foram digitalizados com um escâner comum e salvos no formato jpg. A figura 4.5 mostra algumas das imagens digitalizadas.

Após a digitalização das imagens nossa HQ começou a ganhar brilho. As imagens foram editadas no computador a partir de uma versão demonstrativa de um software de edição de imagens e design gráfico chamado Adobe Photoshop CS6 habilitado por 30 dias. Os contornos mais fortes puderam ser considerados como um tratamento prévio das imagens, pois foi essencial para dar fundo e uma coloração ideal para cada cenário. Com este software

foi possível fazer também a ilustração das tirinhas e a aplicação das falas das personagens. A figura 4.6 mostra um exemplo do processo de coloração e colocação dos balões em um dos quadros da HQ após todo o processo de edição citado anteriormente.

**Figura 4.5** - Alguns quadrinhos da HQ digitalizados antes do processo de ilustração.



Fonte: Elaborada pelos autores.

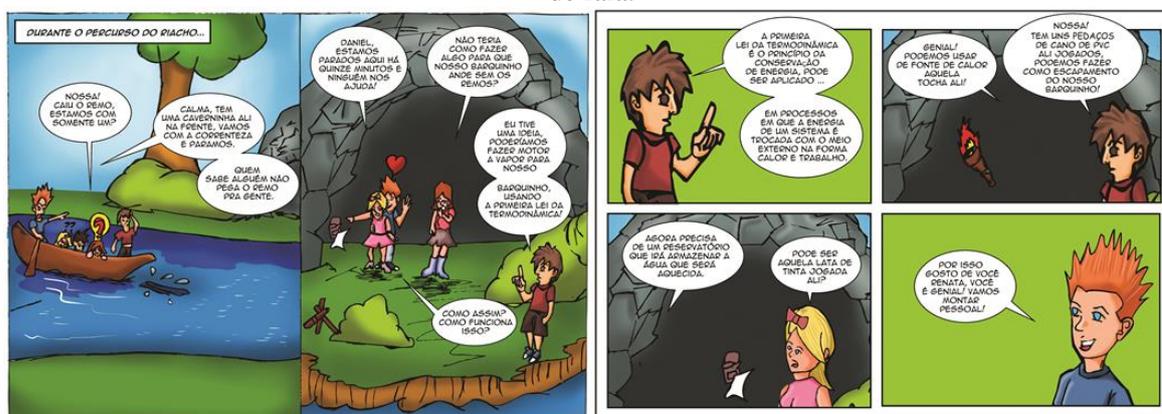
**Figura 4.6** - Imagem da tela do computador de um quadrinho sendo ilustrado e com as falas das personagens sendo inseridas com o software *Adobe Photoshop CS6*, versão demonstrativa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante o processo de edição dos quadrinhos foi necessário fazer algumas adaptações, pois em algumas das histórias elaboradas, tivemos o problema de muitas falas das personagens num único cenário. Isso foi resolvido redimensionando partes de algumas cenas dando um enfoque na personagem que está falando para fazer com que as falas coubessem nos quadrinhos. Esses recortes foram realizados com ferramentas do próprio software e com isso foram gerados novos quadrinhos aumentando o número de cenários do produto, como mostrado no exemplo da figura 4.7.

**Figura 4.7** - A imagem à direita é um recorte da imagem à esquerda, para dar continuidade nos balões de fala.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A nossa HQ finalizada é apresentada no apêndice A desta dissertação no formato de uma revista em quadrinhos com informações extras sobre a explicação dos fenômenos físicos e sugestões de tratamento em sala de aula para que o professor possa aplicar em suas aulas.

## 4.2 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.

Nossa proposta foi aplicada na cidade de Capivari, estado de São Paulo, em uma Escola Estadual. O público alvo foram alunos das três séries do Ensino Médio. Para a realização das nossas atividades selecionamos quatro, das quatorze salas de Ensino Médio que a escola possuía para o ano letivo de 2018, totalizando 160 alunos participantes. Em uma das aplicações do produto, tivemos a participação da coordenadora de ensino da escola, que relatou essa pesquisa em reuniões de replanejamento para conhecimento dos demais professores da escola.

### 4.2.1 Preparação das aulas.

Os temas de Física abordados nas HQs foram trabalhados com cada turma no decorrer do primeiro semestre do ano letivo de 2018 a partir de aulas expositivas com o auxílio de um projetor de imagens. Ao final do referido semestre foi realizada a aplicação das HQs com o intuito de reforçar e retomar o conteúdo visto de forma lúdica para complementar as aulas. Os dados obtidos que fornecem a impressão dos alunos com relação à nossa proposta são apresentados no capítulo 5 desta dissertação.

Seguindo os horários das aulas escolhidas, foi reservada uma sala com equipamento multimídia para que a HQ fosse apresentada no decorrer das aulas. A dinâmica de trabalho com os alunos foi em grupo, com a turma sendo dividida em cinco grupos, onde cada grupo iria representar uma das personagens da HQ. Foi dada autonomia aos grupos para que os alunos elegessem um colega para realizar a leitura da fala das personagens ou que se revezassem para tal tarefa. A escolha de apresentação em grupo e a projeção da HQ são justificadas pelo alto custo estimado para imprimir e distribuir as HQs individualmente para cada aluno.

Esse procedimento foi realizado com as quatro salas escolhidas para aplicação do produto e discussão dos temas de Física. Em cada sala foi discutido um único tema da HQ respeitando o conteúdo exigido no currículo escolar de acordo com o nível dos alunos.

O conteúdo abordado foi explicado em cada apresentação até o momento da leitura da HQ. Após a leitura fizemos a discussão de quadro a quadro da HQ com os alunos observando os conceitos físicos detalhados nas histórias e desenvolvendo aplicações com as equações demonstradas nos quadrinhos.

Na aplicação dos conceitos de mecânica clássica foi possível estudar o processo matemático de transformação de energia potencial em energia cinética. Através dos dados fornecidos nas imagens do produto, os alunos puderam calcular a velocidade com que as personagens puderam chegar ao final da primeira descida e trabalhar unidades de medidas, como a da velocidade, aplicando o procedimento de transformação de km/h para m/s e vice-versa.

Durante a aplicação dos quadrinhos, cujo tema foi a Termodinâmica, realizamos um estudo mais conceitual envolvendo conceitos como trabalho, calor, os fenômenos de dilatação e contração observados no barquinho, energia cinética do barquinho e uma estimativa do peso das personagens utilizando as massas dos integrantes de cada grupo de alunos formados para a realização da leitura.

Na abordagem da óptica dos espelhos planos os alunos ficaram imaginando se o fenômeno de espelho infinito seria realmente possível. Além do cálculo do número de imagens em uma associação de espelhos planos, nós realizamos a demonstração experimental do fenômeno com dois espelhos, o que permitiu a visualização do corredor infinito, citado na HQ.

Com os alunos da terceira série fizemos um estudo conceitual do fenômeno de interferência observado no experimento da fenda dupla e as consequências de se considerar o tratamento de partícula e de onda no mesmo.

O registro da aplicação do nosso produto educacional foi feito através da gravação do áudio das aulas e pelo método de diário de bordo, preservando o anonimato dos alunos.

#### 4.2.2 Levantamento de dados.

Para analisarmos a impressão dos alunos com relação à aplicação da nossa proposta, fizemos aquisições de dados durante a leitura da HQ para cada turma, utilizando um aparelho celular na função gravador de áudio com a autorização da escola e dos alunos. Este foi posicionado no centro da sala de aula para melhor captação de áudio. Também utilizamos o método de anotações de diário de campo. A análise dos dados obtidos foi realizada conforme uma abordagem qualitativa, segundo as recomendações de Bougdam & Biklen (2000).

Uma semana após a aplicação do produto, formulamos um questionário, apresentado no apêndice B desta dissertação, para obtermos informações sobre a maneira que as aulas foram ministradas com relação ao gênero de leitura utilizado, HQs, e como este tipo de abordagem pode contribuir para o processo de aprendizagem de Física. Os alunos deixaram seus comentários do que aprenderam e o quão proveitosa foi nossa proposta. O questionário foi aplicado para verificar a aceitação desta metodologia, segundo a proposta elaborada por Marconi e Lakatos (1996).

# Capítulo 5

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

---

### 5.1 INTERAÇÃO DOS ALUNOS E A CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA.

Um dos métodos escolhido para realizar o levantamento de dados durante a aplicação da proposta foi o diário de campo, cuja característica principal é anotar as falas dos alunos, observações ou qualquer ideia que possa ter surgido no decorrer do desenvolvimento do trabalho através das interpretações do próprio pesquisador.

O que se pôde observar foi muita empolgação durante a leitura dos quadrinhos e realização das atividades e bastante cooperatividade e interação entre os alunos de um mesmo grupo e entre os grupos formados. Em uma das quatro salas em que foi aplicada a nossa proposta, como os alunos foram divididos em cinco grupos, cada um representando uma personagem, tivemos a participação de um número maior de alunos do sexo masculino para realizar a representação e leitura das falas das personagens. Com isso foi necessário que um deles representasse uma das personagens femininas, fazendo com que toda a sala se descontraísse e ficasse animada a todo o momento que fosse realizar sua leitura, criando um ambiente prazeroso e descontraído.

A interação entre os alunos é fundamental para o seu desenvolvimento social. Podemos citar Vygotsky (1991) para compreender as relações entre os alunos para trabalharem as experiências de aprendizagem para o seu conhecimento. Conforme as colocações de Freitas (2005), temos:

[...] sem ele o homem não mergulha no mundo sógnico, não penetra na corrente da linguagem, não se desenvolve, não realiza aprendizagens, enfim não se constitui como sujeito. (FREITAS, 2005, p. 320).

Nesta mesma turma tivemos a presença de um aluno com baixa visão e deficiência intelectual que necessita de uma adaptação curricular no seu aprendizado de Física. Ele só consegue ler e escrever quando está muito próximo do conteúdo. As imagens das HQs projetadas durante as discussões dos tópicos de Física foram essenciais para a participação deste aluno. Como ele tem baixa visão, as cores e a sequência dos quadrinhos fizeram com que ele interagisse mais com os colegas. Sua inquietação na carteira deixou evidente que nossa proposta despertou a curiosidade dele em saber cada vez mais sobre o desenrolar da história. Para ele conseguir fazer a leitura das falas das personagens foi necessário colocar o computador que projetava as imagens na sua frente, para ele poder ler diretamente do computador.

A inclusão de alunos com algum tipo de deficiência nas escolas tem se tornado cada vez mais comum. Nas palavras de Figueiredo (2002):

[...] efetivar a inclusão é preciso [...] transformar a escola, começando por desconstruir práticas segregacionistas. [...] a inclusão significa um avanço educacional com importantes repercussões políticas e sociais visto que não se trata de adequar, mas de transformar a realidade das práticas educacionais (FIGUEIREDO, 2002, p. 68).

Neste contexto, nossa abordagem fez com que esse aluno fosse tratado da mesma forma que todos os outros. Isso é muito relevante porque no ensino tradicional todos os outros professores necessitam preparar um material diferenciado para ele a cada aula com relação ao tema exposto. O fato de não ser necessário preparar um material extra para este aluno mostra que nossa abordagem é bastante promissora para ser mais abrangente e agregadora no que concerne alunos com diferentes capacidades de aprendizagem.

Durante uma discussão com os alunos da 1ª série, percebemos uma motivação intrínseca com relação à nossa proposta, pois os alunos se envolveram nas atividades, considerando-as interessantes, desafiadoras e prazerosas. Quando foi discutido qual seria uma estimativa da velocidade que as personagens poderiam chegar ao final da primeira descida da montanha-russa, os mesmos já entenderam a ideia e logo observaram os dados como: altura do pico mais alto, distância percorrida na montanha-russa e tempo necessário para completar a volta e realizaram tal estimativa.

Também foi possível observar o engajamento dos grupos para que os conceitos compreendidos durante a leitura estivessem presentes no momento do cálculo da velocidade. Quando algum grupo não conseguia chegar à resposta esperada outros participantes davam dicas através dos conceitos para que aquele grupo chegasse ao desenvolvimento correto da

atividade. Segundo Francisco Júnior (2013), em relação a interação dos alunos com o material desenvolvido, temos:

[...] textos com caráter dialógico despertam em maior grau o interesse dos leitores, além de serem considerados de leitura mais fácil, a despeito da densidade de informações presentes (FRANCISCO JÚNIOR, 2013, p. 222).

Uma característica importante durante as observações foi despertar nos estudantes que os conceitos trabalhados na HQ estão presentes no cotidiano deles, podendo facilitar a compreensão de algumas situações que são corriqueiras. Quando trabalhamos os conceitos sobre Termodinâmica, a devolutiva de aplicação desses conceitos foi imediata tornando a conclusão da aula satisfatória para a compreensão das leis da termodinâmica desenvolvidas com os alunos da segunda série. Esse momento de contribuição e desenvolvimento de uma proximidade da relação aluno-professor, também foi notado na aplicação do produto durante a abordagem do experimento da dupla fenda com os alunos da terceira série.

Esta concepção está em consonância com as descrições de Caruso *et al.* (2005). A inclusão metodológica ajuda a divulgar a Física e a promover melhorias nas relações comportamentais dos alunos na sala de aula, através de uma contextualização dos assuntos abordados durante a leitura das HQs:

[...] torna-se urgente a criação e o desenvolvimento de material didático com a intenção de dinamizar as aulas, motivando os alunos a participarem ativamente na construção do conhecimento. (CARUSO *et al.*, 2005, p. 34).

Os alunos compreenderam, pela leitura da HQ, que os fenômenos de interferência e difração estudados durante as aulas tradicionais foram de suma importância para o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz. Isso mostra que o material pode ser muito eficiente quando utilizado de maneira adequada, complementando as aulas de Física.

Durante a abordagem do conteúdo de óptica, além da Matemática desenvolvida, os alunos se mostraram muito satisfeitos e entusiasmados ao visualizarem o resultado obtido nos cálculos, com relação ao número de imagens obtidas quando se associa espelhos planos, em comparação com o experimento realizado para observação do fenômeno de espelho infinito. Tais correlações geralmente não são perceptíveis quando se apresenta as equações e as aplica nas aulas tradicionais ou até mesmo em aulas experimentais, onde segue-se um roteiro pronto. Na situação citada os alunos perceberam sozinhos a comprovação dos fenômenos. O papel do professor foi de auxiliar os alunos apenas.

A importância de metodologias diversificadas para o Ensino Médio é prevista na resolução CEB nº 3 de 26 de junho de 1998, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio a fim de cumprir as finalidades deste nível de ensino, previstas na LDB, Artigo 5º inciso III:

[...] Adotar metodologias de ensino diversificadas, que estimulem a reconstrução do conhecimento e mobilizem o raciocínio, a experimentação, a solução de problemas e outras competências cognitivas superiores. (BRASIL, 1998).

Segundo Vergueiro (2004) o uso das HQs em sala de aula faz com que o professor trabalhe mais sua criatividade para complementar assuntos que podem parecer mais complexos para os alunos, como os conteúdos de Física, de maneira descontraída, voltados para a ética e exercício da cidadania. Dessa forma as HQs podem contribuir para incentivar a leitura motivando os alunos a buscar conhecimento cultural e científico.

## 5.2 FORMAÇÃO LEITORA DAS HQs NO ENSINO DE FÍSICA.

Na semana seguinte à aplicação das HQs os alunos receberam um questionário, apresentado no apêndice B desta dissertação, para verificar a impressão que os mesmos tiveram com o uso das HQs para o ensino de Física. Iniciamos com um levantamento do número de alunos que possuem o hábito de ler HQs ou algo parecido, a partir da seguinte pergunta: “Qual a sua relação com Histórias em Quadrinhos, você tem o hábito de ler este tipo de gênero?”. Na figura 5.1 apresentamos as respostas a essa pergunta.

Pelo histograma apresentado na figura 5.1 nota-se que a quantidade de alunos que não leem HQs é aproximadamente a mesma de alunos que leem. Dentre os alunos que responderam o questionário, aqueles que não leem HQs complementaram suas respostas dizendo algo do tipo:

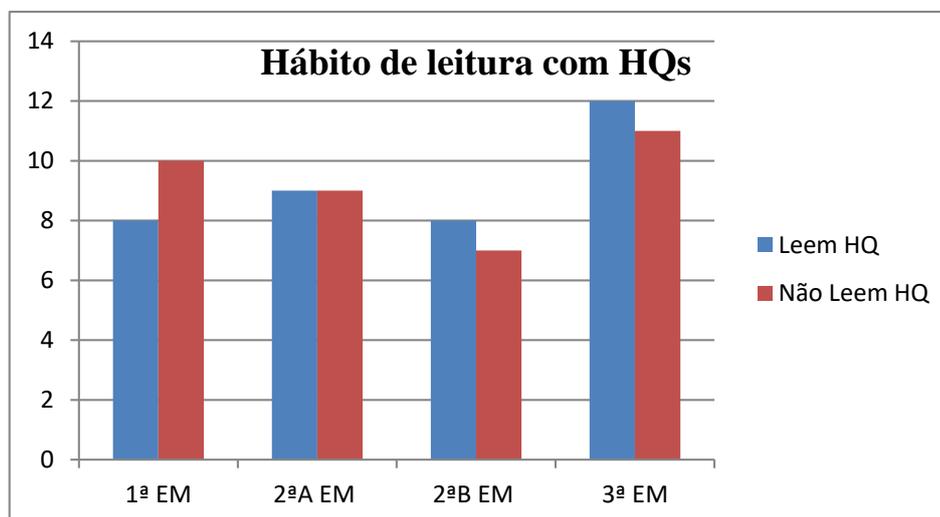
- *“Não tenho o costume de ler, mas acho o gênero bem interessante.”*

Já os alunos que exercem esse tipo de leitura complementaram suas respostas dizendo o seguinte:

- *“Sim, leio quase todos os dias.”*
- *“Sim, eu leio bastante e gosto muito.”*
- *“Sim, eu gosto de ler Histórias em Quadrinhos, pois as imagens facilitam a compreensão.”*

- “Sim, eu tenho o hábito de ler, minha relação é encontrar algo simples e divertido para passar o tempo.”

**Figura 5.1** – Histograma mostrando o número de alunos que possuem o hábito de ler ou não HQs para cada turma do Ensino Médio (EM) em que o nosso produto educacional foi aplicado.



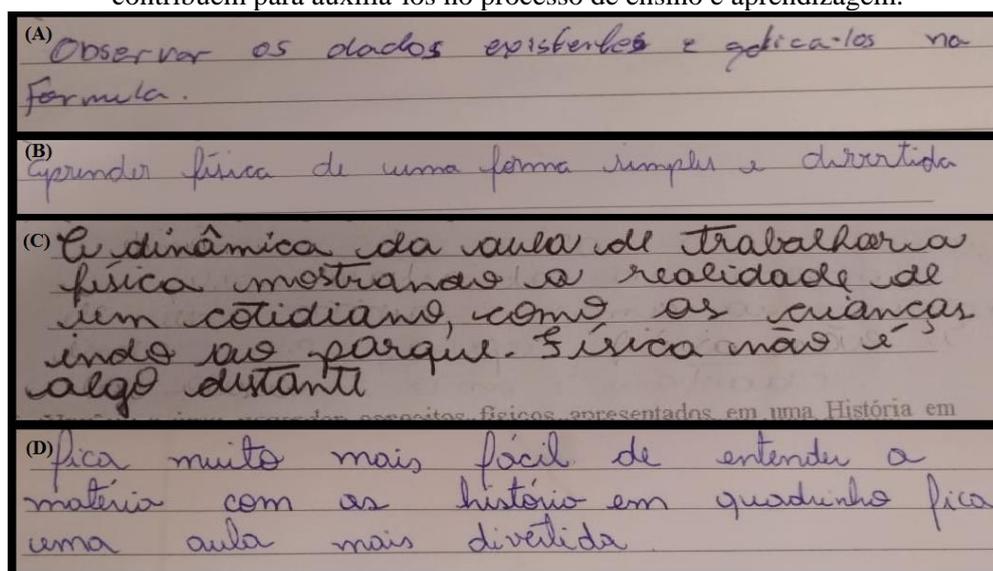
Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se pelas respostas anteriores que existe uma motivação para que os alunos leiam HQs. Isso sugere que se trabalharmos de forma correta a motivação nos alunos, podemos incentivá-los à leitura, começando por HQs a partir da nossa proposta, estendendo o interesse à leitura para livros didáticos mais elaborados para entender melhor fenômenos físicos com uma descrição mais quantitativa em que os modelos matemáticos se fazem necessários, por exemplo. O importante é que exista a motivação à leitura dentro da sala de aula. Muitos alunos podem não ter o hábito de ler Histórias em Quadrinhos simplesmente por desconhecerem o gênero. Acreditamos que, se os professores da escola onde foi aplicado o nosso produto educacional, trabalharem em conjunto, é possível desenvolver o hábito da leitura nos alunos que não o tem. Essa motivação pode ser dada através das HQs ou outro gênero. Relembrando Carvalho (2006):

Alunos que leem gibis têm melhor desempenho escolar do que aqueles que usam apenas o livro didático – entre os estudantes da rede pública, a HQ aumenta significativamente o desempenho do aluno: entre os que acompanham quadrinhos, o percentual das notas nas provas aplicadas foi de 17,1%, contra 9,9% dos que não leem. Mais ainda, esta pesquisa mostra que professores que leem revistas em quadrinhos obtêm melhor rendimento dos alunos, pois conhecem o universo dos estudantes e se aproximam deles usando exemplos deste universo como paradigma para as aulas. (CARVALHO, 2006, p. 38-39).

Com base nas palavras de Carvalho (2006) uma das questões levantadas no questionário é se os alunos acreditam que os quadrinhos podem auxiliar na aprendizagem. Dos noventa e três alunos que responderam a essa questão, todos acreditam que o uso das HQs pode auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Este resultado é um indicativo de que os quadrinhos facilitaram a compreensão dos alunos para os conceitos físicos abordados em sala de aula. Além da motivação em discutir os fenômenos de forma simples e divertida, conseguimos descrever os mesmos através de equações. O cenário realista da HQ, com jovens utilizando a Física para entender fenômenos, otimizar processos e resolver problemas em um parque de diversões, forneceu uma atmosfera muito agradável para que participassem de maneira efetiva das aulas com grande interação e cooperatividade entre os grupos formados. Algumas das respostas dos alunos estão apresentadas na figura 5.2.

**Figura 5.2** – Respostas obtidas pela maioria dos alunos entrevistados, quando perguntados se as HQs contribuem para auxiliá-los no processo de ensino e aprendizagem.



Fonte: Alunos do Ensino Médio.

A maneira como apresentamos as HQs aos alunos e os resultados obtidos nos trouxeram muita motivação para continuarmos trabalhando com o intuito de melhorar a educação. Um dos nossos objetivos foi mostrar como o aluno pode ser versátil e aprender de maneira diversificada para lidar com situações que podem aparecer em seu dia a dia. A partir de conceitos bem fundamentados podemos fornecer a base para os alunos enfrentarem tais situações sem muita dificuldade. A leitura é a ferramenta da educação, com ela podemos adquirir conhecimento para compreendermos tudo o que está a nossa volta, pois é possível obtermos informação, diversão, profissionalização, crescimento intelectual e comunicação.

Estes são exemplos de ações que podem fazer do ser humano uma pessoa com capacidade de se expressar melhor e ter novas ideias.

Outra questão analisada do questionário diz respeito ao impacto que a aula com as HQs causaram nos alunos: “O que chamou sua atenção durante a leitura dinâmica dos quadrinhos que os alunos realizaram?”. Abaixo seguem algumas das respostas apresentadas:

- *“A interação e a criatividade nos quadrinhos, tudo estava detalhado desde as conversas quanto às ações.”*
- *“O modo em que os alunos estavam lendo, cada um de uma forma.”*
- *“A grande interação dos demais alunos, além de mim, todos prestaram atenção e se colocaram no lugar dos personagens da história.”*
- *“A forma dinâmica em misturar a matéria estudada com coisas do cotidiano.”*

Percebe-se nas respostas o surgimento de palavras chaves como: interação, criatividade, diversão, dinâmica e o que julgamos ser muito importante que é se colocar no lugar das personagens. Acreditamos que ao se colocar no lugar das personagens o aluno se identifica com as mesmas na maneira de agir e pensar diante do raciocínio físico apresentado nas histórias e como sair de uma situação de improviso onde o conhecimento é necessário. Em Física isso é comumente chamado de situações-problema.

Acreditamos que o incentivo à leitura através de uma atividade diversificada como o uso das HQs pode contribuir para uma formação sólida dos alunos, transformando-os em cidadãos críticos, formadores de opiniões e participantes na busca de conhecimento. Segundo os autores Felício e Soares (2018), se o educador trabalhar de forma motivadora, é possível explorar o aumento do incentivo dos alunos com atividades didáticas lúdicas, promovendo assim um enriquecimento na sua atuação didática. Isso pode conduzir a uma valorização na aprendizagem dos alunos, amparados pelos próprios conhecimentos prévios.

### 5.3 O USO DAS HQS COMO MOTIVADOR PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA.

Sabemos que o Ensino de Física possui grandes obstáculos a serem superados e um dos grandes desafios para os docentes desta disciplina está em conseguir motivar os alunos a estudarem os conteúdos teóricos de Física. O entendimento de conceitos e leis atrelados com

os conhecimentos matemáticos torna o ensino desta disciplina mais maçante e extremamente repetitivo para os adolescentes, diminuindo a importância do raciocínio e prejudicando sua formação acadêmica.

Já discutimos que a formação leitora do indivíduo é de suma importância para a compreensão de tais conceitos e que o ambiente favorável à leitura dinâmica de HQs pode proporcionar trocas de informação e interação social, contribuindo para a formação do cidadão. Nos PCNs é exigido que os alunos sejam capazes de criar um posicionamento crítico em diversas situações sociais para conseguirem tomar decisões no âmbito coletivo através de diálogo e explanação de suas ideias. Essas habilidades podem ser estimuladas ou até mesmo aprimoradas, se já existirem, através de atividades diferenciadas que envolvam discussões de conceitos científicos de uma forma mais investigativa, para resolver problemas, em detrimento às técnicas de memorização de conteúdos.

Uma estratégia de ensino e de aprendizagem, relacionada com o cotidiano e pautada nas discussões do conteúdo em grupo, ilustra as considerações propostas por Leal (2010). Esta afirma que a atividade em grupo é um bom facilitador para o aprimoramento dos conhecimentos dos alunos e o aprofundamento das relações teóricas e práticas, transformando-se em uma ferramenta importante para trabalhar as outras habilidades dos alunos, tais como: argumentação, construção de linha de raciocínio, interação pessoal etc. Estes processos de aprendizagem são extremamente importantes para a formação de um indivíduo.

O grande desinteresse dos alunos pela área de Física e os vários relatos discutidos pela literatura, nos faz pensar que, a maioria dos métodos utilizados para ensinar Física é baseada na aplicação de fórmulas e repetição de inúmeros exercícios relacionados aos fenômenos físicos estudados.

Um produto educacional diversificado fornece ao leitor outra perspectiva para o processo de ensino e de aprendizagem. Um dos objetivos da nossa proposta foi evitar o formulismo, em que os alunos decoram equações para a resolução de exercícios. Nosso material foi elaborado para que o professor pudesse apresentar conceitos de Física para o Ensino Médio de maneira divertida e que chamasse a atenção dos alunos para os temas tratados através de imagens coloridas e atraentes, com questões que eles podem vivenciar no seu dia a dia. A partir de uma situação-problema acreditamos que é mais fácil desenvolver determinados assuntos de Física, partindo da ideia da construção do conhecimento da vivência cotidiana do aluno.

Neste contexto podemos citar os dizeres de Paulo Freire (1997) sobre as relações entre memorização – problemática – processos científicos:

[...] de uma educação para a decisão, para a responsabilidade social e política. Uma educação que possibilitasse ao homem a discussão corajosa de sua problemática, educação que o colocasse em diálogo constante com o outro e que o identificasse com métodos e processos científicos. (FREIRE, 1997)

Este processo de aprendizagem não está pautado sobre o uso exagerado na exploração da memorização, somente com o emprego de cálculos matemáticos, mas sim na valorização de uma educação que desenvolva as capacidades reflexivas dos alunos, e promova uma atividade investigativa com vertentes empreendedoras.

Momentos após a leitura dinâmica da HQ uma aluna relata, durante os áudios gravados, sobre o tema de termodinâmica dizendo:

- *“A termodinâmica estuda as transformações entre calor e trabalho em um sistema gasoso. A teoria apresentada em forma de quadrinhos foi interessante, onde nós éramos os personagens, mostrando também a termodinâmica no nosso dia a dia, e não como algo irrelevante, digo como muitas vezes nos é apresentado, está ali e usamos, mas não com exemplos que gostamos no nosso cotidiano, como por exemplo, ir ao parque. E quando os exercícios nos foram dados acabou sendo de fácil interpretação, os desenhos e as situações foram de ótima colocação nos quadrinhos”.*

Outro relato interessante que mostra entendimento de um dos grupos de alunos da 3ª série do Ensino Médio sobre o experimento da dupla fenda foi:

- *“No experimento de Young a luz passa através de duas fendas produzindo padrões de interferência que mostram as regiões onde as ondas luminosas interferem entre si de maneira construtiva ou destrutiva”.*

Um dos relatos que nos chamou a atenção foi de um aluno da 1ª série do Ensino Médio ao descrever com clareza o processo de conversão de energia que ocorre em uma montanha-russa:

- *Acredito que no exemplo da montanha-russa que é um dos melhores exemplos para explicar a conservação de energia mecânica. Primeiro que é um exemplo de fácil visualização e que todos nós entendemos que o ponto mais alto do brinquedo tem que ser a primeira subida. Outra coisa que conseguimos perceber depois da aula dos quadrinhos, é trazer essa situação para nossa vivência que já tivemos com o brinquedo e perceber que ocorre a mudança entre energia potencial em cinética.*

Durante as anotações do diário de campo, uma aluna comenta com outra que vivenciou o efeito de espelho infinito:

- *“Uma vez estava no shopping e fui dar uma olhada no espelho quando eu vi eu estava no meio do corredor infinito que a historinha mostrou porque tinha um outro espelho atrás de mim”.*

Através destas falas fica evidente que as HQs podem ajudar a motivar os alunos a discutirem e aprenderem tópicos de Física, que antes eram vistos como algo difícil de ser assimilado.

Mostramos neste trabalho que mesmo com as aulas tradicionais de Física, com a exposição de conteúdos e fórmulas, é possível realizar atividades de ensino diferenciadas através da ludicidade. Nestes casos a atividade experimental pode colaborar para a realização, por analogias, da elaboração das histórias em quadrinhos realizadas pelos alunos.

#### 5.4 REPERCUSSÃO DA HQ NA ESCOLA.

Na Escola Estadual em que o nosso produto educacional foi aplicado existe um grande incentivo com relação a novas práticas pedagógicas. Destacado incentivo é dado pela coordenadora nas reuniões semanais das Aulas de Trabalho Pedagógico Coletivo (ATPCs).

Quando foi anunciado à direção e à coordenação da escola que na disciplina de Física seriam apresentados conceitos da disciplina com o uso de HQs, a coordenadora pediu para que lhe avisasse o momento de início das atividades para que ela participasse da aula para registrar a metodologia de ensino apresentada na escola. Especificamente para esta escola nossa proposta foi inovadora e inédita.

Após a finalização da aplicação do produto, a coordenação/direção da escola nos pediu para apresentar aos demais professores, nas reuniões de replanejamento de atividades pedagógicas, como nossa proposta foi aplicada aos alunos.

Nas turmas em que nossa proposta foi aplicada foi possível observar nas semanas seguintes um “brilho nos olhos” dos alunos durante as aulas. Eles chegaram a perguntar quando eles teriam outra aula naquele formato. Nossa proposta forneceu uma nova dinâmica de relacionamentos entre os alunos e entre o professor e os alunos.

Além disso, ao retornar aos assuntos do conteúdo programático, em vários momentos, os alunos lembravam-se das imagens das HQs que abordavam aquele conteúdo da aula apresentada pelo professor, mostrando que a atividade foi relevante para a aquisição de conhecimento.

# Capítulo 6

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Durante o processo de desenvolvimento do presente trabalho a escolha do uso das Histórias em Quadrinhos surgiu como uma alternativa na busca de novas metodologias para um ensino de Física mais motivador e que incentivasse os alunos à leitura.

Em nossa pesquisa foi possível notar que existem muitos trabalhos no Ensino de Física relacionados à utilização de HQs. Porém, as HQs são produzidas na grande maioria pelos alunos, com tirinhas que envolvem algum tema relacionado à Física ou Histórias em Quadrinhos já existentes, onde o professor desenvolve um trabalho de aprofundamento de conhecimentos físicos. Em nossa proposta as HQs devem ser produzidas pelo próprio professor. Nós desenvolvemos um produto educacional que pudesse ser um material norteador para que qualquer professor do Ensino Médio possa elaborar suas próprias histórias em quadrinhos com tópicos da disciplina ministrada para o Ensino Médio.

Apesar da qualidade do nosso material é importante ressaltar que passamos por várias dificuldades sendo necessário conduzir estudos e adquirir experiência para manipular as imagens com o software Photoshop para obter o resultado final de coloração desejado, além de fazer as adaptações necessárias para que as imagens não ficassem carregadas de balões com as falas.

Com a aplicação do nosso produto foi possível mostrar que a sala de aula pode se tornar um ambiente diferenciado, motivador e divertido para os alunos durante as aulas de Física. Esse ambiente se mostrou favorável para a compreensão de conceitos físicos, para o tratamento matemático dos fenômenos estudados, para intensificar a participação dos alunos

nas atividades propostas, mesmo em momentos pós-aplicação da HQ. Outro fator relevante que a utilização das HQs proporcionou, foi a melhoria da relação professor-aluno na sala de aula. Muitos alunos que não interagiam com outros colegas e com o professor passaram a mudar sua postura comunicativa de tal forma a se mostrarem empolgados a continuarem as aulas de Física com o uso dessa metodologia.

Durante a aplicação da proposta, no momento da leitura das histórias, foi necessário orientar os alunos sobre como é feita uma leitura, pois muitos não conheciam que a leitura é realizada de cima para baixo nos gibis respeitando a altura de cada balão. Isso foi melhorando após a aplicação da primeira aula.

Todo o processo de aplicação da nossa proposta foi essencial para mudar a postura do próprio professor, autor desse trabalho, para mudar sua metodologia de ensino e avaliar os alunos de uma maneira diferenciada, permitindo conhecer melhor suas dificuldades e dúvidas. Consideramos isto como algo essencial para desenvolvermos adaptações curriculares para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem, quando necessário.

Pelas nossas observações e experiência adquiridas durante o desenvolvimento e aplicação do nosso produto educacional, podemos concluir que a utilização de HQs em sala de aula pode contribuir de maneira bastante significativa para o processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos de Física para alunos do Ensino Médio.

# REFERÊNCIAS

---

---

- ANDRAUS, G. A história em quadrinhos como literatura imagética: para um reconhecimento da importância cultural das histórias em quadrinhos e código de linguagem imagético-literário. 2007. Tese (Doutorado em Interfaces Sociais da Comunicação) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- AQUINO, F.F.; FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI-FILHO, E. & BENEDETTI, L.P.S. Elaboração, aplicação e avaliação de uma HQ sobre conteúdo de história dos modelos atômicos para o ensino de química. Revista Orbital, v.7, n.1, p. 53-58, 2015.
- BRASIL. Resolução CEB nº 3, de 26 de junho de 1998: Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Portal do Ministério público. 1998.
- BONADIMAN, HÉLIO; NONENMACHER; SANDRA E. B. O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.24, n.2, p.194-223, ago. 2007.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n.3, p. 291-313, dezembro de 2002.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Investigação qualitativa em educação. Porto: Porto Editora, 2000.
- CALICCHIO, S. R. & BATISTA, F. A contribuição do lúdico nos processos de ensino e de aprendizagem. Revista Eletrônica Científica, Inovação e Tecnologia, v. 8, n 17, p. 6, 2017.
- CARVALHO, D. A educação está no gibi. São Paulo: Papyrus, 2006.
- CHICORÁ, T., & CAMARGO, S. As histórias em quadrinhos no Ensino de Física. “Disponível em”: <http://abrapecnet.org.br/enpec/xipenc/anais/resumos/R0592-1.pdf>. Acesso em 30 mar. 2018.
- EUZÉBIO, G. J., ADINEIA PACHECO, T. & MEDEIROS SCARABELOT, D.(s.d.) Fazendo uma aula diferente: Histórias em quadrinhos como ferramenta no ensino de astronomia. 2018.
- FELÍCIO, Cinthia M. e SOARES, Márlon H. F. B. Da Intencionalidade à Responsabilidade Lúdica: Novos Termos para uma Reflexão Sobre o Uso de Jogos no Ensino de Química. Química Nova na Escola, v. 40, n.3, 2018.
- FIGUEIREDO, R. V. Políticas de inclusão: escola-gestão da aprendizagem na diversidade In ROSA de E. G. e SOUZA V. C. (org.) Políticas organizativas e curriculares, educação inclusiva e formação de professores. Rio de Janeiro: DP&A Editora, 2002.
- FRANCISCO Jr, W. E. & UCHÔA, A. M. Desenvolvimento e avaliação de uma história em quadrinhos: uma análise do modo de leitura dos estudantes. Educación Química, v.26,n.2, p.87-93, 2015.
- FREIRE, P. Pedagogia da Autonomia. São Paulo: Paz e Terra,1997.

FREITAS, M. T. A. Nos textos de Bakhtin e Vygotsky: um encontro possível. In: BRAIT, B. (org.). Bakhtin, dialogismo e construção do sentido. 2.ed. Campinas: Unicamp, 2005.

FREITAS MENEZES, Maria Tereza (et al). O desafio de ser professor de Matemática hoje no Brasil. 2003. In: FIORENTINI, Dario; NACARATO, Adair Mendes (Org.). Cultura, formação e desenvolvimento profissional de professores que ensinam matemática: investigando e teorizando a partir da prática. São Paulo: Musa Editora, 2005.

GALLAS, R. MÁRCIA. Coerência. “Disponível em:”  
<http://www.if.ufrgs.br/~marcia/coerencia.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

GOMES, C. T; GIORGI, G. A. C., RABONI, C. DE A. P. Física e Pintura: Dimensões de uma relação e suas potencialidades no ensino de Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.33, n. 4, 2011.

GORNICK, LARRY. The Cartoon Guide to Physics. Reprint. Amazon, 1991.

IFSP.(21 de março de 2018). Instituto Federal de São Paulo. Acesso em 30 de março de 2018, disponível em Campus do IFSP recebem livros pedagógicos em formato de mangá: <https://www.ifsp.edu.br/noticias/481-campos-do-ifsp-recebem-livros-pedagogicos-em-formato-de-manga>

LACERDA, C. C.; SEPEL, L. M. N. & FALKEMBACH, G. M. Toondoo: o uso de histórias em quadrinhos como objeto de aprendizagem na formação continuada de professores. Imagens na Educação, v.7, n.3, p.63-73, 2017.

LEAL, M. C. Didática da química: fundamentos e práticas para o ensino médio.1ª edição. Belo Horizonte, Dimensão, 2010.

LOPES, E. M. e LABURÚ, C. E. Diâmetro de um Fio de Cabelo por Difração (Um Experimento Simples). Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.21, n. especial, p.258-264, 2004.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados, 3ª ed., Atlas: São Paulo, 1996.

MARÇAL, A. R. A dificuldade do processo de aprendizagem da leitura e da escrita. “Disponível em:”  
<http://www.avm.edu.br/monopdf/6/ROSANGELA%20ARAUJO%20MARCAL.pdf>. Acesso em: 15 jan.2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO. Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. Brasília/DF.: MEC – Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC), 1999.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO. Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio PCN+. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros

Curriculares Nacionais – Ciências Humanas e suas Tecnologias. Brasília/DF: MEC – Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC), 2002.

MOREIRA, M. A. & MASINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa. Brasília: Editora UNB, 1999.

OLIVEIRA, J. G. Física em Tirinhas: Uma Proposta para a Sala de Aula. 2005. 79 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, L. D. A Super-Física dos Super-heróis: Projeto, Física e Super-poderes, 2005.

OLIVEIRA, de R. Divulgação Científica em HQs. São José dos Campos, 2005.

OLIVEIRA, R. A., MARTINS, A. F. P. e SILVA, A. P. B. Thomas Young e a teoria ondulatória da luz no início do século XIX: aspectos conceituais e epistemológicos. Revista Brasileira de Física, v. 41, n. 2, e20180141, 2019.

PAIXÃO, S., PELICER, E. e SANTOS, S. Plataforma do Letramento. Bate-papo: HQ na Educação. “Disponível em”: <https://www.youtube.com/watch?v=feJ-sGK8wb4&t=70s>. Acesso em: 14 fev. 2019.

PLATAFORMA DO LETRAMENTO. RIBEIRO, P. R. AS Histórias em Quadrinhos como Elementos de Interação Social: Contribuição à Educação Inclusiva. “Disponível em:” [http://www.uefs.br/vcbei/AS\\_HISTORIAS\\_EM\\_QUADRINHOS\\_COMO\\_ELEMENTOS\\_D\\_E\\_INTERACAO\\_SOCIAL\\_CONTRIBUICOES\\_A\\_EDUCACAO\\_INCLUSIVA.pdf](http://www.uefs.br/vcbei/AS_HISTORIAS_EM_QUADRINHOS_COMO_ELEMENTOS_D_E_INTERACAO_SOCIAL_CONTRIBUICOES_A_EDUCACAO_INCLUSIVA.pdf). Acesso em: 10 jan. 2019.

RAMA, A.; VERGUEIRO, W.; BARBOSA, A.; RAMOS, T. & VILELA, T. Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula. Editora contexto : São Paulo, 2004.

SANTOS, T. C. & PEREIRA, E. G. C. Histórias em quadrinhos como recurso pedagógico. Revista Práxis, v.5, n.9, p.51-56, 2013.

TESTONI, L. A., & ABIB, M. L. (s.d.) Histórias em Quadrinhos e o Ensino de Física: Uma Proposta Sobre o Ensino de Inércia. “Disponível em:” <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0229-1.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2018.

VERGUEIRO, WALDOMIRO. As Histórias em Quadrinhos e seus gêneros parte 1 (2001a). “Disponível em:” <http://omelete.uol.com.br/quadrinhos/as-historias-emquadrinhos-e-seus-generos-parte-1/>. Acesso em: 13 ago. 2018.

VERGUEIRO, WALDOMIRO. A linguagem dos quadrinhos: uma “alfabetização necessária”. In: RAMA, ANGELA; VERGUEIRO, Waldomiro (org). Como usar os quadrinhos na sala de aula? São Paulo: Editora Contexto, 2004.

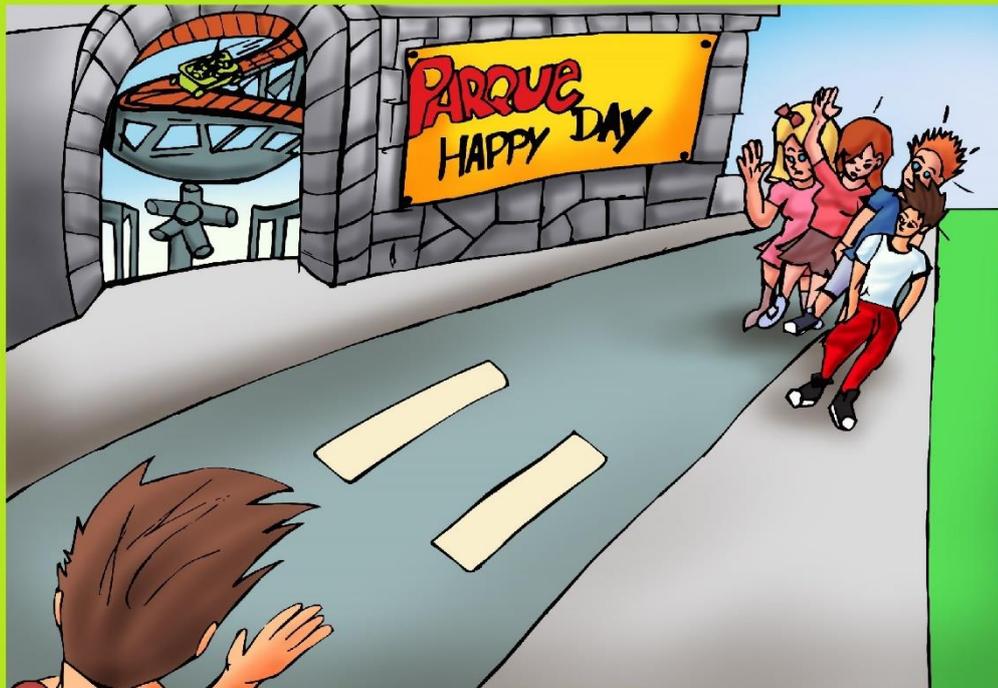
- VERGUEIRO, WALDOMIRO. Uso das HQs no Ensino. São Paulo: Editora Contexto, 2004.
- VERGUEIRO, W. & RAMOS, P. Quadrinhos na educação. São Paulo : Editora Contexto, 2009.
- VIGOTSKI, L. S. A construção do pensamento e da linguagem. São Paulo: Martins Fontes, 1991.
- VYGOTSKY, L. S. Pensamento e Linguagem. São Paulo, Martins Fontes, 1991.
- VYGOTSKY, Lev S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, 1984.
- SANTOS, C.; SILVA, T. Telecurso 2000: Ensino Médio Biologia. V. 2. 1ª ed. RJ: Globo 2003, p.210.
- ZANETIC, J. Física e Arte: Uma ponte entre duas culturas. Instituto de Física – Universidade São Paulo. 2006.

# Apêndice A

## PRODUTO EDUCACIONAL

---

### **"FISICANDO" NO PARQUE DE DIVERSÕES**



**BRUNO D. LORENÇON  
EDEMAR B. FILHO  
JAMES A. SOUZA**

UFSCar - Sorocaba  
Abril de 2019

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo UFSCar Sorocaba

**SBF**  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

## Prefácio

O produto educacional a seguir contém uma história em quadrinhos (HQ) elaborada para complementar a prática docente do professor de Física do Ensino Médio. São abordados alguns tópicos de Física em temas como Mecânica Newtoniana, Termodinâmica, Óptica e o Experimento de Dupla Fenda de Young.

O enredo dessa HQ se passa em um parque de diversões em que as personagens se divertem e exploram seus conhecimentos físicos relacionados aos temas descritos acima. Dentre estes foi explorado a Física da montanha-russa com descrições e conceitos da mecânica clássica, a primeira e segunda leis da termodinâmica durante a construção de um barco a vapor, o estudo dos espelhos planos no labirinto de espelhos e o experimento de dupla fenda de Thomas Young no brinquedo de tiro ao alvo. Este último pode ser uma alternativa interessante para introduzir tópicos de Física Moderna. Antes da descrição dos tópicos de Física é sugerida uma sequência didática para usar o material. O professor está livre para adaptar o conteúdo ou usá-lo da maneira que achar mais conveniente para a sua realidade em sala de aula.

Os temas descritos seguem os conteúdos destinados a cada série do Ensino Médio conforme o currículo de Física da escola em que o produto foi aplicado. Adicionalmente aos quadrinhos, é fornecida uma discussão sobre os conceitos abordados para que os tópicos de Física sejam melhor contextualizados com os quadrinhos. É importante ressaltar que o desenvolvimento matemático apresentado neste material é para fornecer melhor entendimento para os professores e não para os alunos. A transposição didática das equações e a própria abordagem dos temas, se será mais quantitativa ou qualitativa, fica a cargo do professor que escolherá a melhor maneira de trabalhar o conteúdo com os seus alunos.

Esperamos que esse material seja útil para complementar as aulas de Física dos professores do Ensino Médio e que o mesmo contribua como uma boa alternativa metodológica para a melhoria do ensino de Física.

Para dúvidas ou informações adicionais, envie um e-mail para  
bru\_lorençon@yahoo.com.br.

Os autores.

Este material foi produzido no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da  
Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba (PROFIS-So)  
Sorocaba, abril de 2019.

# Sumário

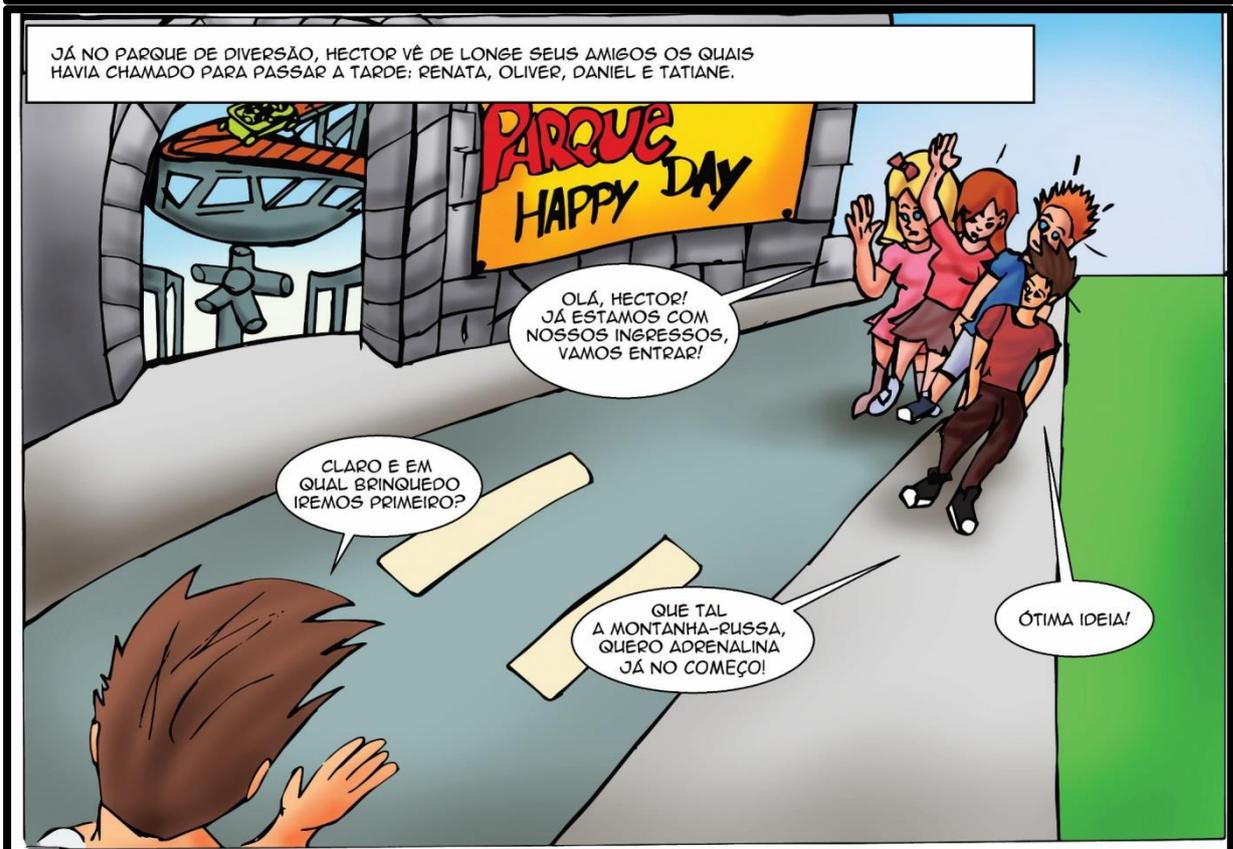
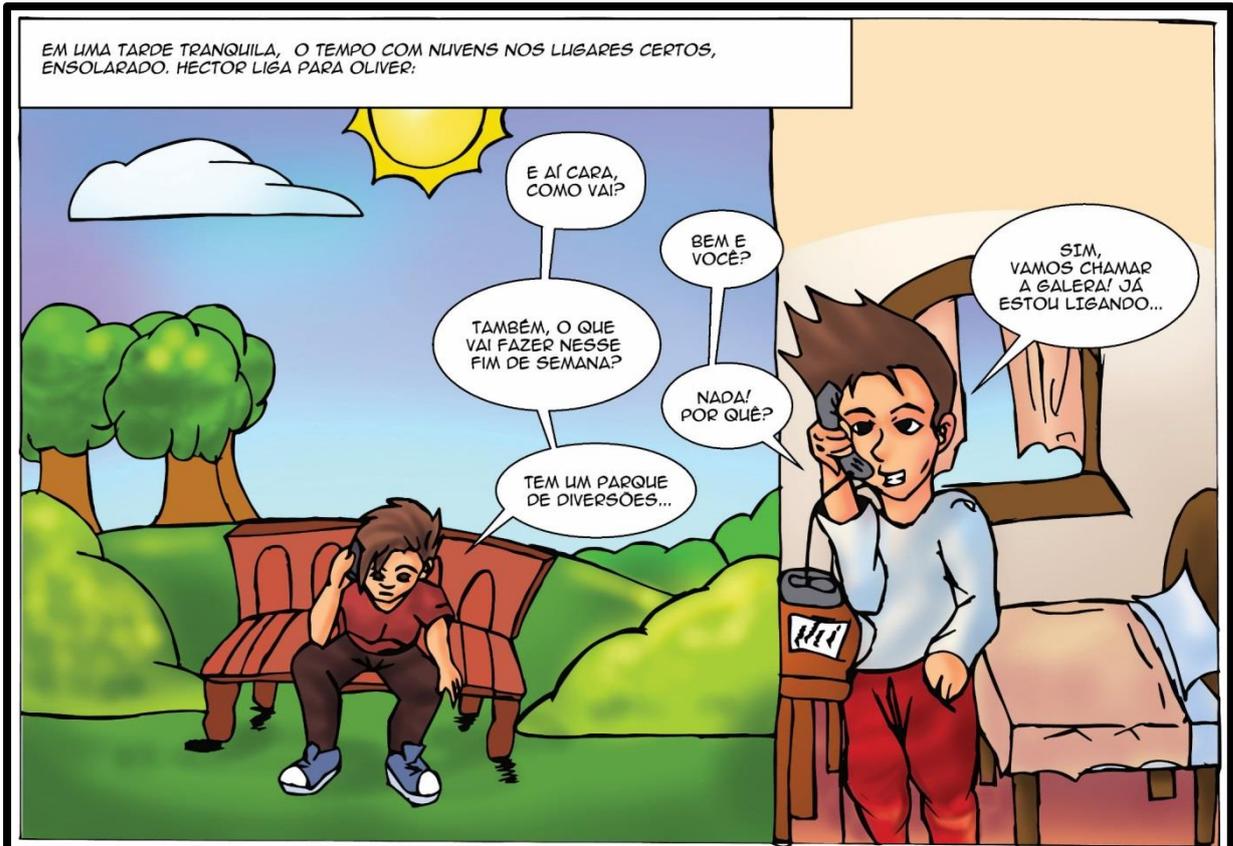
## SUGESTÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

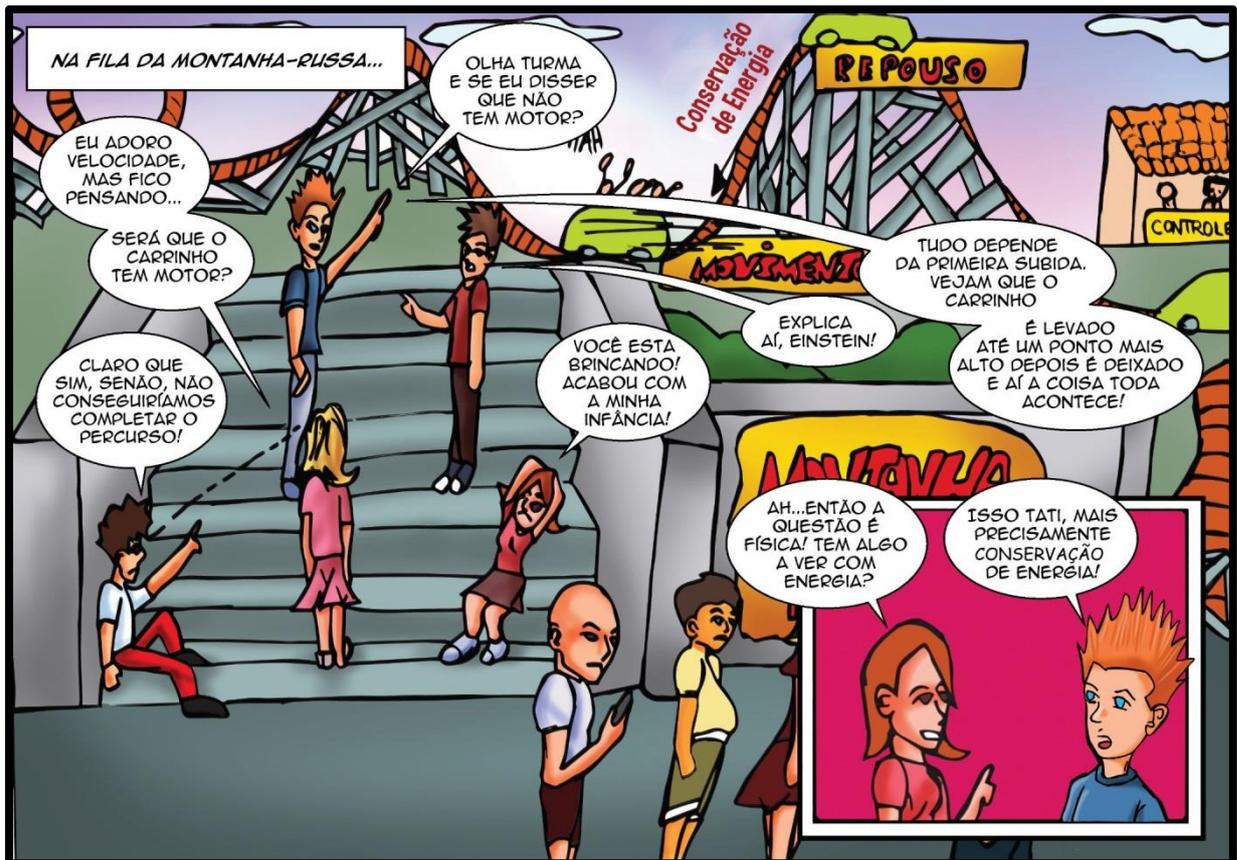
A.1. A Mecânica Clássica na Montanha-Russa.....	78
A.2. A Termodinâmica no Barco a Vapor.....	85
A.3. Óptica e o Corredor Infinito.....	91
A.4. Tiro ao Alvo através da Dupla Fenda de Young.....	95

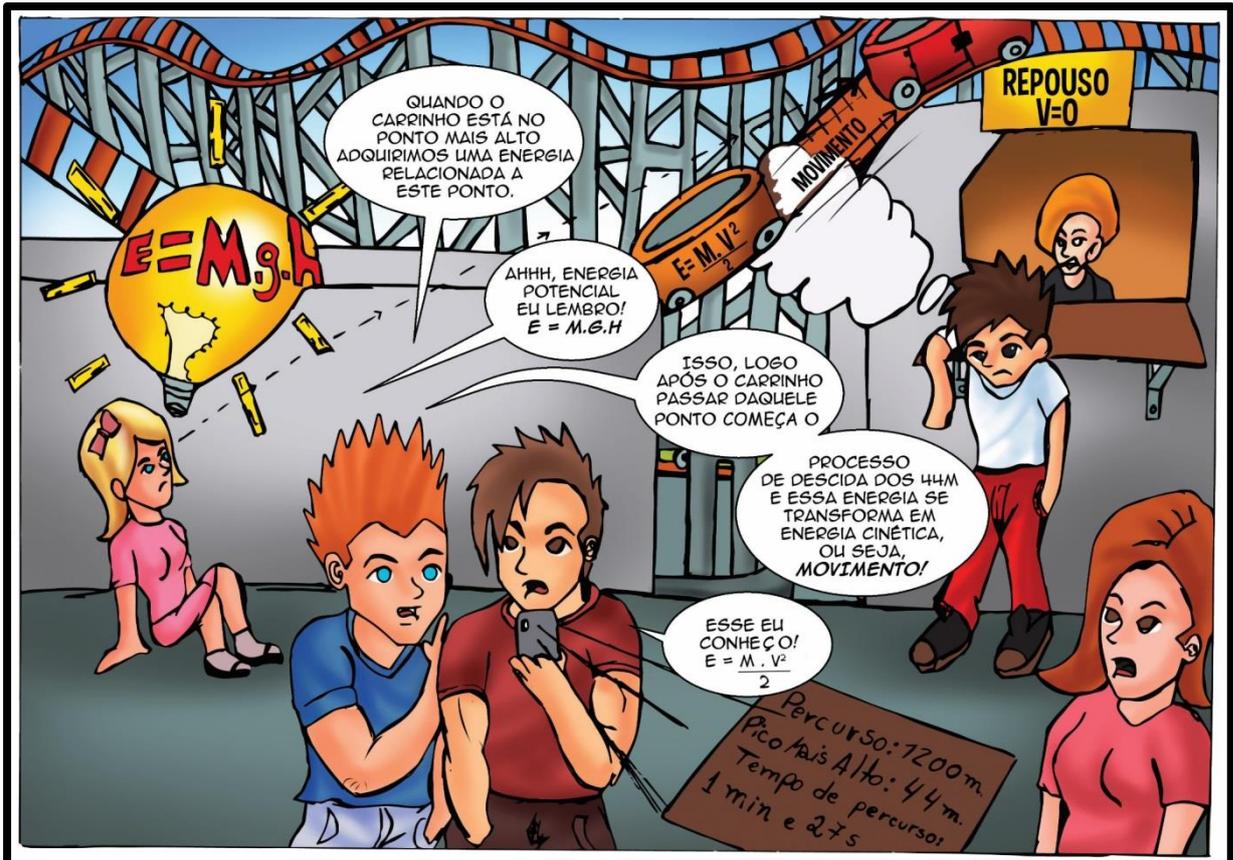
## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A.5. Discussão dos Tópicos de Física das Históridas em Quadrinhos.....	102
A.5.1. Aprendendo Tópicos de Mecânica Clássica na Montanha-Russa.....	103
A.5.2. Introdução à Termodinâmica e suas Aplicações.....	108
A.5.3. O Efeito do Espelho no Infinito: Estudando Óptica.....	114
A.5.4. Pensando no Experimento da Dupla Fenda no Brinquedo de Tiro ao Alvo.....	120

## A.1. A Mecânica Clássica na Montanha-Russa.









## Sugestão de Sequência Didática

### Execução em 2 aulas

Como o uso da História em Quadrinhos (HQ) é para complementar as aulas de Física, é interessante o professor iniciar as aulas no tema com a discussão de conceitos sobre mecânica clássica, como energia mecânica, energia cinética e potencial, trabalho, unidades de medida, movimentos retilíneo uniforme e acelerado, movimento circular e força centrípeta, entre outros. Esses tópicos podem ser ministrados conforme a preferência do professor. Nós optamos por aulas expositivas. Essa metodologia foi utilizada não só para o tópico de mecânica clássica na montanha-russa, mas para todos os outros tópicos de física apresentados neste material.

Após a apresentação e discussão desses tópicos as Histórias em Quadrinhos foram introduzidas aos alunos. As turmas foram divididas em grupos e cada grupo representou uma personagem durante a leitura da HQ. Para melhor visualização e interação de todos os grupos utilizamos um projetor para projetar a HQ. O objetivo foi fazer com que a leitura fosse coletiva e não individual.

Após a leitura o professor pode trabalhar os conceitos de Física à medida que forem surgindo nos quadrinhos. No terceiro quadrinho, por exemplo, pode-se dar maiores detalhes sobre os conceitos de repouso e movimento mostrados através das próprias palavras das personagens. No quarto quadrinho pode-se discutir unidades de medidas na Física através da altura e o comprimento do percurso da montanha-russa introduzindo o Sistema Internacional de Unidades (SI). Podem ser feitas perguntas como: A unidade de comprimento no SI é o metro, e a unidade de energia, qual é? No quinto quadrinho os próprios personagens discutem a energia e suas modalidades apresentando equações. No sexto quadrinho as personagens falam sobre conservação de energia. Que energia é essa que se conserva? Será que existe conservação dessa energia na montanha-russa? Por que os outros pontos altos da montanha são mais baixos que o primeiro? Este momento também é bom para introdução de movimento acelerado. Os efeitos da aceleração podem ser notados nas personagens no sexto quadrinho através dos cabelos levantados e a empolgação de todos quando eles levantam os braços.

No sétimo quadrinho as personagens discutem sobre a possibilidade de calcular a velocidade final  $v$  de descida do carrinho. Utilizando os dados apresentados no celular de uma das personagens no quarto quadrinho e a aceleração da gravidade  $g$ , os alunos podem fazer uma estimativa dessa velocidade utilizando o princípio de conservação da energia mecânica,

em que toda a energia potencial na primeira subida  $E_p$  seria convertida em energia cinética  $E_c$  durante a descida, ou seja,

$$\begin{aligned}E_p &= E_c, \\ mgh &= \frac{mv^2}{2}, \\ v &= \sqrt{2gh},\end{aligned}$$

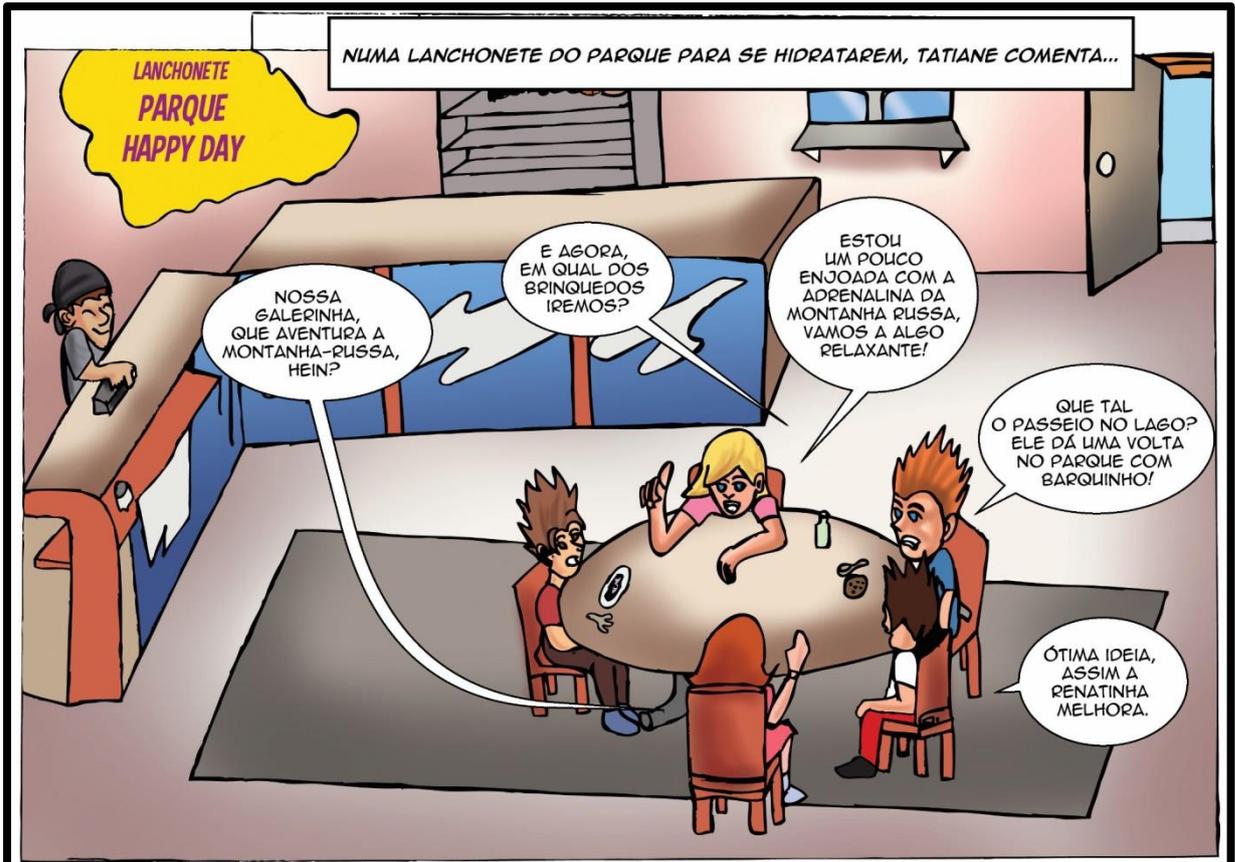
em que  $h$  é a altura máxima da montanha, primeira subida, e  $m$  é a massa total do carrinho junto com os passageiros. Mais perguntas sobre o resultado obtido podem ser conduzidas como: A velocidade final de descida depende de quais parâmetros? Como podemos então aumentar essa velocidade? Se fizermos isso o que acontece com a energia cinética e potencial do sistema? Mas a energia mecânica se conserva nesta situação? O professor pode ressaltar a partir da fala dos próprios personagens que o fato dos outros picos da montanha serem mais baixos que o primeiro é devido a não conservação de energia durante a descida do carrinho. Quais outras formas ou modalidades de energia surgem no processo de conversão de energia potencial para cinética? Por que então utilizamos este princípio para realizar tal cálculo se a energia não se conserva? O professor pode discutir o que é uma estimativa ou aproximação em ciência, que é exatamente o que os alunos estão fazendo. Se esta equação não leva em conta o atrito ela pode ser útil para algum esclarecimento? Sim, para verificar quais parâmetros podem influenciar na velocidade do carrinho.

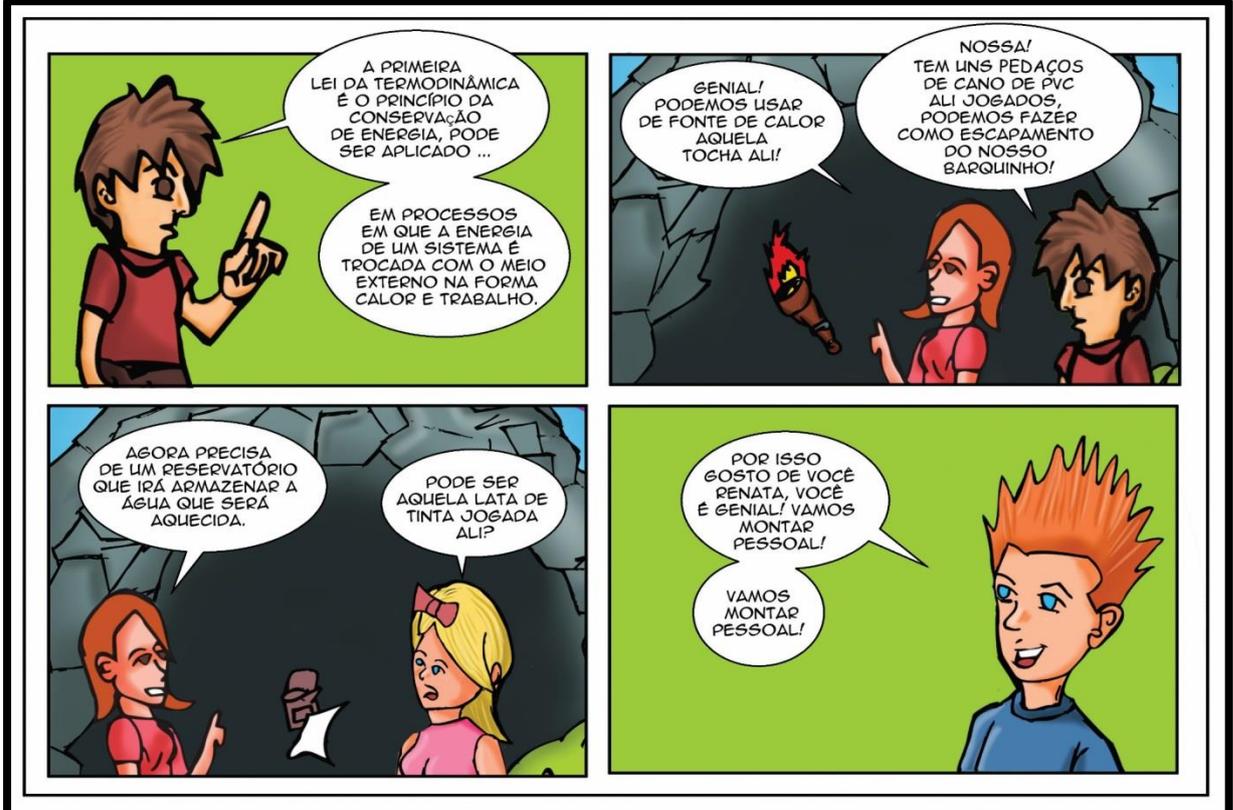
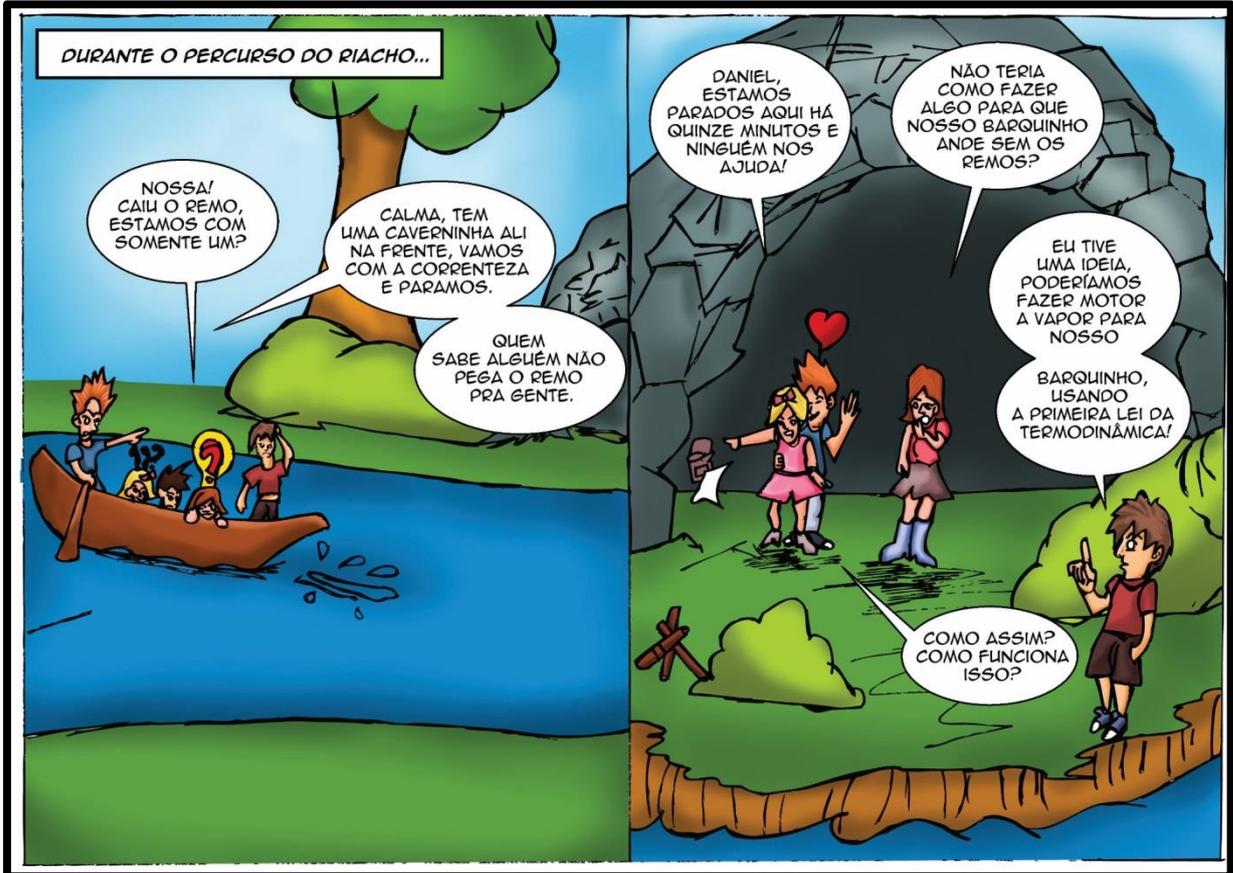
Várias outras discussões e conceitos podem ser conduzidos como movimento circular e uma curva na montanha-russa, força centrípeta e forças de inércia, como a força centrífuga, trabalho, entre outros. Maiores detalhes de outros conceitos e o tratamento matemático destes podem ser explorados na seção A.5.1.

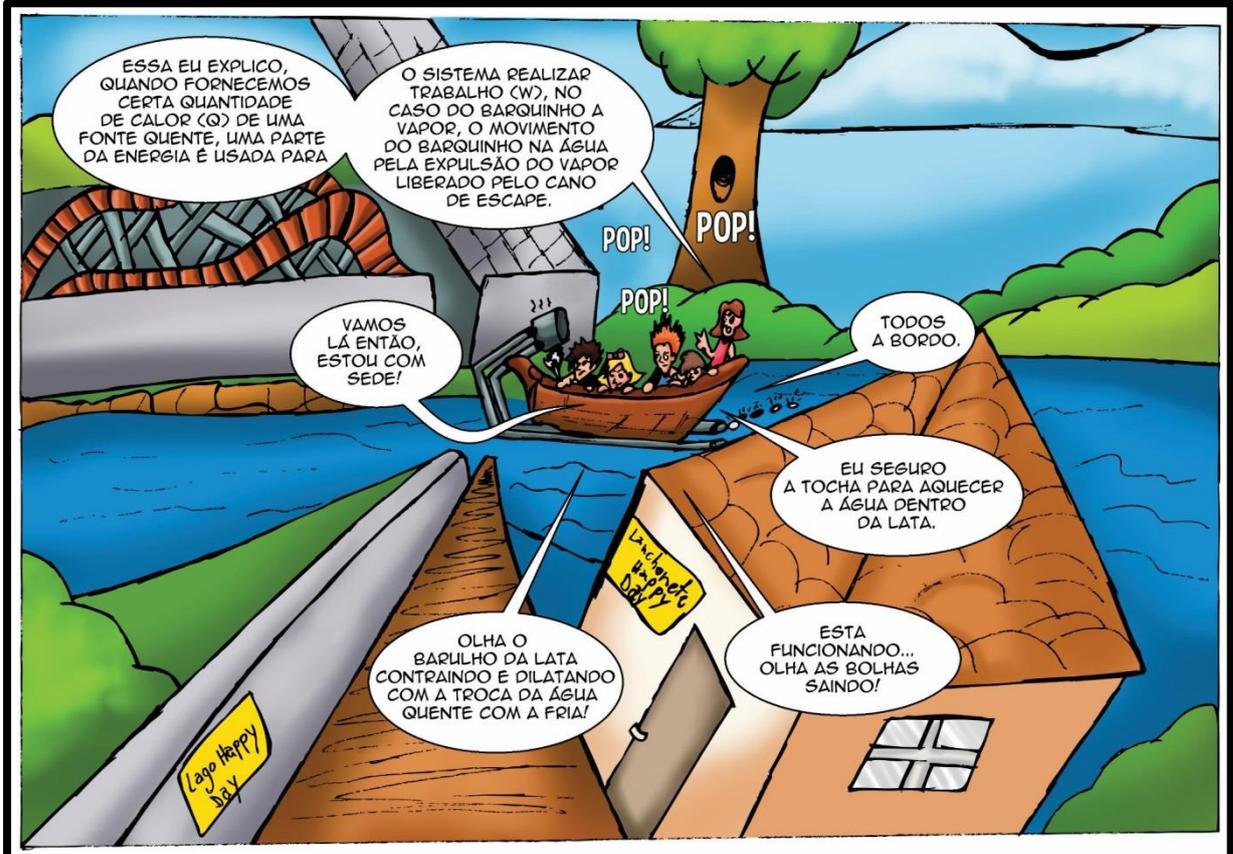
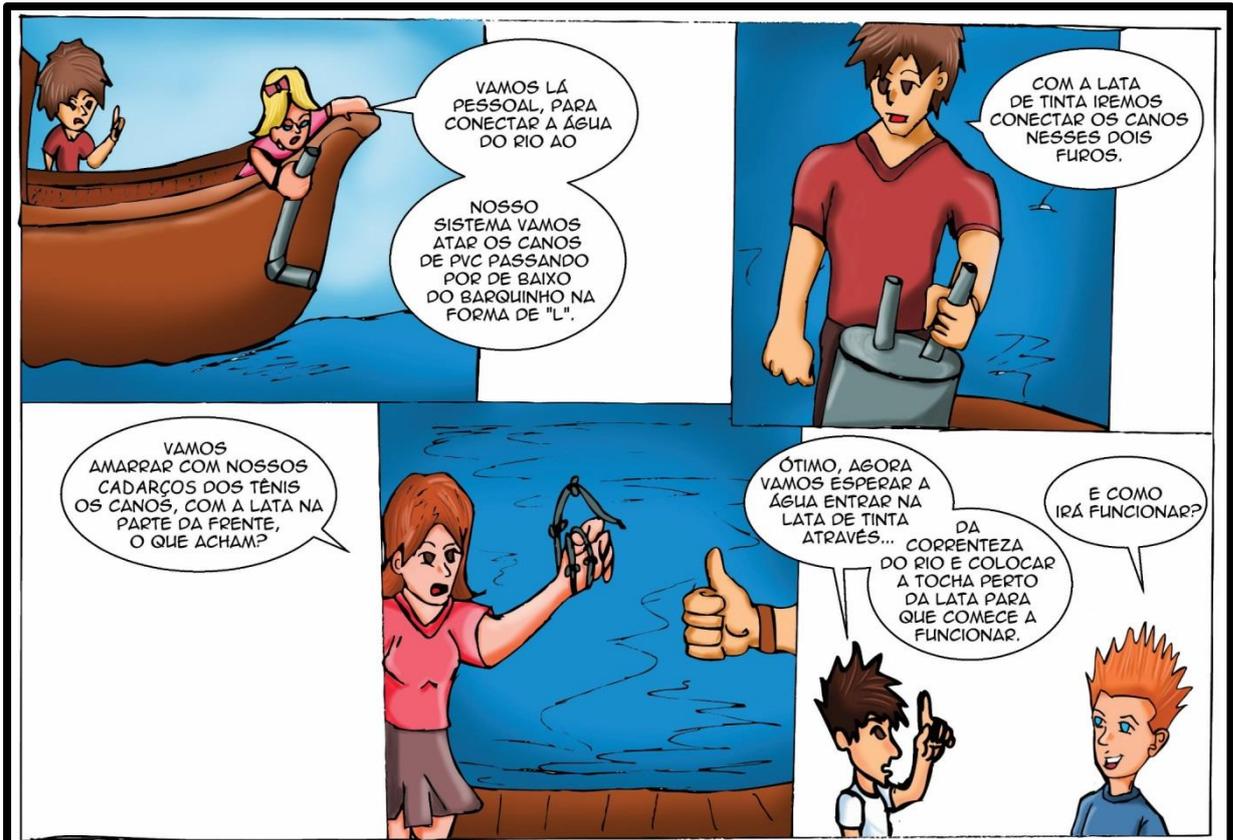
É interessante finalizar as discussões deixando claro que o percurso total da montanha russa só é completado pela conversão de energia potencial em cinética e que algumas considerações devem ser levadas em conta durante a construção da montanha-russa para se atentar para a não conservação da energia mecânica, pois se tivéssemos subidas de mesma altura que a primeira, após a primeira descida, o carrinho não completaria o percurso devido à dissipação de energia no decorrer do mesmo devido ao atrito do carrinho com os trilhos, produção de som, etc.

A avaliação desta aula pode ser feita de diversas maneiras, através de cálculos, relatórios sobre o que os alunos compreenderam sobre o funcionamento da montanha-russa, discussões entre os grupos mediadas com perguntas feitas pelo professor, ou até mesmo provas. O professor deve escolher a avaliação de acordo com a realidade de sua sala de aula.

## A.2. A Termodinâmica no Barco a Vapor.







## Sugestão de Sequência Didática

Execução em 4 aulas.

Neste tema o professor pode trabalhar as definições que envolvem as leis da Termodinâmica, bem como trabalhar uma montagem experimental de uma máquina térmica através de um barquinho *pop pop*, pois o princípio de funcionamento do barco a vapor dos quadrinhos é referente a este barquinho. Optamos por este experimento por ser simples e fácil de montar por qualquer aluno e professor do ensino médio.

Em uma aula, antes da aplicação da HQ, foi passada para todos os grupos formados a tarefa de assistir em casa ao vídeo da montagem de um barquinho *pop pop* e trazer os materiais necessários para a montagem de seus barquinhos. O vídeo sugerido está disponível no link: <http://www.manualdomundo.com.br/2012/04/como-fazer-um-barco-a-vapor-barquinho-pop-pop/>.

Como no tema sobre mecânica clássica, a HQ foi introduzida através da leitura coletiva com cada grupo formado representando uma personagem da trama.

A Física começa a surgir na história a partir do terceiro quadrinho. Nos primeiros quadrinhos foi feita toda a contextualização da situação-problema em que as personagens se encontram e uma delas sugere o uso da Termodinâmica para resolver o problema. No terceiro quadrinho o professor pode introduzir o princípio de conservação de energia, dado pela primeira lei da termodinâmica, e como a mesma é descrita matematicamente ao introduzir os conceitos de calor e trabalho no quarto quadrinho. Neste, as personagens começam a procurar materiais para a construção do motor de propulsão do barco a vapor, exatamente como os alunos fizeram na aula anterior quando assistiram o vídeo e escolheram materiais para a montagem do barquinho *pop pop*.

No quinto quadrinho as personagens começam a montagem do motor de propulsão a vapor para o barco. Este momento é excelente para introduzir o diagrama de máquinas térmicas e sua definição. Explicações sobre troca de energia do sistema através de calor e trabalho podem ser conduzidas, assim como a eficiência de uma máquina térmica e a segunda lei da termodinâmica. Maiores detalhes são apresentados na seção A.5.2.

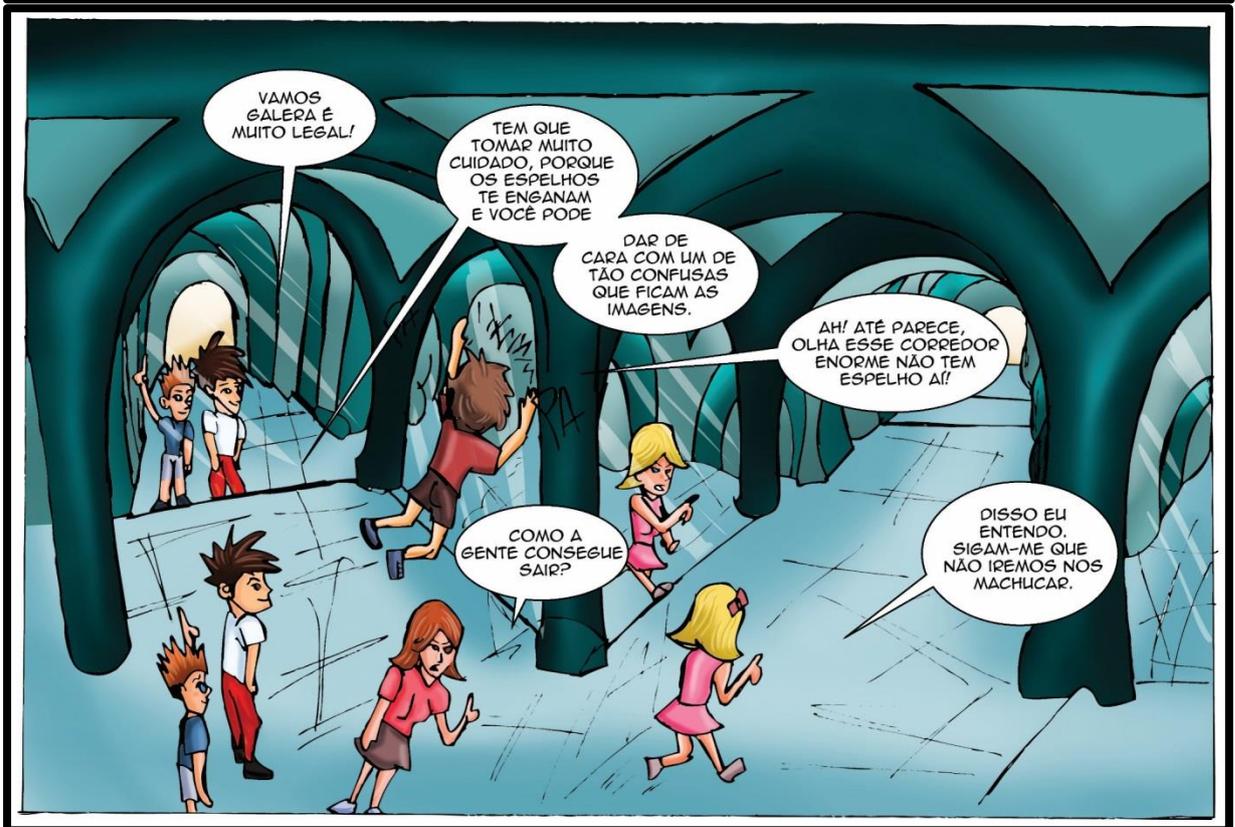
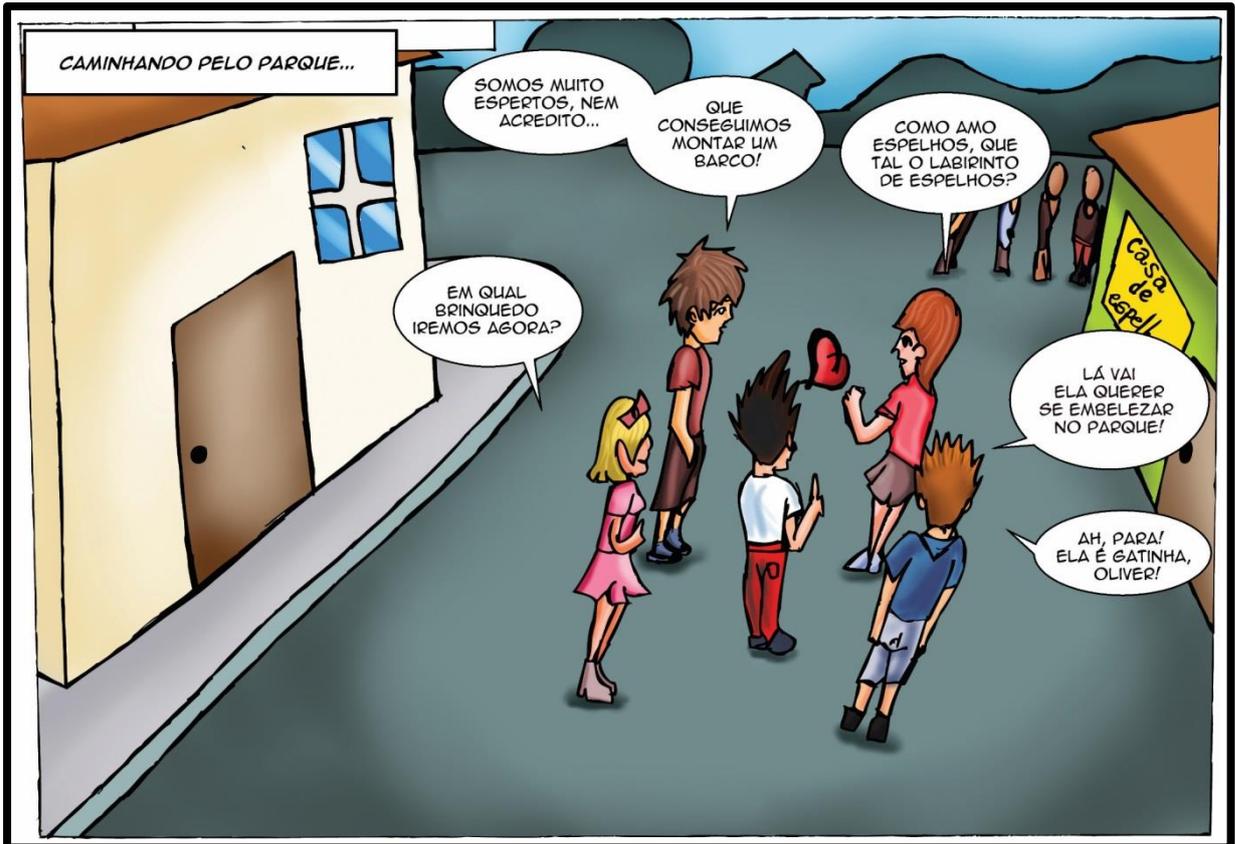
No sexto quadrinho o professor pode discutir o princípio de funcionamento do motor de propulsão à vapor do barco das personagens dos quadrinhos com o objetivo de introduzir tal princípio para o barquinho *pop pop* que os alunos estavam prestes a construir.

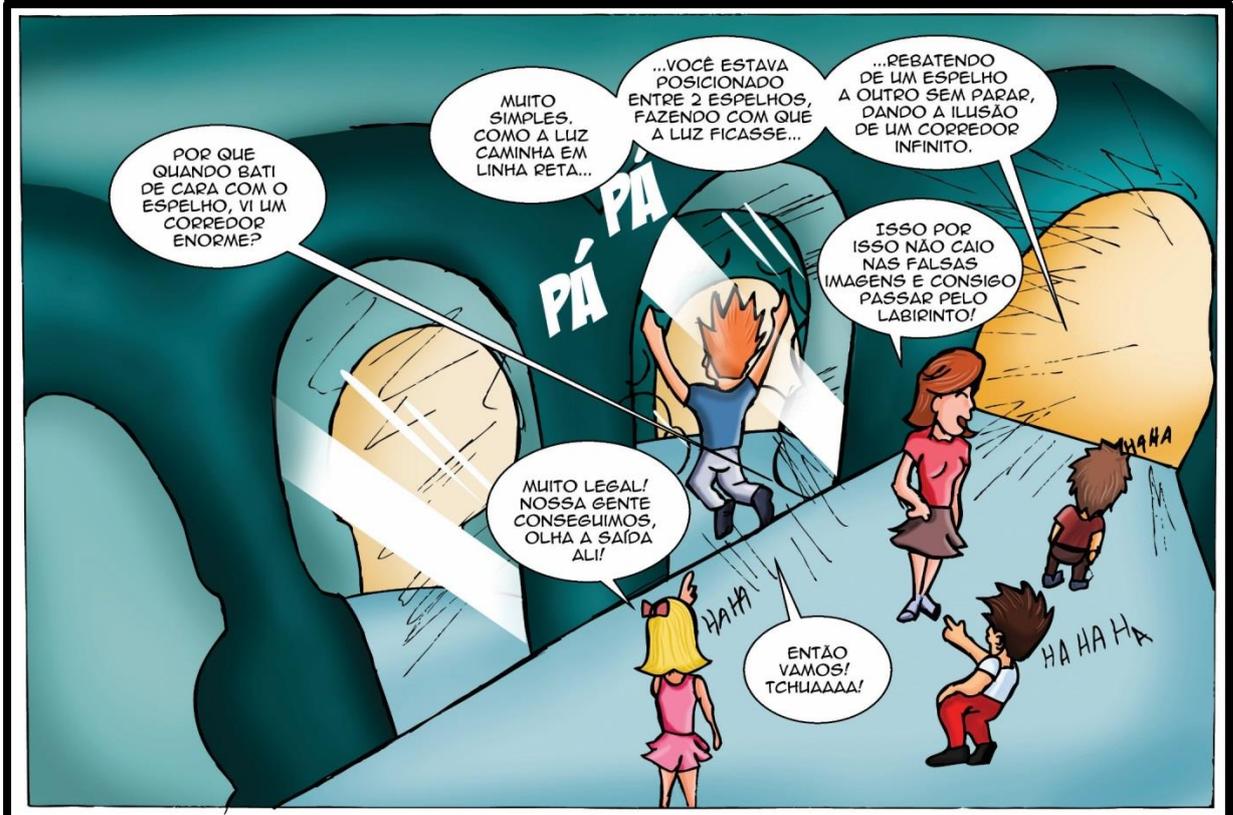
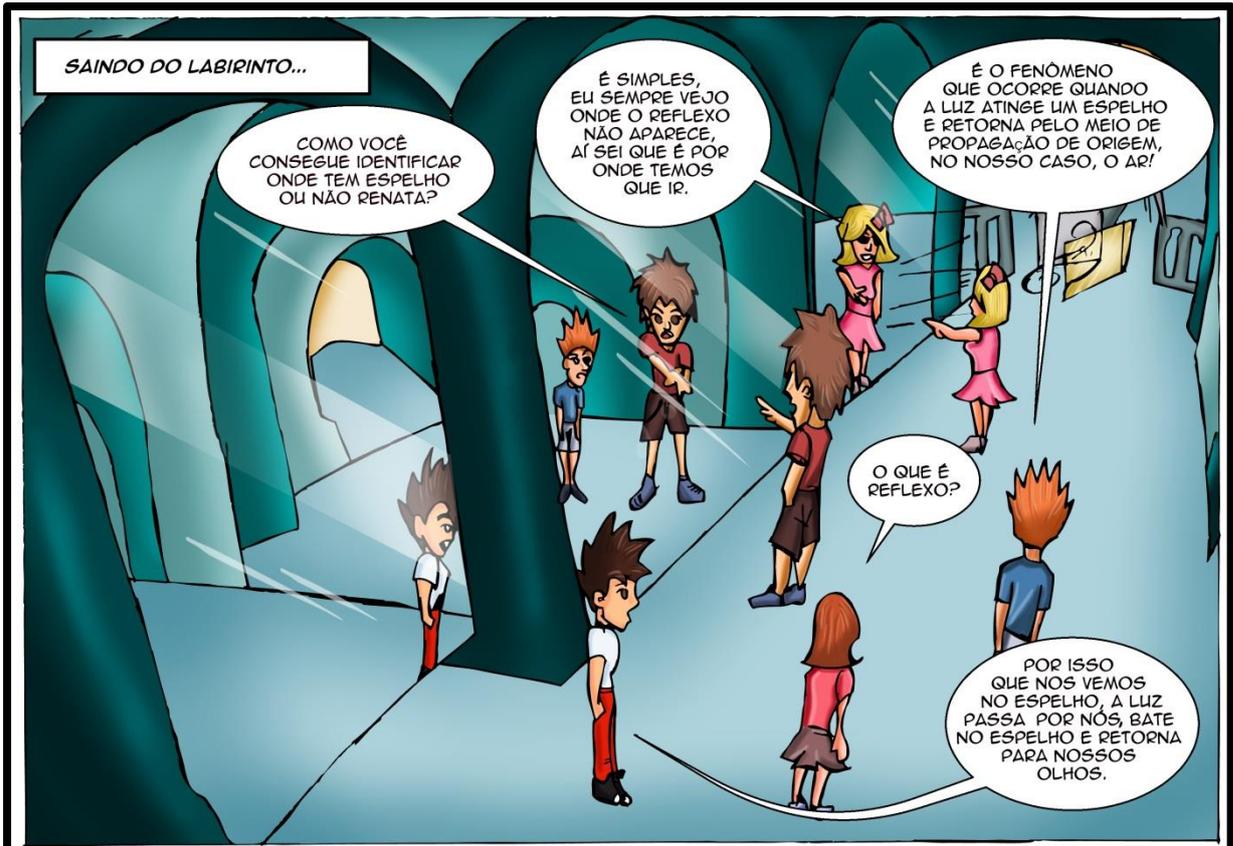
A montagem do barquinho foi realizada nas duas últimas aulas seguindo os procedimentos de montagem com os grupos para que cada grupo montasse seu próprio

barquinho. Após a montagem seria interessante se o professor conduzisse os alunos a uma fonte, lago, tanque ou mesmo levasse uma vasilha com água com dimensões adequadas na sala de aula para que os alunos colocassem os seus barquinhos para funcionar. Durante a diversão o professor pode retomar discussões sobre a segunda lei e máquinas térmicas com questões como: Quais são as fontes térmicas, quente e fria, do barquinho? Como podemos identificar as trocas de energia do barquinho com sua vizinhança através de calor e trabalho? O que podemos dizer sobre a eficiência do barquinho? Podemos melhorá-la? Este funcionará para sempre? Por quê?

Para a avaliação deste tema, além daquelas sugeridas na seção anterior, o professor pode conferir uma nota ao grupo a partir do empenho do mesmo durante a montagem experimental e discussão do princípio de funcionamento do barquinho *pop pop*.

## A.3. Óptica e o Corredor Infinito.





## Sugestão de Sequência Didática

Execução em 2 aulas.

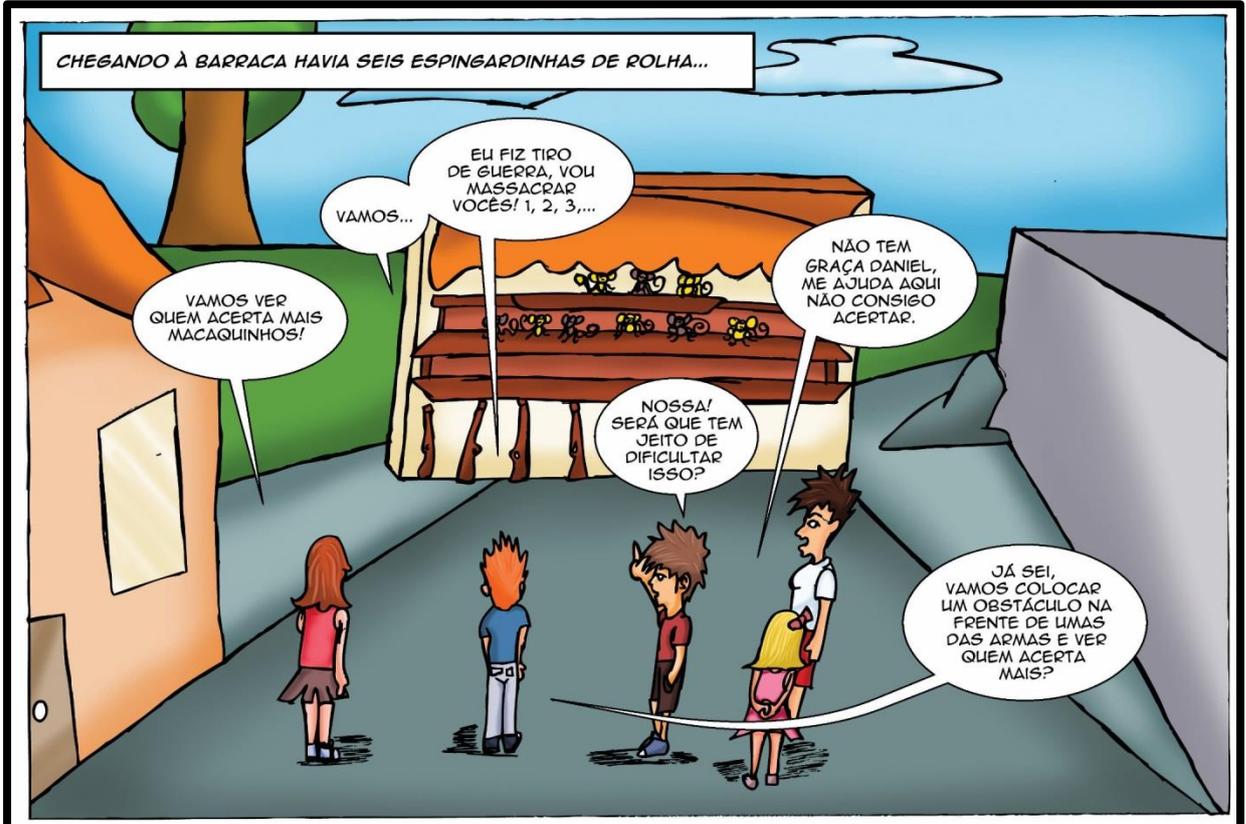
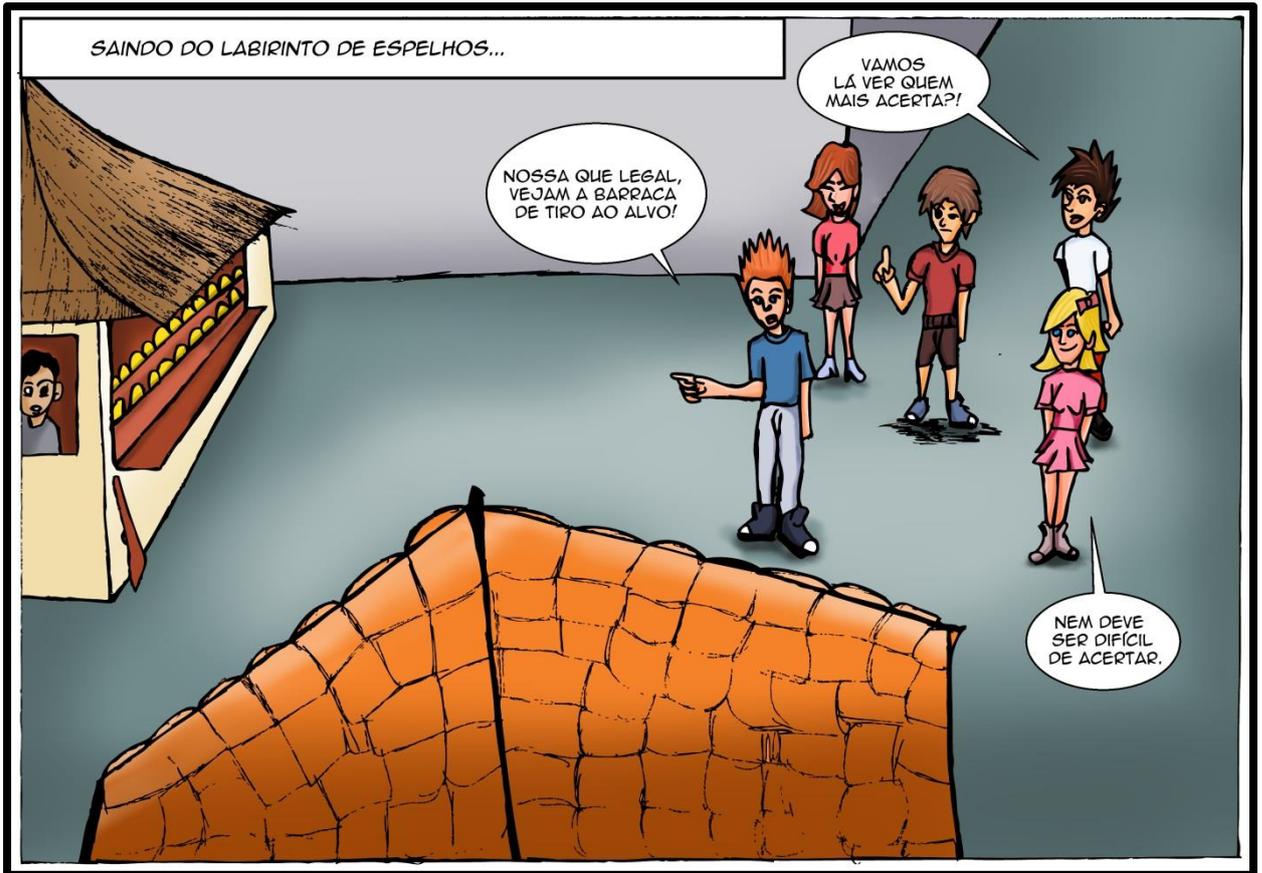
Após a leitura coletiva dos quadrinhos o professor pode trabalhar os conceitos de óptica geométrica a partir das dúvidas apresentadas pelas personagens no segundo quadrinho. No terceiro quadrinho é feita a introdução do conceito de reflexão em um espelho plano pelas próprias personagens. O professor pode utilizar essa discussão como ponto de partida para introduzir outras definições como refração e difração da luz ou tratamento da luz como partícula por Newton e como onda por Huygens.

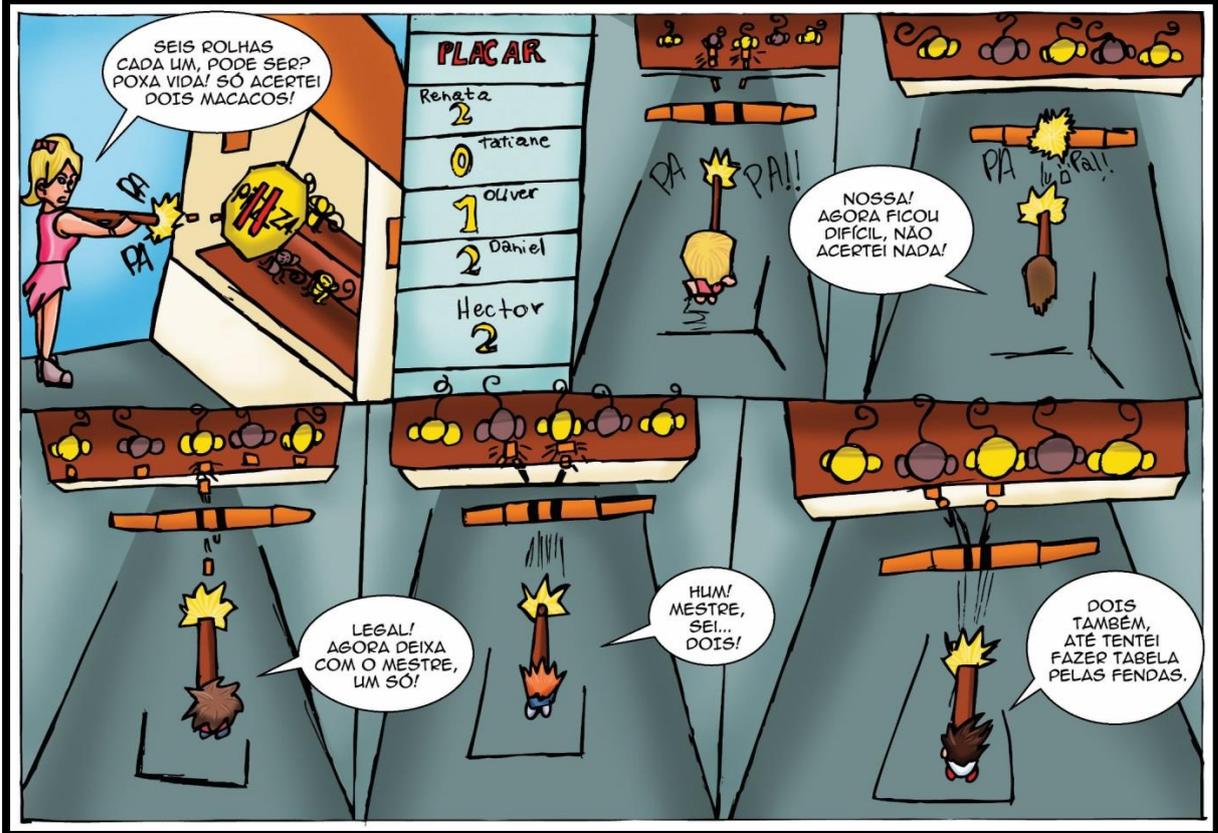
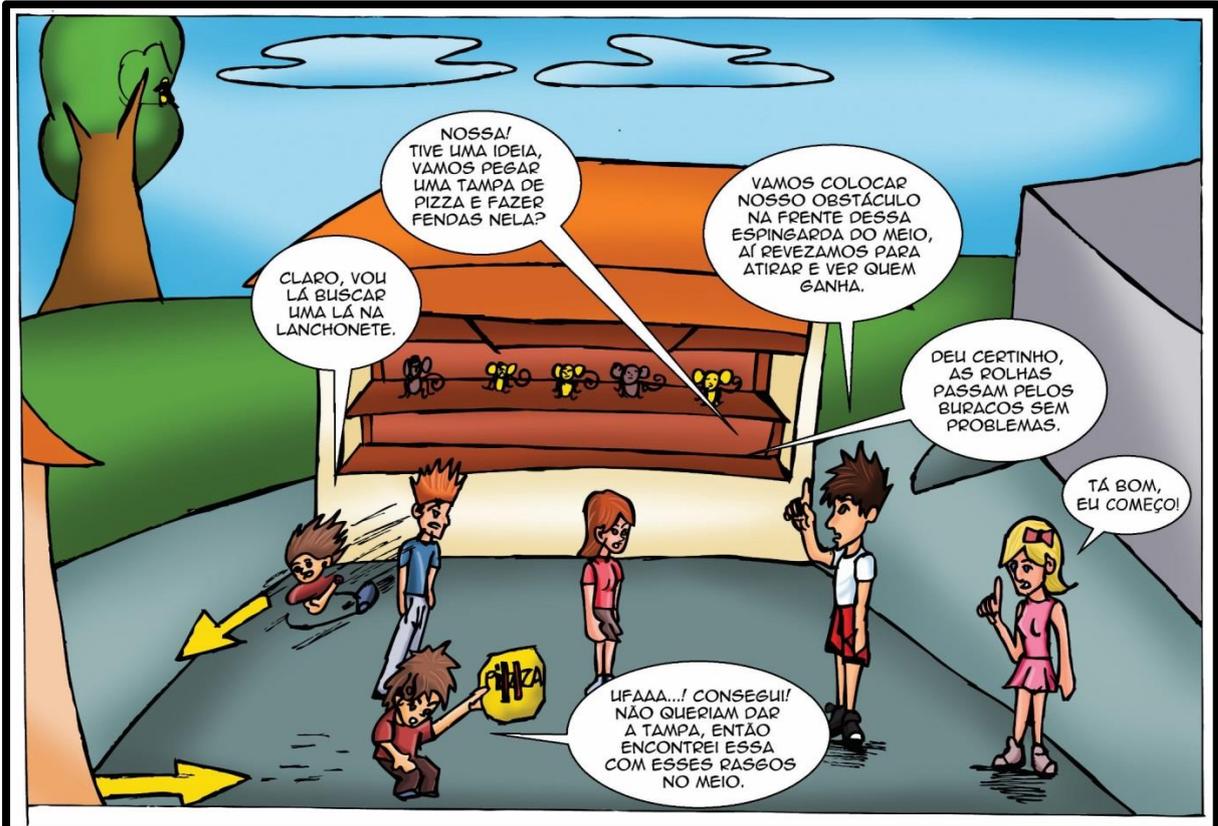
Neste tema é muito interessante o professor levar alguns espelhos, lanternas ou ponteiros laser para mostrar na prática os princípios básicos da óptica geométrica e a formação de imagens quando um objeto é colocado entre dois espelhos planos posicionados a diferentes ângulos entre si. Com os espelhos fica mais fácil discutir as equações e mostrar as condições para a formação do corredor infinito, discutido pelas personagens da história no quarto quadrinho.

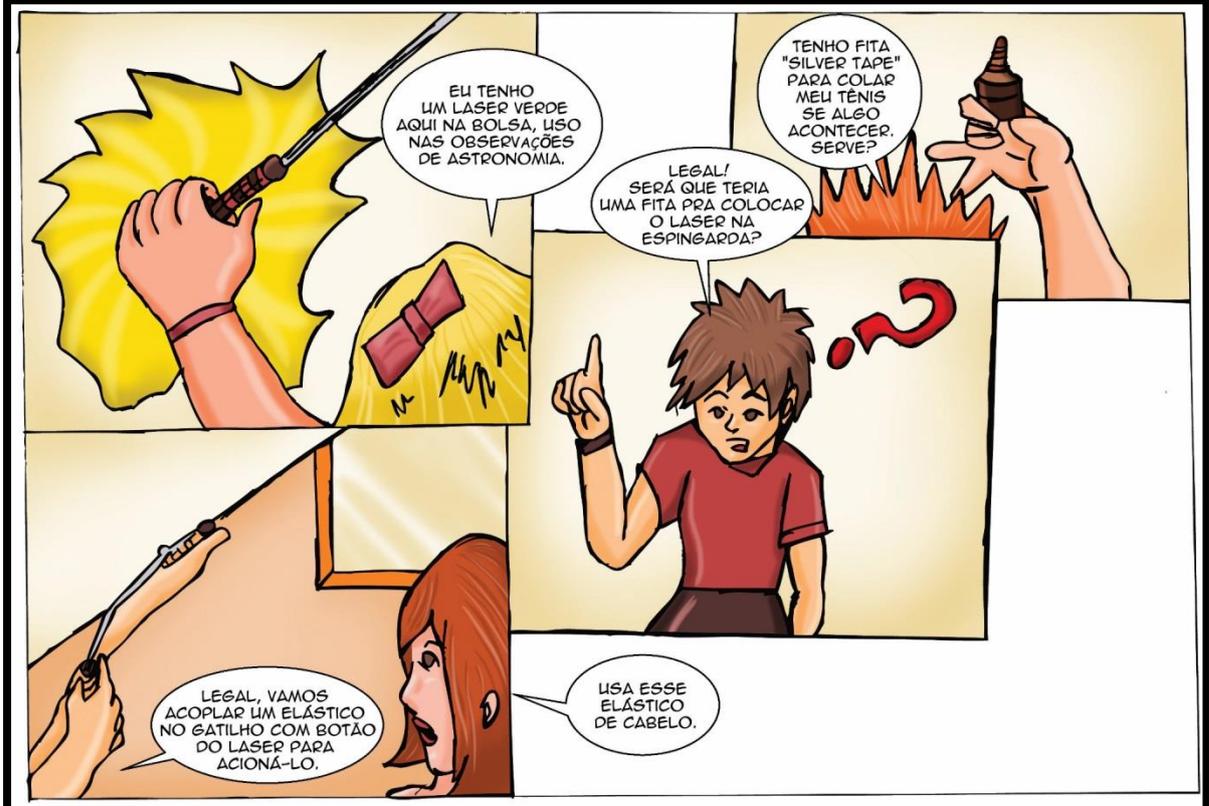
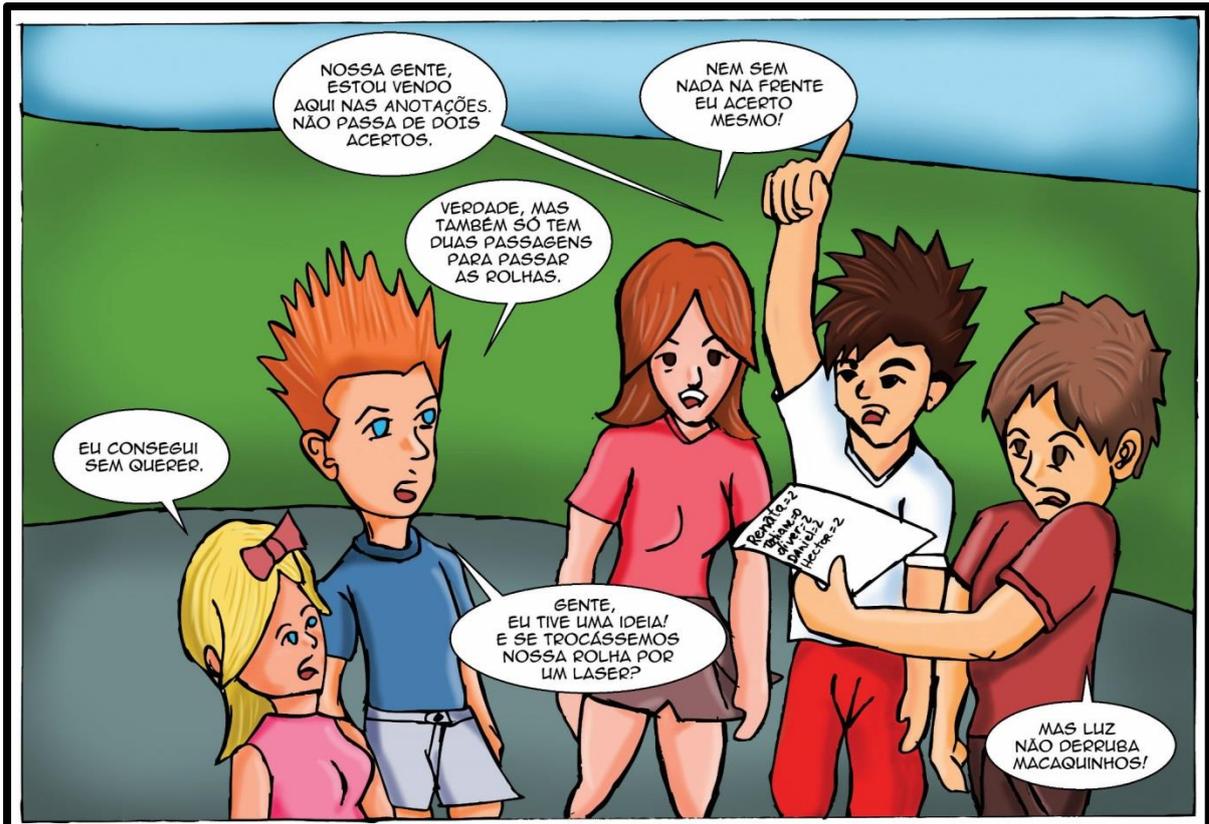
Todos os detalhes para estas atividades são fornecidos na seção A.5.3 juntamente com discussões interessantes como a possibilidade de introduzir o conceito de limite para os alunos do ensino médio para explicar a formação de infinitas imagens quando dois espelhos planos são posicionados um de frente do outro paralelamente.

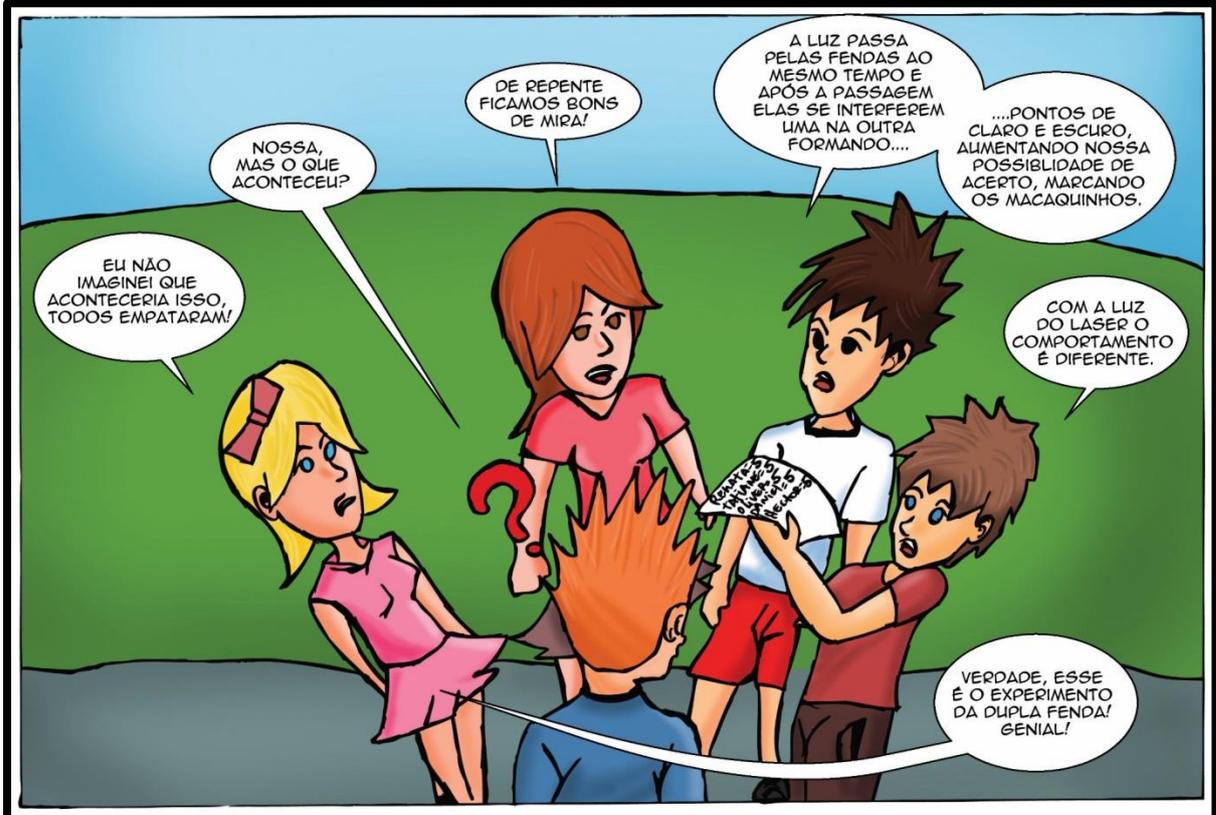
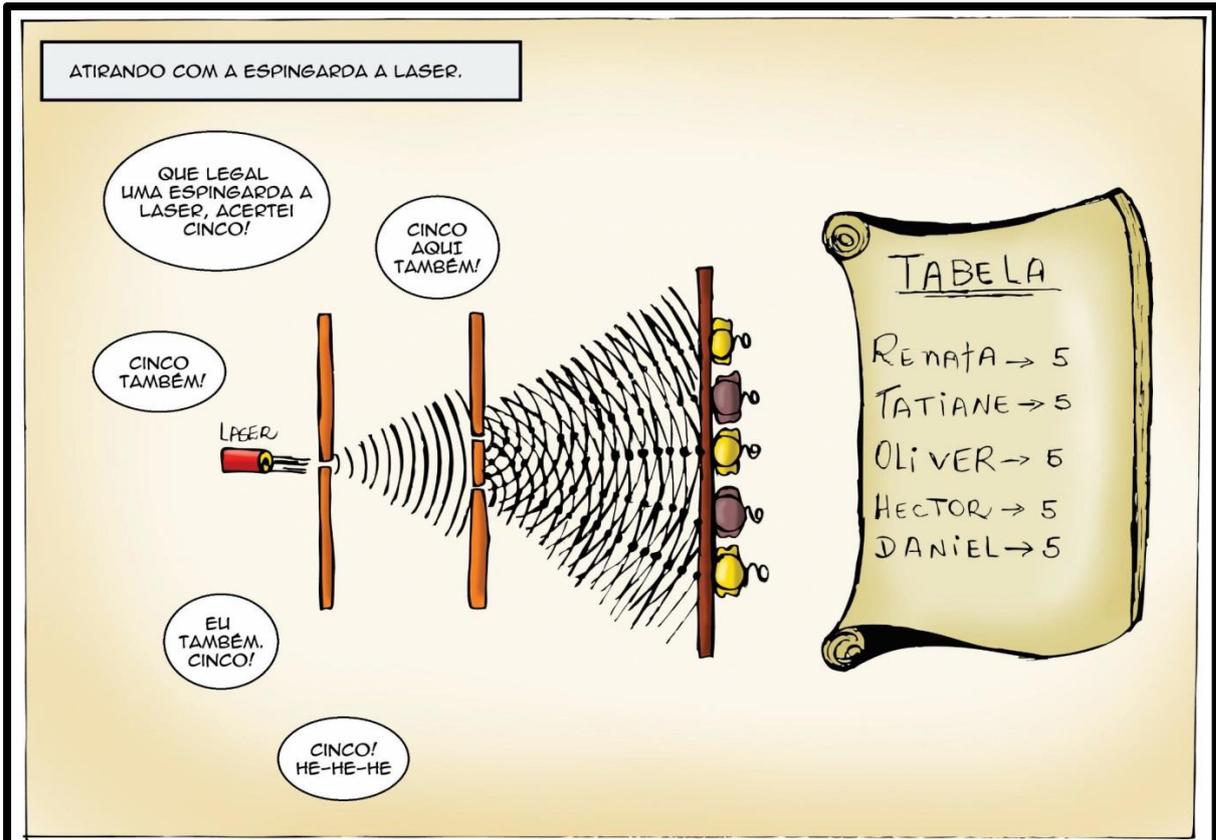
A avaliação deste tema pode ser feita a partir de alguma montagem experimental com espelhos realizadas pelos alunos ou a entrega dos cálculos sobre o número de imagens formadas para ângulos estabelecidos pelo professor, entre outros.

## A.4. Tiro ao Alvo Através da Dupla Fenda de Young.









## Sugestão de Sequência Didática

Execução em 2 aulas.

Como nos outros temas, a HQ foi introduzida após uma aula expositiva sobre o tema da dupla fenda.

O objetivo dessa história é demonstrar o tratamento da luz como partícula e como onda através do experimento de dupla fenda, o qual é abordado pelas personagens da HQ na barraca de tiro ao alvo.

Após a contextualização da história nos dois primeiros quadinhos nossos aventureiros decidem dificultar a brincadeira de tiro ao alvo porque uma das personagens se mostrou com bastante vantagem sobre as outras por ter prática de tiro. A proposta foi fazer uma fenda dupla em uma tampa de caixa de pizza para nivelar um pouco as chances dos jovens. A partir desse momento o professor pode discutir o que é o experimento de dupla fenda de Young e sua importância para a descrição da natureza da luz.

No quarto quadrinho as personagens percebem que é possível acertar no máximo dois macaquinhos, que são aqueles posicionados na região logo atrás das duas fendas. Mas por que isso acontece? O professor pode conduzir a discussão através de perguntas e introduzir o conceito de probabilidade para explicar o número de acertos das personagens discutidos no quinto quadrinho.

No sexto quadrinho é proposta uma modificação na espingarda. No lugar de rolhas as personagens adaptam um laser. Neste momento o professor precisa discutir as condições para que haja interferência construtiva e destrutiva quando o feixe luminoso passar pelas duas fendas, como o comprimento de onda, a distância das fendas, caminho óptico e fase dos feixes que saem das duas fendas, o fenômeno de difração da luz, entre outros. Todos os detalhes são fornecidos na seção A.5.4.

É interessante notar que no quinto quadrinho uma das personagens expressa a impossibilidade de um feixe luminoso derrubar os macaquinhos quando outra personagem propõe a troca de rolhas por luz. Nesse momento o professor pode colocar a pergunta aos alunos: Como será feita a contagem dos macaquinhos atingidos pelo feixe de luz? Discussões sobre dispositivos de detecção e dispositivos ópticos conhecidos podem ser conduzidas para os alunos elaborarem estratégias de como fazer com que os macaquinhos caiam quando atingidos.

Em seguida, no sétimo quadrinho, as personagens executam a brincadeira, como se estivessem executando o experimento de fenda dupla de Young. Todos observam

entusiasmados o aumento de acertos com o feixe laser e ficam surpresos que todos obtiveram o mesmo número de acertos. O professor neste momento pode discutir a mudança na probabilidade de acertos com os fenômenos de difração e interferência da luz observados no experimento. Como os macaquinhos estão posicionados nas regiões das franjas claras do padrão de interferência, eles têm como resultado mais macaquinhos sendo atingidos.

É importante deixar claro para os alunos que não é possível realizar o experimento de dupla fenda com fendas perfuradas em uma caixa de pizza. As condições do experimento são bastante específicas e a distância entre as fendas deve ser da ordem do comprimento de onda da luz utilizada no experimento. Uma alternativa experimental e de baixo custo muito interessante é fornecida por Lopes e Laburú (LOPES e LABURÚ, 2004). No lugar de duas fendas espaçadas por uma distância  $d$ , eles utilizam de forma equivalente um fio de cabelo de espessura  $d$ . Com o padrão de interferência observado é possível estimar a espessura do fio de cabelo  $d$ .

A avaliação deste tema pode ser conduzida através de questionários ou outra forma que o professor achar mais adequada.

O professor pode ir mais adiante com estes últimos quadrinhos perguntando aos alunos o que aconteceria se no lugar de rolhas ou luz o experimento de fenda dupla fosse realizado com partículas como elétrons ou nêutrons. Outra possibilidade seria utilizar um feixe de raios-X incidindo em um cristal. Com isso seria possível introduzir tópicos de física moderna.

Este exemplo mostra que várias outras possibilidades e abordagens podem ser conduzidas pelo professor utilizando os quadrinhos desse material.

## A.5. Discussão dos Tópicos de Física das Histórias em Quadrinhos.

### A.5.1. Aprendendo Tópicos de Mecânica Clássica na Montanha-Russa.

As características mais marcantes relatadas pelas pessoas que já se divertiram numa montanha-russa é geralmente sobre o momento da subida do carrinho, o ranger das correntes que levam o conjunto de carrinhos até o topo da primeira descida, trazendo um momento de tensão.

No momento em que se inicia a subida do carrinho até o ponto mais alto, inicia-se o processo de obtenção de energia potencial gravitacional que fará com que o carrinho desça sobre os trilhos completando todo o percurso. Esse conceito de energia está ligado à altura máxima atingida pelo carrinho com relação à sua posição inicial, a qual nós colocamos o nosso referencial ou altura zero para o sistema.

Para entendermos melhor como todo esse processo funciona, partiremos da definição de trabalho. Trabalho é um método de transmissão de energia para levar um determinado corpo de um ponto a outro de sua trajetória através de uma força generalizada. No caso do carrinho da montanha russa, o trabalho é realizado através da força peso para deslocar o carrinho de uma altura  $h_1$  até  $h_2$ . Matematicamente o trabalho  $W_{1 \rightarrow 2}$  de uma força resultante  $\vec{F}$ , para levar um sistema de uma posição ou estado 1 para uma posição 2, é dado pelo produto escalar desta força pelo deslocamento  $d\vec{y}$  do mesmo, ou seja,

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{y}. \quad (\text{A-1})$$

Na montanha-russa a energia é transferida para o carrinho através da força de um motor que leva o carrinho para cima a partir de uma altura inicial  $h_1$  até o ponto mais alto da montanha-russa  $h_2$ , de onde será abandonado.

Quando o carrinho chega ao ponto mais alto da primeira subida, fica em repouso por alguns segundos, estando sujeito à força gravitacional dada pela equação:

$$\vec{F} = m\vec{g}, \quad (\text{A-2})$$

sendo  $m$  a massa total do conjunto e o vetor  $\vec{g}$  a aceleração da gravidade. Esta é a força peso do sistema, que é a força com que a Terra atrai o conjunto carrinho mais passageiros. Substituindo a eq.(A-2) em (A-1) obtemos:

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_{h_1}^{h_2} m\vec{g} \cdot d\vec{y} = -mg \int_{h_1}^{h_2} dy = -(mgh_2 - mgh_1)$$

$$\therefore W_{1 \rightarrow 2} = -\Delta E_p. \quad (\text{A-3})$$

O sinal negativo que aparece na segunda igualdade é obtido do produto escalar entre os vetores  $\vec{g}$  e  $d\vec{y}$ . O vetor que representa a aceleração da gravidade está direcionado verticalmente para baixo enquanto que o vetor deslocamento vertical está para cima, uma vez que tomamos o nosso zero da altura na posição inicial do carrinho antes deste ser levado para o topo da montanha-russa.

Note que o trabalho realizado por uma força gravitacional sobre o carrinho, quando o mesmo se desloca entre dois pontos, não depende da sua trajetória, mas somente dos pontos inicial e final,  $h_1$  e  $h_2$ , respectivamente. Isso significa que a força gravitacional é uma força conservativa e o trabalho pode ser representado pelo negativo da variação de uma grandeza chamada energia potencial gravitacional, dada por  $E_p = mgh$ . A classe de forças conservativas como a gravitacional, elástica, eletrostática, etc. são chamadas dessa forma porque conservam a energia mecânica do sistema.

A energia potencial gravitacional do carrinho, adquirida durante a subida do mesmo, será convertida em energia cinética durante a descida, partindo do ponto mais alto até o ponto inicial, que é onde os passageiros entram e saem do carrinho.

A partir do momento que o carrinho começa a descer sobre a influência da força gravitacional, a emoção toma conta dos passageiros dos vagões. Para os participantes no interior do carrinho, além do aumento de velocidade incrível na primeira descida, eles verificam algo realmente curioso que acontece durante as rápidas curvas. Sentem a ação de uma força que tenta jogá-los para fora da curva, fazendo com que sejam pressionados nas paredes do carrinho durante o percurso. Mas como pode uma força agir em um corpo sem existir o agente da força? Na verdade, o que está ocorrendo é o efeito dos passageiros estarem se movendo em um referencial não inercial, ou seja, um referencial acelerado. O que os passageiros sentem é o efeito do que chamamos de pseudoforça, ou força de inércia centrífuga.

Esta é nomeada dessa forma porque não cumpre os requisitos necessários da definição de força provenientes das leis de Newton. Isso significa que as leis da mecânica de Newton se aplicam apenas a sistemas de referência inerciais, que são sistemas de referência em que corpos livres (sem forças aplicadas) não têm o seu estado de movimento alterado, ou seja, corpos livres não sofrem acelerações quando não há forças sendo exercidas nos mesmos. Tais sistemas ou estão parados, velocidade nula, ou em movimento retilíneo uniforme uns em relação aos outros, velocidade constante. Como a pseudoforça centrífuga somente aparece em sistemas acelerados devido à rotação do sistema, esta não pode ser considerada como uma

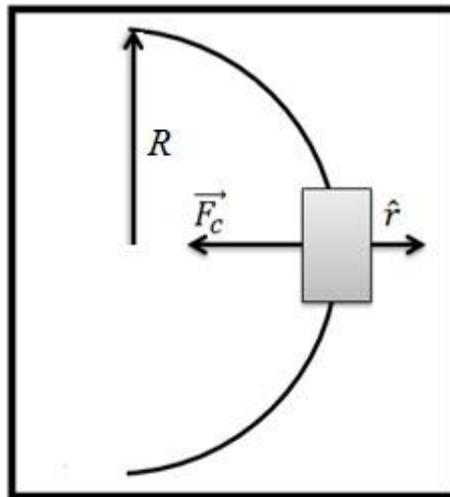
força de acordo com a definição de Newton. O efeito é o mesmo de sermos pressionados contra as paredes de um ônibus quando o mesmo realiza uma curva.

Para que o carrinho consiga realizar a curva sem descarrilhar e continuar o trajeto é necessário que uma força resultante haja sobre ele. Esta é chamada de força centrípeta e é dada pela equação:

$$\vec{F}_C = -m \frac{v^2}{R} \hat{r}, \quad (\text{A-4})$$

em que  $\hat{r}$  é o versor radial da trajetória curvilínea direcionado para fora da curva, mostrando que a força centrípeta é direcionada para a origem do raio de curvatura  $R$ , ou seja, para dentro da curva, uma vez que utilizamos  $-\hat{r}$  na eq.(A-4), veja figura A.1.1.

**Figura A.1.1** – Representação do sistema de vetores mostrando a força resultante centrípeta  $\vec{F}_C$  no carrinho no momento em que o mesmo realiza uma curva com raio de curvatura  $R$ . Note que a força centrípeta é contrária ao versor radial  $\hat{r}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores.

Por conveniência, podemos escrever a eq.(A-4) em termos da velocidade angular  $\omega$ . Sendo  $v = R\omega$ , obtemos  $\vec{F}_C = -m\omega^2 R \hat{r}$ .

No caso da pseudoforça centrífuga, o seu efeito é sentido para fora da trajetória curvilínea, ou seja, possui o sentido positivo do versor radial  $\hat{r}$ . Como os passageiros são mantidos no interior dos carrinhos da montanha-russa durante a realização de uma curva, o efeito resultante é como se a pseudoforça centrífuga  $\vec{F}_{Cf}$  sentida pelos passageiros fosse equilibrada pela força normal das paredes dos carrinhos sobre eles, que no caso é a própria força centrípeta. Dessa forma podemos escrever  $\vec{F}_{Cf} = m\omega^2 R \hat{r}$ . Lembrando que estamos

apenas falando sobre um efeito, não estamos aplicando a definição de força de Newton para a força centrífuga. Só queremos saber quais os parâmetros que podem influenciar neste efeito.

Substituindo  $\vec{F}_{cf}$  na eq.(1), obtemos o que seria o equivalente da energia potencial da pseudoforça centrífuga  $\varphi_{cf}(R)$  em uma trajetória curvilínea de raio  $R$ . Integrando o raio da trajetória de  $0$  a  $R$  e considerando  $\varphi_{cf}(0) = 0$  obtemos,

$$\varphi_{cf}(R) = \int_0^R \vec{F}_{cf} \cdot d\vec{R}$$

$$\varphi_{cf}(R) = \frac{m\omega^2 R^2}{2}. \quad (\text{A-5})$$

A eq.(A-5) mostra que a energia potencial centrífuga é proporcional ao quadrado da velocidade do carrinho, pois  $\omega^2 R^2 = v^2$ , ou seja, para um raio de curvatura fixo, quanto maior a velocidade do carrinho maior será a energia potencial centrífuga. Isso significa que maior deverá ser a força centrípeta para manter o carrinho na curva, conforme eq.(4), ou seja, será mais difícil manter o carrinho na curva à medida que sua velocidade aumenta. Esse fenômeno é explorado em montanhas-russas que possuem o famoso loop, que ocorre quando o carrinho percorre um círculo no plano vertical. A velocidade limite para o carrinho realizar um loop permite que os passageiros do mesmo fiquem literalmente de cabeça para baixo. Isso ocorre porque a pseudoforça centrífuga atinge grandes intensidades de tal forma que pressiona os passageiros contra o assento mantendo-os em sua posição e impedindo que os mesmos caiam sob o efeito da força gravitacional.

O movimento do carrinho em toda a sua trajetória é causado pela conversão de energia potencial para outra forma de energia, relacionada ao movimento, chamada de energia cinética  $E_c$ . Para obtenção de uma expressão matemática que caracteriza essa energia vamos considerar o carrinho com massa constante  $m$  movendo-se sob a ação de uma força  $\vec{F}$ . Pela segunda lei de Newton temos que:

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad (\text{A-6})$$

em que  $\vec{a}$  é o vetor aceleração do carrinho.

O trabalho  $W$  realizado por esta força, de acordo com a eq.(1), é dado por

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{x} = m \int_1^2 \vec{a} \cdot d\vec{x} = m \int_1^2 \frac{dv}{dt} dx,$$

onde consideramos a velocidade na mesma direção do deslocamento. Sendo a velocidade uma função da posição, ou seja,  $v = v[x(t)]$  podemos escrever a aceleração do carrinho como,

$$a = \frac{dv[x(t)]}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v.$$

Substituindo na expressão para o trabalho obtemos,

$$W_{1 \rightarrow 2} = m \int_1^2 v \frac{dv}{dx} dx = m \int_1^2 v dv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

A expressão dada por  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$  é chamada de energia cinética, de modo que o trabalho de 1 a 2 é igual à variação da energia cinética,

$$W_{1 \rightarrow 2} = \Delta E_c. \quad (\text{A-7})$$

Esse resultado é conhecido como teorema do trabalho energia. A importância desse teorema reside no fato de podermos calcular o trabalho de um sistema sem a necessidade de conhecer a natureza da força que está agindo sobre o mesmo, como no caso da eq.(1). Basta conhecermos a velocidade inicial e final do sistema.

Quando o carrinho é abandonado do repouso, inicia-se imediatamente o movimento do mesmo. A partir desse momento temos a energia potencial gravitacional armazenada durante a subida sendo convertida em energia cinética. Esse momento é ilustrado no sexto quadrinho da HQ.

As equações descritas anteriormente podem ser apresentadas durante as aulas à medida que a HQ for sendo mostrada aos alunos.

Para descrevermos como a energia potencial é convertida em energia cinética durante o movimento do carrinho é conveniente definir também a energia mecânica do sistema utilizando o teorema do trabalho energia. Considerando que a força total aplicada ao carrinho é composta por forças conservativas e não conservativas podemos escrever o trabalho total  $W$  como sendo a soma do trabalho das forças conservativas  $W_C$  mais o trabalho das forças não conservativas  $W_{NC}$ , ou seja,

$$W = W_C + W_{NC} = \Delta E_c. \quad (\text{A-8})$$

Como o trabalho das forças conservativas é igual a menos a variação da energia potencial, temos que:

$$-\Delta E_P + W_{NC} = \Delta E_c \rightarrow W_{NC} = \Delta E_c + \Delta E_P$$

$$W_{NC} = E_C^{(2)} - E_C^{(1)} + E_P^{(2)} - E_P^{(1)} = (E_C^{(2)} + E_P^{(2)}) - (E_C^{(1)} + E_P^{(1)})$$
$$\therefore W_{NC} = \Delta E,$$

em que  $E = E_C + E_P$  é a energia mecânica do sistema. Se o trabalho das forças não conservativas for nulo temos que  $\Delta E = 0$  e, portanto, a energia mecânica do sistema se conserva e toda energia potencial inicial será convertida em energia cinética. Caso contrário, se  $\Delta E \neq 0$ , a energia mecânica não se conserva. Isso é o que ocorre na realidade, pois temos o atrito do ar, dos rolamentos das rodas do carrinho e entre os trilhos e o carrinho, além da produção de som, fazendo com que a energia potencial inicial do carrinho não seja convertida completamente em energia cinética, ou seja, a energia mecânica do sistema não se conserva.

Durante a explicação dessas grandezas o professor pode fazer perguntas para os alunos como: Mas a energia do sistema não tinha que se conservar? Essa pergunta é muito importante para introduzir o princípio de conservação de energia. É interessante ficar claro que o que não está se conservando neste processo é a energia mecânica do sistema. E é por esta razão que a primeira descida do carrinho tem que ter altura maior, para fazer com que o mesmo tenha energia suficiente para realizar todo o percurso do brinquedo com várias curvas e movimentos de sobe e desce. Se tiver uma única subida com a mesma altura do ponto em que o carrinho é abandonado, o mesmo não conseguirá completar o trajeto, pois não terá energia suficiente para isso.

No princípio de conservação de energia é considerada a energia total do sistema. Esta sim é sempre conservada. Se somarmos todas as modalidades de energia observadas durante a descida do carrinho o resultado tem que ser o mesmo do valor da energia potencial gravitacional antes do movimento do carrinho ser iniciado. O tratamento deste princípio é importante para introduzir conceitos de Termodinâmica e suas leis, os quais serão discutidos em maiores detalhes na próxima seção.

### **A.5.2. Introdução à Termodinâmica e suas Aplicações.**

Desde a Antiguidade sabe-se que o calor pode ser usado para vaporizar a água e usar esse vapor para realizar trabalho mecânico. A partir do final do século XVIII, a ideia de transformar calor em trabalho começou a ser cada vez mais explorada com o advento das máquinas térmicas. Ainda hoje, esse princípio é largamente utilizado pelo ser humano em suas atividades, com destaque para os setores de geração de energia e de transportes.

Neste trabalho nós analisamos um barquinho a vapor, um experimento conhecido e comumente utilizado como exemplo de máquina térmica, podendo ser encontrado em: <http://www.manualdomundo.com.br/2012/04/como-fazer-um-barco-a-vapor-barquinho-pop-pop/>.

Este experimento é comumente chamado de barquinho *pop pop* e é muito promissor para auxiliar o professor a fazer com que os alunos entendam o que é uma máquina térmica e o significado de calor e trabalho segundo os princípios da Termodinâmica.

Uma máquina térmica é qualquer dispositivo que transforma calor em trabalho operando ciclicamente. Segundo os princípios da Termodinâmica, tanto as máquinas térmicas a vapor, que operam com o vapor d'água produzido em uma caldeira, quanto às máquinas térmicas de combustão interna que operam devido aos gases gerados pela queima de combustíveis, têm seu funcionamento baseado no aumento da energia interna das substâncias envolvidas e no trabalho realizado.

Assim como o trabalho, o calor é um método ou forma de transferência de energia e depende do caminho ou do processo pelo qual um sistema é movido de um estado de equilíbrio 1 para outro estado de equilíbrio 2. Diferentemente do trabalho, o calor está relacionado com a variação de parâmetros internos do sistema e é um método responsável pela transferência de energia térmica. Portanto, sempre que nós mencionarmos a palavra calor, estamos nos referindo à energia térmica que o sistema adquiriu ou perdeu através desse método.

Com o barquinho *pop pop* podemos discutir tanto a primeira lei quanto a segunda lei da Termodinâmica. Quando fornecemos a um sistema uma certa quantidade de energia através do calor, adquirida de uma fonte térmica, comumente chamada de quantidade de calor  $Q$ , uma parte dessa energia é convertida em outra modalidade através de um corpo de trabalho (corpo onde ocorre a troca de calor), ou seja, trabalho  $W$  é realizado. No caso do barquinho a vapor parte da energia térmica inicial é convertida em energia cinética, fazendo com que o barquinho se movimente na água. Esse movimento se dá pela expulsão do vapor liberado por um duto de escape. A outra parte da energia, não convertida em trabalho, é responsável pela variação da energia interna  $U$  do sistema. Isso significa que, além de ser posto em movimento através do trabalho  $W$ , a carcaça do barquinho esquenta devido à variação de  $U$ .

A primeira lei da Termodinâmica relaciona a variação da energia interna  $\Delta U$  do sistema com a quantidade de calor e trabalho da seguinte forma:

$$U_2 - U_1 = \Delta U = Q - W, \quad (\text{A-9})$$

ou seja, a variação da energia interna do sistema é dada pela quantidade de energia adquirida pelo mesmo através do calor  $Q$ , menos a quantidade de energia que o sistema fornece a vizinhança através do trabalho  $W$ . Se quisermos colocar da forma descrita no parágrafo anterior basta escrever a primeira lei como  $Q = \Delta U + W$ .

Como o barquinho *pop pop* é uma máquina térmica, ele funciona ciclicamente. Isso significa que  $\Delta U = 0$ , pois o estado final do sistema é igual ao estado inicial  $U_2 = U_1$ , uma vez que o ciclo é reiniciado. Pela equação da primeira lei obtemos que  $Q = W$ . Isso implica que todo calor pode ser convertido em trabalho e todo trabalho pode ser convertido em calor. A primeira lei não oferece qualquer restrição sobre a porcentagem de energia que é convertida ou mesmo a direção em que ocorre tal conversão. Isso é feito pela segunda lei da Termodinâmica.

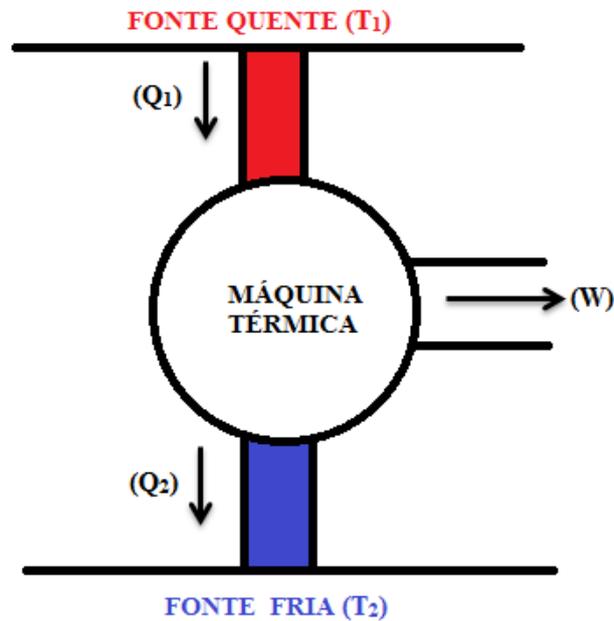
A segunda lei da Termodinâmica nos diz que uma certa quantidade de energia pode ser totalmente convertida em qualquer outra modalidade através do trabalho, ou seja, podemos ter  $W \rightleftharpoons Q$ , com a seta indicando a direção de conversão. Isso pode ser facilmente observado quando atritamos o dedo em alguma superfície convertendo energia mecânica em energia térmica. Por outro lado, a segunda lei nos diz que é impossível converter totalmente calor em trabalho, pois o fluxo de energia através de calor se dá através de um processo irreversível, significando que existem perdas de energia no processo. Portanto, se quisermos obter uma certa quantidade de trabalho é necessário fornecer uma quantidade de calor maior para compensar as perdas no processo de transferência de energia térmica, ou seja,  $Q \rhd W$ . Como consequência disso é impossível concebermos uma máquina térmica com 100% de eficiência.

Para entendermos melhor essa questão da eficiência de uma máquina térmica vamos ver como se dá o seu funcionamento, o qual é ilustrado na figura A.2.1.

A energia fornecida ao sistema através de calor  $Q_1$  se dá por uma fonte térmica, comumente chamada de fonte quente, cuja temperatura é  $T_1$ . Parte dessa energia é utilizada para realização de trabalho  $W$  e parte é dissipada ou descartada pelo sistema através de  $Q_2$ , na fonte fria com temperatura  $T_2 < T_1$ , como ilustrado na figura A.2.1.

O trabalho é dado por  $W = Q_1 - Q_2$ , ou seja, temos  $Q_1 = W + Q_2$  mostrando que devemos ter de fato que  $Q \rhd W$ . Colocando em termos de equações fica bem mais fácil de explicar para os alunos o que significa a compensação que deve ser fornecida ao sistema para realizarmos uma quantidade de trabalho definida.

**Figura A.2.1** – Diagrama esquemático do fluxo de energia de uma máquina térmica, mostrando uma fonte quente à temperatura  $T_1$  fornecendo uma certa quantidade de energia através de calor,  $Q_1$ , da qual parte é convertida em trabalho  $W$  e a outra parte é dissipada pelo sistema através de calor,  $Q_2$ , para a fonte fria à temperatura  $T_2 < T_1$ .



Fonte: Elaborada pelos autores.

O rendimento ou eficiência  $\eta$  da máquina térmica é definido como a quantidade de trabalho útil produzida pela quantidade de energia total fornecida pela fonte quente, ou seja,

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (A - 10)$$

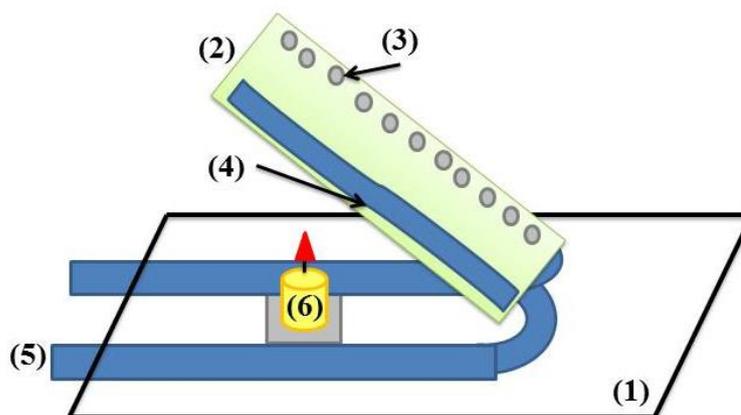
Uma vez que  $\frac{Q_2}{Q_1} < 1$  temos que o rendimento da máquina térmica é sempre menor que 100%, ou seja,  $\eta < 1$ .

Vamos analisar agora o funcionamento do barquinho a vapor montado neste trabalho e verificar se o mesmo pode ser realmente tratado como uma máquina térmica. Na figura A.2.2 apresentamos uma ilustração do barquinho montado com materiais simples e de fácil aquisição. A carcaça do barquinho é construída com uma placa de isopor, sua caldeira é feita com metal obtido de latinhas de refrigerante e os tubos de exaustão produzidos com dois canudinhos. A fonte quente é uma vela, e a fonte fria é a água e a atmosfera que está na vizinhança do barquinho.

O barquinho *pop pop* é movido por um dispositivo muito simples, composto por uma pequena caldeira conectada a dois tubos de exaustão. A caldeira é inicialmente preenchida

com uma pequena porção de água. Quando a vela é acesa e energia térmica é transferida à caldeira através de calor, a água em seu interior evapora produzindo vapor. A expansão do vapor faz com que o mesmo seja expelido da caldeira através dos dois tubos de exaustão. A expulsão do vapor faz com que haja transferência de momento do barquinho para a água e pela terceira lei de Newton, uma reação é produzida, fazendo com que a água transfira momento para o barquinho propelindo o mesmo para frente. A saída de vapor se dá rapidamente provocando pequenas explosões, que é a origem do som *pop pop*.

**Figura A.2.2** – Esquema ilustrativo de montagem do barquinho *pop pop*. O sistema é composto por (1) prancha de isopor, (2) caldeira feita com o metal de latinhas de refrigerante, (3) é o gás formado no interior da caldeira após o aquecimento da água contida na mesma, (4) é a água que penetra no interior da caldeira, (5) são os tubos de exaustão construídos com canudinhos e (6) é a fonte quente do sistema feita com uma vela.

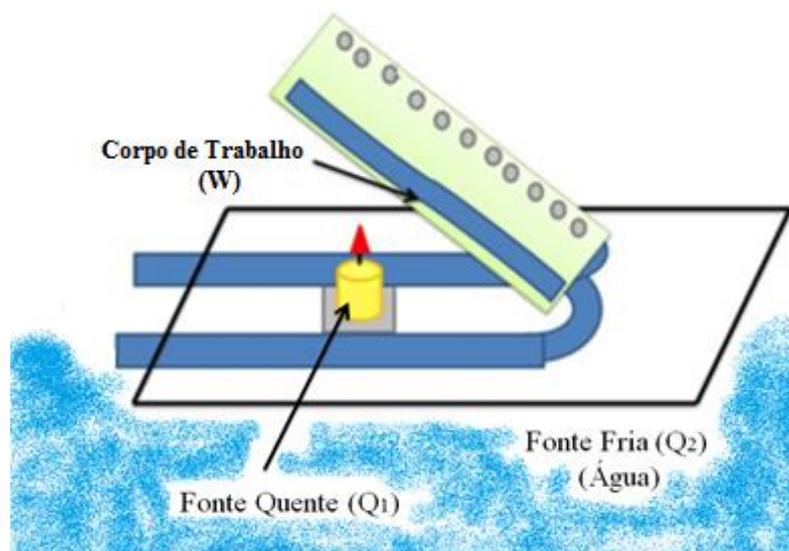


Fonte: Elaborada pelos autores.

Quando o vapor escapa pelos tubos forma-se vácuo na caldeira criando-se uma diferença de pressão entre a parte interna da caldeira e o lado de fora do barquinho, onde temos pressão atmosférica. Essa diferença de pressão faz com que água seja empurrada para dentro da caldeira para a produção de mais vapor fazendo com que o ciclo seja reiniciado. Portanto, a água fica oscilando periodicamente no interior da caldeira devido à geração de vapor, a expulsão do mesmo através dos tubos de exaustão e a diferença de pressão causada pela exaustão. A água é expelida pelos dois tubos do barquinho na primeira fase do ciclo e absorvida na segunda fase. Se a água fosse expelida por um tubo e absorvida pelo outro o barquinho ficaria girando na água e isso não ocorre. O barquinho se move sempre para frente enquanto a vela estiver acesa.

Vemos então que este é um excelente experimento para discussão de máquina térmica, pois é possível identificarmos a fonte quente, dada pela vela, o corpo de trabalho, dado pela caldeira e os tubos de exaustão, e a fonte fria dada pela água e atmosfera na vizinhança do barquinho, veja ilustração na figura A.2.3.

**Figura A.2.3** – Esquema ilustrativo do barquinho *pop pop* representando as partes de uma máquina térmica de acordo com a figura A.2.1.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O funcionamento do barquinho a vapor é apresentado na HQ em uma situação problema, na qual nossos jovens aventureiros constroem um barco a vapor com os materiais disponíveis no local. Neste momento o professor pode explorar os conceitos e a funcionalidade do barquinho utilizando o experimento, o qual possui uma montagem fácil, barata e objetiva para o entendimento e discussão das leis da Termodinâmica.

Durante o funcionamento do barquinho é possível observar as transformações de energia no sistema e o processo de diferença de pressão causada pela exaustão através das ondulações na água, como mostra a foto do experimento na figura A.2.4.

Como já mencionado, na HQ apresentamos uma situação problema que demanda a construção de barco a vapor pelas personagens através do conhecimento das Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica. Toda a discussão relacionada à Física do funcionamento do barco e a aquisição de materiais para sua construção é apresentada nas conversas das personagens nos quadrinhos.

**Figura A.2.4** – Experimento do barquinho a vapor em funcionamento. Note as ondulações na água, causadas pela exaustão da água da caldeira devido à diferença de pressão produzida pelo aquecimento da água na mesma.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### **A.5.3. O Efeito do Espelho no Infinito: Estudando Óptica.**

Na física a óptica é dividida em duas partes: óptica geométrica e óptica física. A diferença entre essas vertentes está no estudo fenomenológico do comportamento da luz.

O físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831-1879) contribuiu de forma excepcional na demonstração da natureza clássica da luz. Através de sua teoria, proveniente de suas famosas equações, as equações de Maxwell, ele uniu eletricidade, magnetismo e óptica e mostrou que a luz é um efeito eletromagnético correspondendo à propagação de ondas elétricas e magnéticas. Nessa nova teoria, a luz seria apenas uma parte do espectro das ondas eletromagnéticas. A teoria de Maxwell era capaz de explicar todos os fenômenos ópticos até então conhecidos. Desde as leis da reflexão, da refração, até os fenômenos da difração e interferência da luz.

Na óptica geométrica consideramos que a luz se propaga através de feixes luminosos em linha reta podendo ser bloqueados ou desviados. Quando ocorre o bloqueio de um feixe luminoso observa-se a projeção de sombras, que são locais em que há ausência de luz. Para que haja o desvio da luz, os obstáculos devem possuir dimensões maiores que seu comprimento de onda. Estes obstáculos são conhecidos como espelhos ou lentes.

Para o estudo da óptica geométrica é necessário compreender três princípios básicos:

- **Princípio da propagação retilínea da luz:** a luz se propaga em linha reta através de um meio que possui as mesmas propriedades físicas.

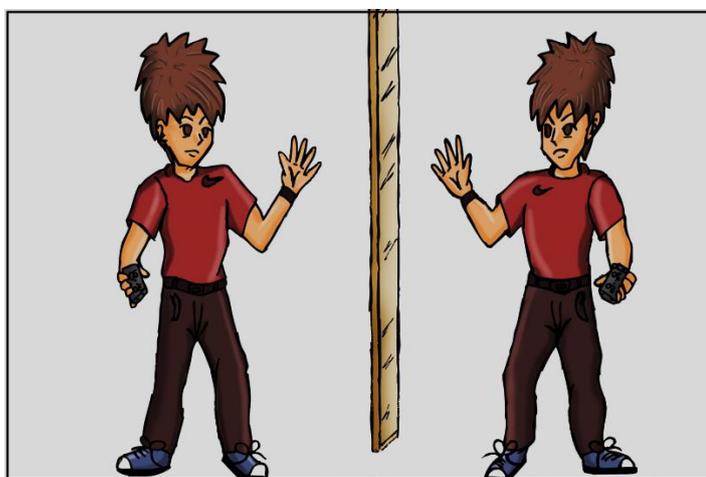
- **Princípio da independência dos raios luminosos:** dois raios ao se cruzarem seguem seus caminhos sem produzir qualquer interferência um no outro.

- **Princípio do caminho inverso:** o caminho de propagação da luz não se modifica quando o sentido de propagação se inverte.

Esses princípios são observados na produção de imagens no interior de um labirinto de espelhos em um parque de diversões, tema que abordamos na HQ, onde a luz entra pelas aberturas das portas de entrada e saída do labirinto ou são produzidas artificialmente.

Como o tema é o labirinto de espelhos nós discutimos sobre a formação de imagens em espelhos planos. Em um espelho plano sua imagem é idêntica ao objeto que está a sua frente, porém de forma simétrica. Isto significa que o espelho forma um plano de simetria entre o objeto e sua imagem, ou seja, todos os pontos do objeto e de sua imagem estão à mesma distância do espelho, veja ilustração na figura A.3.1.

**Figura A.3.1** – Se estendermos a mão direita em frente a um espelho plano observaremos nossa imagem de forma simétrica, com a mão esquerda estendida e vice-versa.

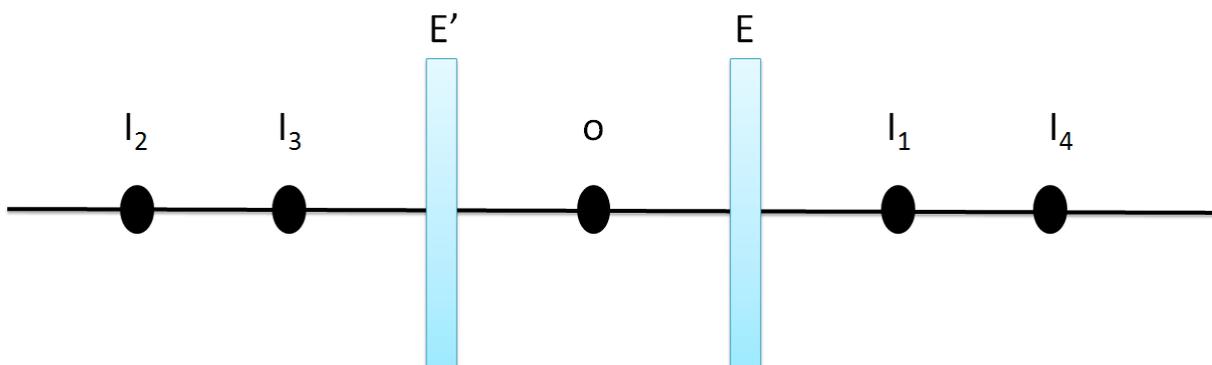


Fonte: Elaborada pelos autores.

A maior dificuldade em encontrar a saída do labirinto de espelhos no parque de diversões é devido à grande quantidade de espelhos em seu interior, dispostos em diferentes direções, com o intuito de confundir os visitantes. Estes diversos espelhos produzem imagens repetitivas criando ilusões de corredores que podem representar uma saída falsa do labirinto. Esse fenômeno é conhecido como efeito do espelho infinito e é produzido quando dois espelhos são colocados um de frente para o outro paralelamente. Para entendermos como isso

ocorre vamos utilizar a imagem apresentada na figura A.3.2 onde temos dois espelhos paralelos um de frente para o outro.

**Figura A.3.2** – A imagem formada do objeto O no espelho E é dada por  $I_1$ . Essa imagem passa a ser um objeto para o espelho  $E'$ , o qual produz a imagem  $I_2$ , a qual será um objeto para o espelho E, e assim por diante. Da mesma forma, a imagem de O em relação ao espelho  $E'$  é o ponto  $I_3$ , o qual será um objeto para E, produzindo a imagem  $I_4$ , e assim por diante. Desse modo, são formadas infinitas imagens.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Esse efeito é observado na foto apresentada na figura A.3.3 onde colocamos um carrinho entre dois espelhos planos dispostos paralelamente um em frente do outro. Note o bonito efeito da imagem do carrinho se repetindo indefinidamente e alternando sua posição, mostrando a parte frontal e traseira do carrinho, por causa dos dois espelhos utilizados.

Podemos analisar e até quantificar esse fenômeno através do caminho óptico da luz, ou seja, a distância que a luz viaja em cada reflexão. Para isso vamos considerar uma pessoa em pé exatamente entre dois espelhos paralelos separados por uma distância  $d$ , ou seja, a pessoa está situada a uma distância  $\frac{d}{2}$  de cada espelho, como mostra a ilustração da figura A.3.4.

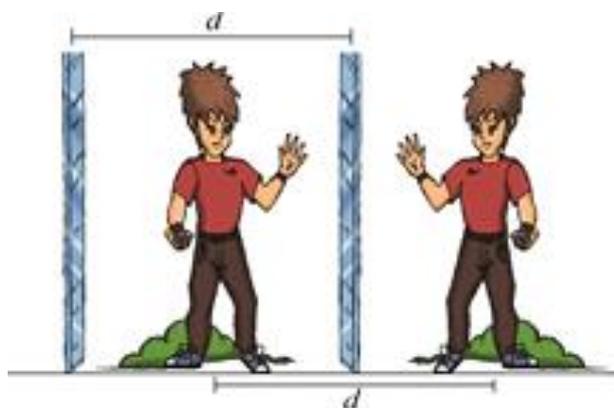
A primeira imagem do observador aparecerá à mesma distância  $\frac{d}{2}$  do espelho que ele está observando, mas atrás deste espelho, ou a uma distância  $d$  do observador. A próxima imagem voltada para o observador será produzida pela reflexão da primeira imagem no espelho situado atrás dele. Como a primeira imagem está situada a  $\frac{d}{2}$  do espelho de referência e os dois espelhos estão separados por uma distância  $d$ , ela estará a uma distância  $\frac{d}{2} + d = 3\frac{d}{2}$  do espelho que está atrás do observador, como ilustrado na figura A.3.5.

**Figura A.3.3** – Efeito do espelho infinito observado colocando-se um objeto entre dois espelhos planos dispostos paralelamente um de frente para o outro.

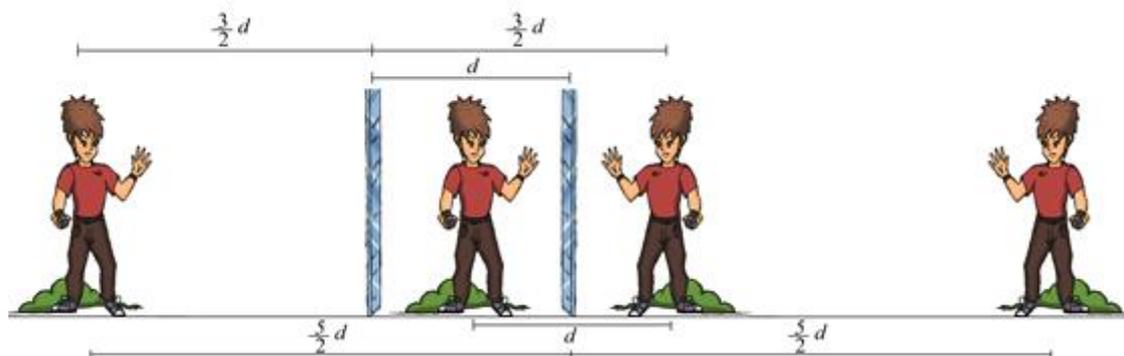


Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura A.3.4** – Imagem representando a situação de uma pessoa entre dois espelhos planos paralelos separados de uma distância  $d$ .



Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura A.3.5** – Sequência de imagens vista pelo observador.

Fonte: Elabora pelos autores.

Por sua vez, esta última estará a uma distância de  $5\frac{d}{2}$  do espelho de referência formando a segunda imagem vista pelo observador. Continuando esse raciocínio é possível mostrar que as imagens formadas em ambos os espelhos obedecem a sequência de múltiplos ímpares de  $\frac{d}{2}$ , ou seja,  $1\frac{d}{2}, 3\frac{d}{2}, 5\frac{d}{2}, 7\frac{d}{2}, \dots, n\frac{d}{2}$ , para  $n$  ímpar crescendo indefinidamente. Esse fenômeno nos quadrinhos que produzimos é ilustrado através da formação de túneis falsos nos espelhos causando um efeito visual de um corredor sem fim.

Com isso podemos concluir que quando um objeto está localizado entre dois espelhos planos paralelos são formadas infinitas imagens decorrentes das reflexões das próprias imagens. Se tivermos apenas os espelhos um de frente para o outro é possível observar o efeito de um corredor infinito na sala de espelhos de um parque de diversões devido à reflexão de um espelho no outro.

É possível quantificar o número de imagens de um objeto formadas quando alguma associação de espelhos é realizada. Dependendo do ângulo  $\theta$  formado entre os dois espelhos planos o número  $n$  de imagens é dado pela seguinte relação:

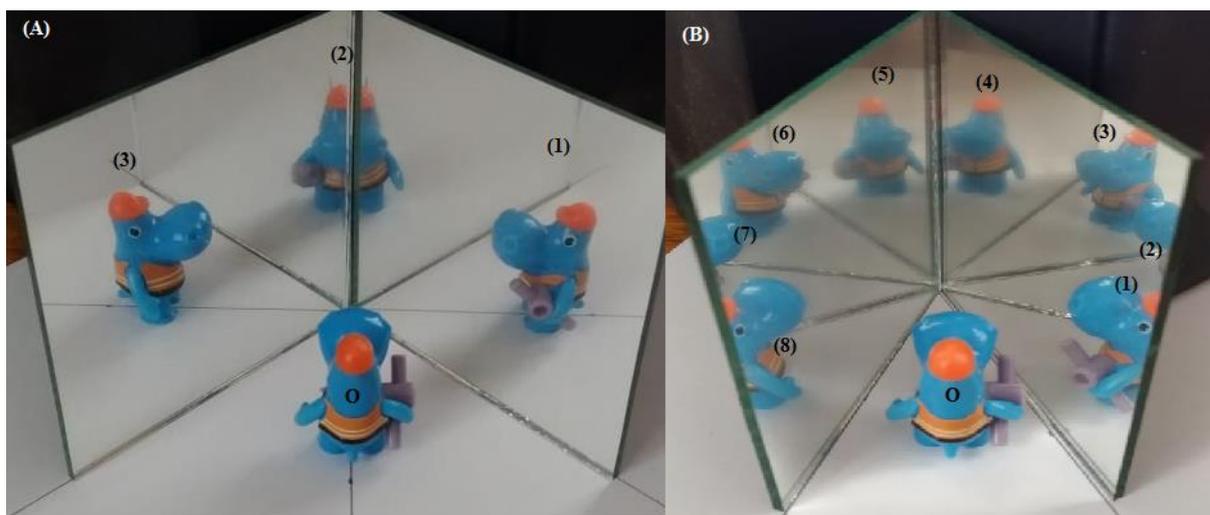
$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - 1 \quad (\text{A-11})$$

Essa expressão é válida quando  $n$  é dado por:

- Um número ímpar, para um objeto que está no plano bissetor de  $\theta$ . O plano bissetor é um plano situado a  $45^\circ$  entre os planos vertical e horizontal. Para termos uma situação como esta, fizemos  $\theta = 90^\circ$  na eq.(A-11) e posicionamos um boneco no plano bissetor, localizado a  $45^\circ$  de cada espelho. Pela eq.(A-11) devemos ter  $n = 3$  imagens formadas. Isso é confirmado na figura A.3.7(A).

- Um número par, para qualquer objeto colocado em qualquer ponto entre dois espelhos. Para verificar isto consideramos o ângulo entre os dois espelhos de  $\theta = 40^\circ$ . Pela eq.(A-11) devemos ter  $n = 8$  imagens, como mostra a figura A.3.7(B);

**Figura A.3.7** – (A) Quando colocamos um objeto a  $45^\circ$  (plano bissetor) de dois espelhos separados por  $90^\circ$  observa-se um número ímpar de imagens formadas,  $n = 3$ . (B) Quando o objeto é colocado entre dois espelhos separados por  $40^\circ$  observa-se a formação de um número par de imagens,  $n = 8$ , comprovando as condições em que a eq.(11) é válida.



Fonte: Elabora pelos autores.

Quando essas duas condições não são satisfeitas, o número de imagens formadas é simplesmente dado por:

$$n = \frac{360^\circ}{\theta} \quad (\text{A-12})$$

Tanto a eq.(A-11) quanto a eq.(A-12) podem ser utilizadas para representar a situação em que temos dois espelhos paralelos, ou seja,  $\theta = 0$ . Como a divisão por zero não existe precisamos realizar uma operação chamada de o limite de uma função para calcular o número de imagens formadas nesta situação. Sendo  $n = n(\theta)$ , uma função de  $\theta$ , podemos tomar a eq.(A-11) e calcular o seguinte limite,

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} n(\theta) = \lim_{\theta \rightarrow 0} \left( \frac{360^\circ}{\theta} - 1 \right)$$

Usando a propriedade de limites,  $\lim_{x \rightarrow a} [f(x) \pm g(x)] = \lim_{x \rightarrow a} f(x) \pm \lim_{x \rightarrow a} g(x)$ , que pode ser encontrada em qualquer livro de cálculo diferencial e integral obtemos:

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{360^\circ}{\theta} - \lim_{\theta \rightarrow 0} 1 = \infty - 1 = \infty \quad (\text{A-13})$$

Este resultado mostra que se  $\theta$  for um número muitíssimo pequeno, o mais próximo de zero possível teremos 360 dividido por este número que é quase zero, mas não é zero. Isso nos fornece um número muitíssimo grande. Isso pode ser melhor entendido se fizermos a operação para  $\theta = 0,1$ , fornecendo o resultado de  $n = 3.599$ . Se considerarmos  $\theta$  cada vez menor, como por exemplo,  $\theta = 0,01$ ;  $0,001$ ;  $0,0001$ , obteremos os respectivos resultados para o número de imagens formadas  $n = 35.999$ ;  $359.999$ ;  $3.599.999$ . Note que quanto menor  $\theta$  maior será  $n$  de modo que quando  $\theta$  tender a zero o número de imagens tenderá a infinito. Como mostrado na eq.(A-13) se subtrairmos 1 de um número muito grande continuaremos com um número muito grande. É importante lembrar que o símbolo infinito  $\infty$  não representa um número e sim um processo de sempre aumentar um número ou grandeza por uma unidade indefinidamente. Uma vez que podemos diminuir  $\theta$  indefinidamente podemos aumentar  $n$  indefinidamente, sendo este processo representado por  $\infty$ .

Decidimos fazer tal análise para mostrar que é sempre possível utilizar algum formalismo matemático para explicarmos e entendermos fenômenos físicos. A matemática é indissociável da física e o seu uso deve sempre ser incentivado de alguma forma quando estivermos ministrando aulas de física.

#### **A.5.4. Pensando no Experimento da Dupla Fenda no Brinquedo de Tiro ao Alvo.**

No decorrer do século XVIII vários pesquisadores se debruçaram sobre o problema de explicar a natureza da luz. Apesar das diferentes concepções existentes a maioria dos estudiosos defendiam a teoria corpuscular da luz devido à óptica newtoniana. Com a descoberta de novos fenômenos como a dupla refração da luz, a teoria corpuscular começa a perder forças, pois esta não era suficiente para fornecer explicações para tais fenômenos. No início do século XIX há o surgimento de obras que fazem com que a teoria ondulatória da luz ganhe mais espaço, como a explicação qualitativa e quantitativa de fenômenos ópticos importantes como os anéis de Newton, a polarização e a difração da luz (OLIVEIRA, MARTINS e SILVA, 2018).

Os trabalhos sobre difração e interferência de Thomas Young e Augustin Fresnel forneceram a base principal para a aceitação de uma nova teoria ondulatória da luz por praticamente todos os estudiosos até as três primeiras décadas do século XIX.

Neste trabalho, nós consideramos o experimento da dupla fenda de duas formas: realizados com partículas macroscópicas, como rolhas ou bolinhas de gude, e depois considerando um feixe de luz coerente como um laser. Estes dois efeitos são tratados em nossa HQ quando nossos personagens estiverem se divertindo no brinquedo de tiro ao alvo, em que eles disparam rolhas com uma espingarda de pressão nos alvos compostos por macaquinhos.

A brincadeira na HQ começa com as personagens tentando dificultar o número de acertos no tiro ao alvo colocando um obstáculo composto por duas fendas estreitas em frente à espingarda que dispara rolhas. As fendas são feitas em uma caixa de pizza. É interessante o professor iniciar a discussão considerando uma das fendas descoberta, digamos a fenda 1, e a outra fenda (2) coberta, para facilitar a explicação de que as rolhas se acumulam em uma região, logo após a fenda que está descoberta. Falamos região porque como as rolhas são disparadas por diferentes pessoas e podem se desviar ao colidir nas fronteiras da fenda, será muito difícil as rolhas se acumularem em um único ponto, por mais estreita que seja as fendas. Esse procedimento nos permite representar o resultado observado pelas nossas personagens através da introdução do conceito de probabilidade, em que teremos a função de distribuição das rolhas  $P_1(x)\Delta x$  que nos fornece a probabilidade de uma rolha que passa pela fenda 1 acertar um macaquinho localizado no intervalo entre  $x$  e  $x + \Delta x$ .

Ao supor que a fenda 1 é coberta e a fenda 2 é descoberta a mesma discussão pode ser conduzida, com as rolhas se acumulando em uma região logo após a fenda dois, permitindo introduzir de forma análoga a função  $P_2(x)$ . Dessa forma, as curvas  $P_1(x)$  e  $P_2(x)$  fornecem a densidade de probabilidade de uma rolha passar pelas fendas 1 e 2, respectivamente, e acertar um macaquinho localizado na posição  $x$ .

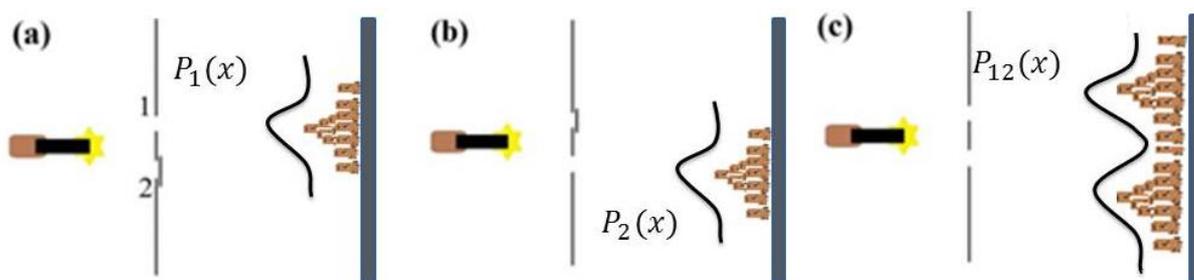
Considerando as duas fendas descobertas e com alguns dos atiradores atirando a esmo em direção à fenda dupla, as outras personagens observariam as rolhas atravessando algumas vezes a fenda 1 e outras vezes a fenda 2, variando entre as possibilidades de maneira aleatória. O resultado é a produção de duas pilhas de rolhas, logo atrás de cada fenda, de uma forma que a curva que descreve tal distribuição de rolhas, dada por  $P_{12}(x)$ , é simplesmente a soma dos resultados quando apenas uma das fendas estava descobertas, ou seja,

$$P_{12}(x) = P_1(x) + P_2(x) \quad (A - 14)$$

Os resultados são ilustrados na figura A.4.1.

Portanto, somente os macaquinhos que estiverem localizados na região dada por  $P_{12}(x)$  serão derrubados.

**Figura A.4.1** – Experimento da dupla fenda realizado com uma espingarda que dispara rolas maciças mostrando em (a) somente a fenda 1 descoberta, em (b) somente a fenda 2 descoberta e em (c) ambas as fendas descobertas. As curvas  $P_1(x)$ ,  $P_2(x)$  e  $P_{12}(x)$  mostram a forma como as rolas estão distribuídas na região logo atrás das fendas para as configurações (a), (b) e (c), respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Se no lugar da espingarda de rolas utilizarmos uma espingarda que dispara um feixe luminoso cuja fonte é um laser, a descrição do experimento será no contexto de ondas e não de partículas. Neste caso as ondas passam pelas fendas e atingem um anteparo onde é possível medir a intensidade das ondas como função da posição ao longo do anteparo. Para que o experimento possa ser contextualizado no parque de diversões as personagens deverão adaptar detectores de luz nos macaquinhos para que os mesmos forneçam alguma resposta quando forem atingidos por alguma intensidade luminosa. Como os fenômenos envolvidos são difração e interferência da luz é interessante o professor discutir o porquê de escolhermos um laser, que é uma fonte de luz coerente, e que a distância entre as fendas tem que ser da ordem do comprimento de onda  $\lambda$  da luz utilizada.

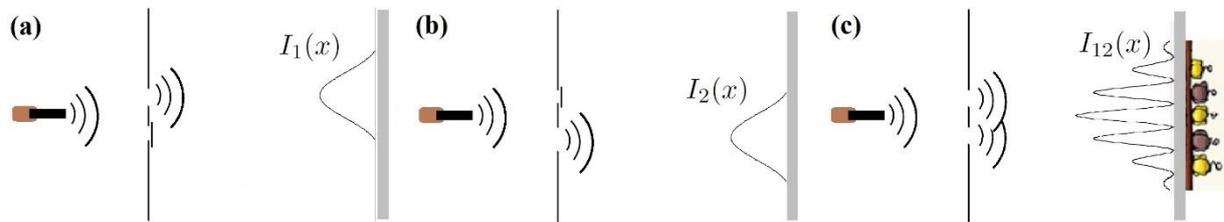
A luz coerente é importante para que haja interferência dos feixes que saem das duas fendas. A diferença de caminho óptico percorrido pelos dois feixes será responsável pela interferência construtiva e destrutiva da luz. Portanto, precisamos de uma fonte luminosa monocromática, mesma frequência, e que tenha uma relação de fase constante entre si, ou seja, uma luz coerente como o laser. A exigência de que a distância entre as fendas tem que ser da ordem de  $\lambda$  é justificada pelo fenômeno de difração, uma vez que esse efeito faz com que as fendas possam ser tratadas como fontes pontuais de luz fazendo com que haja interferência entre os feixes espalhados pela fenda.

Se realizarmos o experimento mantendo uma das fendas cobertas e a outra fechada, a distribuição da intensidade da luz resultante será semelhante ao resultado obtido para o caso

das rolhas, com o pico de intensidade máxima logo atrás da posição da fenda descoberta. Vamos chamar a intensidade proveniente da fenda 1 de  $I_1(x)$ , a qual é dada pelo quadrado da amplitude da onda incidente em  $x$  originada na fenda 1. Neste caso as fendas 1 e 2 são tratadas como fontes luminosas. Para a fenda 2 temos então  $I_2(x)$ . Os dois resultados estão ilustrados na figura A.4.2 (a) e (b).

Com as duas fendas descobertas temos a intensidade resultante dada por  $I_{12}(x)$ , a qual apresenta um comportamento bem diferente com relação ao experimento com rolhas. Esta oscila entre máximos e mínimos de intensidade, formando um padrão de interferência, como mostrado na figura 4.2(c).

**Figura A.4.2** – Realizando o experimento da dupla fenda com um feixe luminoso observa-se as curvas (a)  $I_1(x)$  e (b)  $I_2(x)$ , as quais fornecem as intensidades das ondas passando pelas fendas 1 e 2, respectivamente, quando somente uma das fendas está descoberta. Em (c) observamos o padrão usual de interferência da fenda dupla com a intensidade resultante  $I_{12}(x)$  apresentando um comportamento oscilatório devido ao fenômeno de interferência construtiva e destrutiva dos feixes provenientes das fendas 1 e 2.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Pela teoria de interferência de ondas é possível demonstrar que,

$$I_{12}(x) = I_1(x) + I_2(x) + 2\sqrt{I_1(x)I_2(x)} \cos(\delta), \quad (A - 15)$$

em que  $\delta = \frac{2\pi d \sin(\theta)}{\lambda}$  é a diferença de fase entre as ondas provenientes das duas fendas chegando ao ponto  $x$  do anteparo a um ângulo  $\theta$  com a direção de propagação das ondas, dada por uma linha horizontal que passa entre as duas fendas na figura A.4.2. Para observarmos o padrão de interferência a diferença de caminho óptico dos dois feixes luminosos, dada por  $d \sin(\theta)$ , precisa ser um múltiplo inteiro do comprimento de onda  $n\lambda$  para interferência construtiva (faixas claras) e um múltiplo ímpar de meio comprimento de onda  $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$  para interferência destrutiva (faixas escuras), para  $n = 0, 1, 2, \dots$ , de modo que tenhamos  $\cos(\delta)$  igual a 1 e -1, respectivamente, na eq.(A-15).

É interessante salientar que o detector no anteparo não registra a chegada de acumulados ou “bolas” de energia das ondas. A intensidade de energia pode ter qualquer valor ao longo do anteparo.

Na nossa HQ as personagens discutem sobre as possibilidades de terem mais ou menos acertos utilizando os dois procedimentos descritos acima, com partículas e ondas. Pelos quadrinhos fica evidente que o experimento com a espingarda laser aumentaria a probabilidade de mais macaquinhos serem acertados, uma vez que os fenômenos de difração e interferência permitem que regiões mais afastadas da linha de tiro da espingarda, limitada pela dupla fenda, possam ter alguma intensidade luminosa.

# Apêndice B

## QUESTIONÁRIO

---

---

Questionário sobre a aula com História em Quadrinhos

Série: \_\_\_\_\_ Sexo: M( ) F( )

- 1) Qual a sua relação com Histórias em Quadrinhos, você tem o hábito de ler este tipo de gênero?

---

---

---

---

- 2) As Histórias em Quadrinhos podem auxiliar na aprendizagem?

Sim ( )

Não ( )

Se sim, de que forma?

---

---

---

- 3) O que chamou sua atenção durante a leitura dinâmica dos quadrinhos realizada pelos alunos?

---

---

---

---

4) Você conseguiu compreender o conteúdo de Física apresentado?

Sim ( )

Não ( )

Se sim, descreva com suas palavras os fenômenos e conceitos assimilados por você e se não, discuta os principais fatores que dificultaram no entendimento do assunto abordado.

---

---

---

5) Qual foi o fator principal para a compreensão da Física neste tipo de aula?

---

---

---

---

6) Você já imaginou aprender conceitos físicos apresentados em uma História em Quadrinhos? Por quê?

Sim ( )

Não ( )

---

---

7) Você gostaria de mais aulas utilizando essa metodologia? Por quê?

Sim ( )

Não ( )

---

---

---