



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**INSTITUTO DE FÍSICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL  
EM ENSINO DE FÍSICA**

**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE CARTUNS COMO FERRAMENTAS  
AUXILIARES NO ENSINO DE CONCEITOS DE MECÂNICA  
QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO**

**RENDISLEY ARISTÓTELES DOS SANTOS PAIVA**

**BRASÍLIA**

**2015**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL**  
**EM ENSINO DE FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE CARTUNS COMO FERRAMENTAS**  
**AUXILIARES NO ENSINO DE CONCEITOS DE MECÂNICA**  
**QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO**

**RENDISLEY ARISTÓTELES DOS SANTOS PAIVA**

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim a ser apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física – Área de Concentração “Física na Educação Básica” pelo Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília.

**BRASÍLIA**  
**2015**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

RENDISLEY ARISTÓTELES DOS SANTOS PAIVA

### **A IMPORTÂNCIA DO USO DE CARTUNS COMO FERRAMENTAS AUXILIARES NO ENSINO DE CONCEITOS DE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física – Área de Concentração “Física na Educação Básica” pelo Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília.

Aprovada em

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim  
(Presidente)

---

Prof. Dr. Ademir Eugênio de Santana  
(Membro interno vinculado ao programa – IF UnB)

---

Prof. Dr. Washington Barbosa da Silva  
(Membro externo não vinculado ao programa – Instituto Federal de Goiás)

---

Prof. Dr. Caio Mota Polito  
(Membro externo não vinculado ao programa – Colégio Militar de Brasília)

## FICHA CATALOGRÁFICA

PAIVA, Rendisley Aristóteles dos Santos.

Física – A importância do uso de cartuns como ferramentas auxiliares no ensino de conceitos de mecânica quântica no ensino médio / UnB, Brasília, 2015.

88 P.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Instituto de Física/Química.

Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

1. Educação em Ciências. 2. Ciências – Estudo e Ensino. 3. Interdisciplinaridade. 4. Química e Física. 5. História e História da Ciência. 6. Ensino de Ciências – Pesquisa – Universidade de Brasília.

Dedico este trabalho à minha namorada Naya, que sempre esteve presente, contribuindo e sendo compreensiva em minhas longas horas de trabalho. Agradeço, também, à minha família, meus amigos e meus pais, que sempre me apoiaram. Meu pai contribuindo com críticas construtivas e minha mãe apoiando com elogios. Não poderia deixar de citar o meu orientador Ronni, que teve uma participação decisiva para a realização e conclusão desse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

À Capes pelo suporte financeiro.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela idealização do MNPEF.

Ao Instituto de Física da UnB.

A todos os meus professores que me apoiaram, desde séries iniciais até a minha graduação e pós-graduação.

À existência do universo, pois o mesmo é fonte inspiradora para a busca de nossa existência.

Aos meus professores de física que me inspiraram a tentar me comunicar com a natureza através das equações.

Aos meus alunos do ensino médio que são fontes inspiradoras para que eu continue buscando mais conhecimento na minha prática de sala de aula como professor de física.

Às estrelas do céu, pois através do brilho, sinto que somos parte delas.

Aos professores que, com críticas construtivas, me deram a oportunidade de crescer como ser humano.

Às pessoas que ajudam as outras sem nada em troca.

Às pequenas coisas da vida que nos levam a ver o mundo de uma maneira mais humana.

À existência do universo quântico.

À beleza do universo em sua assimetria.

À existência da física em minha vida.

À existência do medo, pois o mesmo me faz acreditar que os sonhos podem ser tornar uma grande realização pessoal.

À alegria da vida.

À vontade de viver.

Às amizades sinceras.

À beleza da natureza.

Às pessoas que tem sentimento de bondade perante àquelas que mais precisam.

A Deus, pelo discernimento que deu ao homem para descrever a beleza da natureza através de equações magníficas.

À loucura que existe em minha alma.

Aos dias, pois me fazem renascer como se fosse o recomeço de uma nova vida.

À existência da palavra sabedoria, pois a mesma é uma das maiores fontes do conhecimento.

*“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”.*

*(Albert Einstein)*

*“A persistência é o menor caminho do êxito”.*

*(Charles Chaplin)*

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*

*(Madre Teresa de Calcutá)*

*“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas”.*

*(Carl Sagan)*

*“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.*

*(Leonardo da Vinci)*



## RESUMO

SANTOS, Rendisley Aristóteles. **A importância do uso de cartuns como ferramentas auxiliares no ensino de conceitos de mecânica quântica no ensino médio.** 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília – Brasília/DF, 2015.

Neste trabalho apresentamos nossos resultados a acerca do uso de cartuns no aprendizado de conceitos de Mecânica Quântica no ensino médio. Os cartuns utilizados foram de autoria própria e o conjunto de cartuns constituiu uma revistinha de quadrinhos intitulada “Eletron no mundo quântico”. As histórias contidas nos cartuns narram as aventuras e descobertas de um garoto num mundo onde se realça as regras da Mecânica Quântica. Os cartuns devem ser utilizados como complementos às aulas tradicionais, levando os estudantes a estabelecerem analogias entre as histórias e os fenômenos de natureza quântica. Os resultados qualitativos e quantitativos mostraram um significativo impacto no aprendizado destes conceitos quando comparados com o método tradicional de ensino em sala de aula.

**Palavras-chaves:** História em quadrinhos, Cartuns, Aprendizagem significativa.

## **ABSTRACT**

SANTOS, Rendisley Aristoteles. **The importance of the use of cartoons as auxiliary tool in teaching quantum mechanics concepts in high school.** 2015. 88 f. Dissertation (Master) - University of Brasilia - Brasilia / DF, 2015.

In this work we show our results of research about concepts of Quantum Mechanics applied in high school by means of cartoons. The cartoons used were made by ourselves and the cartoons set constituted a comic entitled "Eletron in the quantum world". The stories contained in cartoons narrates the adventures and discoveries of a boy in a world where are applied Quantum Mechanics rules. The cartoons should be used as supplements to traditional classes, where students establish analogies between the stories and the phenomena of quantum nature. The results qualitative and quantitative showed that the use of cartoons has a significant impact on learning these concepts compared with traditional methods applied in classroom.

**Keywords:** Cartoons, Quantum Mechanics, Learning, high school

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esboço do personagem Fóton-X.....	19
Figura 2: História em quadrinhos do Fóton-X .....	20
Figura 3: Mapa Conceitual .....	25
Figura 4: (a) Representação de onda na superfície da água; (b) representação de quebra de onda. ....	27
Figura 5: Representação de frente de onda: (a) produzidas por uma fonte; (b) forma senoidal.....	27
Figura 6: Natureza ondulatória do elétron .....	43
Figura 7: (desenvolvida pelo autor): cartum referente à questão 2.6 .....	46
Figura 8: (desenvolvida pelo autor): cartum referente à questão 2.8. ....	49
Figura 9: (desenvolvida pelo autor): cartum referente a questão 2.10. ....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentual de acertos às questões antes das aulas.....	37
Gráfico 2: Percentual de acertos às questões após as aulas.....	38
Gráfico 3: Comparação dos rendimentos das turmas “A” e “B” após as aulas.....	39
Gráfico 4: Comparação dos rendimentos das turmas “C” e “D” após as aulas .....	40
Gráfico 5: Percentual de acertos da questão 2.1. ....	42
Gráfico 6: Percentual de acertos da questão 2.2 .....	44
Gráfico 7: Percentual de acertos da questão 2.6 antes e após as aulas.....	45
Gráfico 8: Percentual de acertos da questão 2.8 antes e após as aulas.....	47
Gráfico 9: Percentual de acertos da questão 2.10 antes e após as aulas.....	50
Gráfico 10: percentual de acertos da questão 2.12 antes e depois das aulas .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual de acertos da turma A .....	41
Tabela 2: Percentual de acertos da turma B .....	41
Tabela 3: Percentual de acertos da turma C .....	41
Tabela 4: Percentual de acertos da turma D .....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 HISTÓRIA EM QUADRINHOS: UM AUXÍLIO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS .</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Aprendizagem Significativa .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Teoria de Johnson Laird .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 O Uso Cartuns Como Elemento Problematizador na Aprendizagem .....</b>	<b>28</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Um Resumo das Aulas .....</b>	<b>34</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>86</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Ao analisarmos as aulas de Física nas escolas de ensino médio, percebemos que conteúdos relacionados à Física Moderna são insuficientemente explorados ou, até mesmo, totalmente negligenciados (TERRAZZAN, 1992). Esse ostracismo dos conteúdos de Física Moderna em nossa educação básica torna o ensino de Física defasado em relação aos correspondentes objetos e procedimentos tecnológicos vivenciados pela sociedade contemporânea. De outra forma, estamos no século XXI e a Física que é predominantemente abordada nas escolas de educação básica se situa no século XIX! Embora haja essa escassez de escolas de ensino médio que de fato abordem assuntos relacionados à Física Moderna em seus currículos, podemos constatar que nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias estão inclusos alguns aspectos da chamada Física Moderna (PCNEM, 1999), os quais são indispensáveis para que os estudantes venham a adquirir uma compreensão mais ampla sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes/novos materiais (como por exemplo, cristais líquidos e lasers presentes nos equipamentos tecnológicos), bem como com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. Pesquisas revelam que esse abismo entre o que deve ser ensinado e o que realmente se ensina acerca dos temas de Física Moderna pode possuir diversas causas, dentre as quais podemos elencar algumas: má formação dos docentes; escassez de tempo para se cumprir todos os tópicos curriculares e falta de bons materiais didáticos que versem sobre o assunto.

Sabemos que a Mecânica Quântica é uma das áreas mais bem sucedida da Ciência, basta para isso notar que os resultados experimentais têm correspondido muito bem com as expectativas teóricas. Em decorrência desse sucesso, a Mecânica Quântica aplicada foi protagonista em grande parte dos avanços tecnológicos que surgiram a partir do século XX. Um exemplo de sua aplicação foi o desenvolvimento do transistor, o qual possibilitou o espetacular avanço da informática. Embora a maior parte da sociedade não saiba, não seria exagero afirmar que a Mecânica Quântica está bem próxima do dia-a-dia das pessoas, manifestando-se indiretamente em forma de aparatos tecnológicos como celulares,

computadores, portas automáticas, dentre outras tecnologias. Nesse contexto, percebemos a importância da inserção de conteúdos de mecânica quântica no currículo do ensino médio, de forma a aproximar os conteúdos tratados em sala de aula aos fundamentos teóricos que estão na base da produção tecnológica e do conhecimento científico.

Dentre muitas propostas de se introduzir Física Quântica no ensino médio, destacam-se os trabalhos pioneiros de Zanetic (1999), por meio dos quais é sugerida a introdução de fenômenos quânticos numa perspectiva tanto histórica, quanto filosófico-científica. Outra proposta interessante foi apresentada por Moreira (2001), porém seu enfoque tem como fundamento uma abordagem fenomenológica-conceitual, tomando como suporte a discussão dos conceitos físicos fundamentais. Nessa mesma linha, o presente trabalho apresenta uma proposta de transposição didática endereçada ao tratamento de alguns conceitos-chaves e abordagem fenomênica de Mecânica Quântica. Esses conceitos são trabalhados por meio de cartuns (ou histórias em quadrinhos – HQs) e textos auxiliares, de forma a levar ao aluno uma discussão de Física Quântica de forma alternativa e prazerosa, esperando que ele melhore sua compreensão de fenômenos da natureza que não sejam comuns na sua vida cotidiana, tomando como ponto de partida os seus conhecimentos previamente adquiridos, como defende Paulo Freire. Para Vergueiro (2004), a inclusão dos cartuns na sala de aula aumenta a motivação dos alunos para os conteúdos da aula, aguçando sua curiosidade e desafiando seu senso crítico; possibilitando ao estudante ampliar seu leque de conhecimento sobre o conteúdo estudado.

A utilização de HQs no ensino de ciências não é uma novidade. Pode-se destacar, dentre outros trabalhos que sugerem o uso de quadrinhos nas aulas de Ciências, a título de exemplo, a proposta feita por Linsingen (2007): o uso pedagógico de mangás no ensino de Ciências, sob a ótica da ciência e tecnologia. Nessa linha de “produtos” pedagógicos alternativos como recursos midiáticos, relembremos as palavras de Moreira (2012), segundo o qual existem duas condições fundamentais para que a aprendizagem significativa ocorra: a primeira está relacionada ao material didático apresentado pelo professor aos estudantes, e a segunda está relacionada ao interesse dos estudantes em aprender. No que concerne ao material didático apresentado pelo professor, realça-se a potencialidade do uso das HQs no processo ensino-aprendizagem, que devido a uma linguagem



lúdica, acessível e divertida, torna-se um recurso que desperta o interesse dos estudantes (RAMOS, 2009). Ainda nessa linha, de acordo com Braz e Fernandes (2009), as histórias em quadrinhos podem ser utilizadas no ensino de Física com diferentes objetivos: é possível abordar desde a correção de distorções conceituais, criação de situações-problema, desenvolvimento de perspectivas críticas da ciência até a promoção de processos criativos.

Sendo assim, o presente trabalho traz os resultados de uma pesquisa aplicada em escolas de ensino médio, na qual os conceitos de Mecânica Quântica foram trabalhados mediante o uso de HQs via cartuns. É importante salientar que nessa estratégia de ensino abordada nas salas de aula, esses cartuns foram utilizados como material de apoio, sendo indispensável a utilização de outra estratégia de ensino (aula tradicional, debate, etc.). Acrescentamos também, que os cartuns atuaram didaticamente como ferramentas adequadas para o estabelecimento de analogias entre os fenômenos quânticos e as situações cotidianas. Este trabalho teve por objetivo verificar o ganho aprendizagem de alunos do ensino médio sobre o tema Mecânica Quântica a partir da leitura de uma revista de história em quadrinhos intitulada: Elétron no mundo quântico, desenvolvida pelos pesquisadores deste estudo. Finalmente, a apresentação desta dissertação está organizada com a seguinte estrutura: no capítulo 2 apresentamos o referencial teórico; no capítulo 3 oferecemos a metodologia utilizada; no capítulo 4 destacamos os resultados obtidos e no capítulo 5 apresentamos as considerações finais e perspectivas.

## 2 HISTÓRIA EM QUADRINHOS: UM AUXÍLIO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Conforme já destacado na introdução, pesquisas na área de educação apontam que as aulas de Física são ministradas de maneira predominantemente expositivas em sala de aula, ou seja, o ensino tradicional, enfatizando a Matemática e o uso excessivo de fórmulas, o que ocasiona um rápido desinteresse pelo aprendizado de Física (ALBRECHT; VOELZKE, 2009). Dessa forma, diversas estratégias para tornar as aulas de Física mais prazerosas, interessantes e motivadores estão sendo tomadas, dentre as quais destaca-se o uso de histórias em quadrinhos.

Diante deste quadro, a utilização de novas estratégias no ensino de ciências (atividades experimentais, vídeos, músicas, entre outros) vem se tornando um dos meios de se contornar a situação citada anteriormente, surgindo a questão: por que não utilizar a história em quadrinhos como estratégia no ensino de Física? Ou do ponto de vista mais restrito: por que não utilizar o quadrinho como meio de instigar o aluno a compreender um fenômeno físico? (TESTONI, 2010, p.2)

A história em quadrinhos tem o potencial de unir duas linguagens: a verbal e a não verbal. Isso faz com que ela se configure como uma grande ferramenta auxiliadora no ensino de determinados conteúdos, devido ao seu grande potencial criativo e comunicativo. A imagem nos quadrinhos realiza um importante papel na interpretação da linguagem, facilitando o conhecimento dentro de um determinado contexto social (VERGUEIRO; SANTOS, 2006).

Uma imagem possui uma forma de comunicação diretamente relacionada com a língua, porém, diferenciado dos elementos de leitura. Quando se trata de números, essa diferenciação fica evidente, pois na língua esses são finitos, enquanto que na imagem, podem ocorrer sem limites. Neiva Júnior afirma ainda que as imagens, tanto quanto as palavras, precisam ser entendidas com um significado que vai extrapolar a ideia do visual (JÚNIOR, 1986).

Os quadrinhos, que já são utilizados no ensino de diversas disciplinas, vêm sendo usados também no ensino de ciências, não só como auxílio no ensino de determinados conteúdos, mas também como instrumentos de divulgação científica. Na literatura especializada há inúmeros trabalhos que atestam a eficácia do uso de

histórias em quadrinhos como facilitador no processo ensino-aprendizagem. Nesse contexto, Vergueiro destaca que a utilização desse recurso educacional valoriza o conteúdo ensinado (VERGUEIRO; SANTOS, 2006). E em Kamel (2006) vemos que algumas histórias em quadrinhos fomentam grandes discussões de determinados temas na área de ciências, citando a importância desse material como instrumento de estímulo a aprendizagem, mesmo que tais materiais apresentem erros conceituais menores.

Considerando agora pesquisadores internacionais, os quais utilizam essa ferramenta no processo ensino-aprendizagem de ciências, podemos destacar os trabalhos de Worner e Romero (1998). Esses propuseram a criação de um curso intitulado “Física y Humor”, onde fizeram caricaturas de Sidney Harris como personagem em suas histórias em quadrinho. Outro destaque internacional é o trabalho conduzido por Vílchez-Gonzales e Peralos-Palácios (2006), buscando aproximar a ciência da sociedade mediante o uso de episódios de desenhos animados e histórias em quadrinho.

No Brasil, existem diversos representantes na área do uso de quadrinhos no ensino de ciências. Assim, de forma oportuna, Testoni utiliza uma história em quadrinhos intitulada “*Um corpo que cai*” de sua própria autoria para ministrar aulas em turmas de primeiro ano do ensino médio e nono ano do ensino fundamental (TESTONI, 2004). Com isso, Testoni evidencia a vantagem do uso de histórias em quadrinhos, sugerindo também que o professor tem a liberdade de criar seu próprio gibi de acordo com a necessidade de lecionar determinado conteúdo. Ele destaca ainda a empolgação dos estudantes, demonstrando o poder motivacional do uso desse gênero literário e a importância da mediação do professor no projeto abordado.

Testoni destaca ainda que além do caráter popular das histórias em quadrinhos, a sua utilização no ensino de Física apoia-se no fato de que, do ponto de vista pedagógico, esta apresenta uma série de fatores coerentes com seu uso didático: a ludicidade, os fatores psicolinguísticos e seu aspecto cognitivo (TESTONI, 2004)

Outro projeto relacionado ao uso de histórias em quadrinhos no ensino de ciências diz respeito aos “mangás”, gênero este anteriormente mencionado. De acordo com as ideias de Linsingen (2007), existe uma potencialidade desse gênero linguístico e visual, que acaba despertando nos alunos o interesse por temas

científicos, que até então pareciam distantes da realidade de muitos. Em seus devaneios sobre o uso de “mangá” no ensino de ciências, Linsingen acrescenta ainda: “há uma evidente falta de pesquisas e informações sobre seu uso em ensino de Ciências, embora haja um crescente interesse sobre o uso de HQs com essa finalidade, ainda que os pesquisadores estejam mais interessados em desenvolver uma história já pronta do que utilizar aquela presente no cotidiano dos estudantes”. O uso de quadrinhos também é bastante utilizado para introduzir aulas de ciências nas séries iniciais. Gonçalves e Machado (2005), em um dos seus artigos, traz a análise de 261 revistas da “Turma da Mônica”, de Maurício de Souza, para a discussão de diversos conceitos científicos. O pesquisador aponta alguns erros conceituais nas histórias, mas, ainda assim, tais materiais não perdem seu brilhantismo como instrumento de fomentação de discussões nas aulas de ciências. Sendo assim, o papel do professor é fundamental no sentido de vir a ser um bom mediador nas discussões que o material aborda sobre temas científicos. Se levarmos em consideração somente o uso pedagógico como critério, teríamos uma grande produção de gibis no universo acadêmico em diversas áreas do ensino, mas quando a aplicação dos gibis é particularmente na área de ensino em Ciências, ainda temos pouca aplicação no Brasil.

Outro exemplo importante que ilustra o uso de histórias em quadrinhos no letramento em Ciências consta no trabalho de Luz e Oliveira, no qual os autores propõem uma maneira lúdica de alertar a população para os efeitos da radiação através de tirinhas em quadrinhos e cartilhas. No referido trabalho, pequenas histórias sobre um personagem denominado Fóton-X é utilizada para descrever os fenômenos relacionados a radiologia, conforme podemos ver na Figura 1.



**Figura 1: Esboço do personagem Fóton-X**  
Fonte: [www.conter.gov.br](http://www.conter.gov.br).

Os autores deste trabalho destacam que apesar da larga utilização de fontes de raios-X para radiodiagnósticos, a população desconhece os efeitos da interação da radiação com o organismo humano. Sendo assim, foram elaboradas algumas histórias em quadrinhos e cartilhas para chamar a atenção do público para esta problemática. A Figura 2 mostra uma dessas histórias. A ilustração mostra que a exposição à radiação causa danos biológicos nos seres vivos e esclarece a necessidade de estabelecer meios de proteção aos que trabalham com radiação e a população em geral.



**Figura 2: História em quadrinhos do Fóton-X**  
 Fonte: [www.conter.gov.br](http://www.conter.gov.br).

O objetivo do material proposto era alcançar o público em geral (técnicos, médicos, pacientes, etc.) do Setor de Radiologia, a fim de contribuir na formação de uma consciência crítica que resultem na construção de hábitos que poderão inibir a exposição desnecessária. O material trazia esclarecimentos necessários quanto aos procedimentos radiológicos de radioproteção durante o exame. Ele visava também dar uma visão geral da Física que envolve a Radiologia, explicando o que são os raios – X, onde eles são utilizados, como são produzidos, os cuidados que devem ser tomados, etc. Com isso, percebemos que as histórias em quadrinhos são relevantes não somente no contexto da sala de aula, mas no letramento científico de forma geral.

Nesse bojo, o uso de histórias em quadrinhos, mais especificamente do gênero cartuns, vem ao encontro de algumas necessidades educacionais; a fim de motivar os estudantes para a leitura e o aprendizado da Física, despertando o interesse, seduzindo sua imaginação e ampliando o horizonte de conhecimentos do aluno. Os cartuns estimulam a criatividade e a imaginação e, fundamentalmente,

despertam o interesse pela leitura e escrita, contribuindo para a produção de textos, além de deixar clara a importância da Física nas questões cotidianas. As palavras e as imagens juntas, tornam o processo ensino-aprendizagem mais eficiente, pois a interligação do texto com a imagem, existente nos cartuns, amplia a compreensão de conceitos de uma forma que qualquer um desses meios, separadamente, teria dificuldade em atingir.

Tendo em vista a escolha do objeto aqui tratado (História em Quadrinhos), é interessante discorrer brevemente sobre duas vertentes teóricas que julgamos adequadas na fundamentação do uso de cartuns como recurso didático midiático.

## **2.1 Aprendizagem Significativa**

Primeiramente trataremos de alguns elementos centrais na teoria da aprendizagem de Ausubel (1982). Segundo Ausubel é fundamental que se observe os seguintes preceitos para que haja uma aprendizagem significativa:

- a) a existência de um material potencialmente significativo;
- b) um material que facilite o entendimento de significados;
- c) uma estrutura cognitiva adequada que permita a adequação de conhecimento prévio;
- d) existência de interesse do aluno;
- e) um professor motivado no momento de ensinar.

De acordo com Ausubel, para que um processo de aprendizagem tenha eficácia, é preciso que o aluno promova em sua estrutura cognitiva um processo de aquisição e organização de significados no seu sistema cognitivo, vemos assim uma proposta do que ele chama de “teoria de assimilação”. A assimilação ocorre quando o conceito potencialmente significativo é colocado num contexto mais amplo e mais inclusivo, de forma mais aprofundada do que existe na sua estrutura cognitiva, ampliando assim a extensão ou qualificação do seu conhecimento.

Segundo Ausubel (1982), a aprendizagem significativa pode ser de três tipos: a aprendizagem representacional, a aprendizagem conceitual e a aprendizagem proposicional.

A aprendizagem representacional refere-se ao significado das palavras e símbolos unitários, ou seja, é basicamente uma associação simbólica primária. Este tipo de aprendizagem constitui o tipo básico de aprendizagem da espécie humana, pois baseia-se na atribuição de significados a símbolos, sendo tais símbolos convencionais, os quais permitem ao indivíduo conhecer e organizar o mundo exterior e interior. Na concepção de Ausubel, este tipo de aprendizagem é a que mais se assemelha à aprendizagem mecânica.

A aprendizagem conceitual é um tipo complexo de aprendizagem representacional. Os conceitos representam unidades genéricas ou ideias categóricas e são representados por símbolos particulares. Assim, os conceitos representam regularidades em eventos, situações ou propriedades e possuem atributos essenciais comuns que são designados por algum signo ou símbolo. Como exemplo de aprendizagem conceitual, podemos citar o aprendizado de uma palavra.

A aprendizagem proposicional é o inverso da representacional. Ela se refere aos significados expressos por grupos de palavras combinadas em proposições ou sentenças. Nesse panorama, a meta é aprender o significado que está além da soma dos significados das palavras e dos conceitos que compõem a proposição. Sendo assim, na aprendizagem proposicional é necessário o conhecimento prévio dos conceitos e símbolos.

Permeando o cerne da aprendizagem significativa, Moreira (1996) defende que o professor tem que levar em conta quatro procedimentos fundamentais para a aprendizagem significativa:

a) identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, isto é, identificar os conceitos e princípios unificadores e inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras, de modo a organizá-los hierarquicamente para que, progressivamente, abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos;

b) identificar quais são as subsunções (conceitos; proposições; ideias claras, precisas e estáveis) relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que se deseja que o aluno tenha previamente em sua estrutura cognitiva para poder aprender significativamente novos conteúdos;

c) diagnosticar aquilo que o aluno já sabe determinar, dentre os subsunçores especificamente relevantes (previamente identificados ao “mapear” e organizar a matéria de ensino), quais os que já configuram na estrutura cognitiva do aluno;

d) ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual do conteúdo de uma maneira significativa. A tarefa do professor aqui é a de auxiliar o aluno a assimilar a estrutura do conteúdo e organizar sua própria estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, por meio da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis.

Sintetizando essas ideias, podemos dizer que a aprendizagem significativa é um processo a partir do qual uma nova informação interage com as informações já existentes na estrutura de conhecimento do aluno, ou seja, com sua estrutura cognitiva específica e individual, previamente adquirida, conhecida como “subsunçor”, facilitando a aprendizagem subsequente (MOREIRA e MASINI, 1982). Dessa forma, essa aprendizagem ocorre quando a nova ideia relaciona-se e assimila-se com conceitos importantes disponíveis na estrutura cognitiva do estudante. É necessário, no processo de ensino, que o aprendizado faça algum sentido para o aluno, e que alicerce em seus conceitos relevantes preexistentes. A assimilação facilita a aquisição e retenção do conhecimento. Os conceitos mais amplos e bem estabelecidos na estrutura do indivíduo alicerçam as novas informações e permitem sua diferenciação, estabilidade e retenção.

Ainda no que concerne a aprendizagem significativa, o trabalho de Albrecht e Volze (2009) apontou que o uso de histórias em quadrinhos em sala de aula estimulou a vontade de aprender do educando, por ser diferente do comum, encontrando em suas histórias indícios de aprendizagem significativa. Outro trabalho desenvolvido nesse segmento foi o de Testoni e Abib (2005), o qual também apontou aspectos positivos para o uso dessas histórias em sala de aula, observando evolução na compreensão de conceitos estudados. Assim, tendo em vista as ideias apresentadas por esses pesquisadores, percebemos que o uso dos HQs como um material auxiliar, de certa maneira, reúne muitas das ideias de Ausubel e Moreira. Mais precisamente, podemos apresentar as histórias em quadrinhos não apenas como supostos exemplos de materiais potencialmente significativos, mas também como recursos que ajudam a viabilizar a aquisição da estrutura organizacional da matéria.



## 2.2 Teoria de Johnson Laird

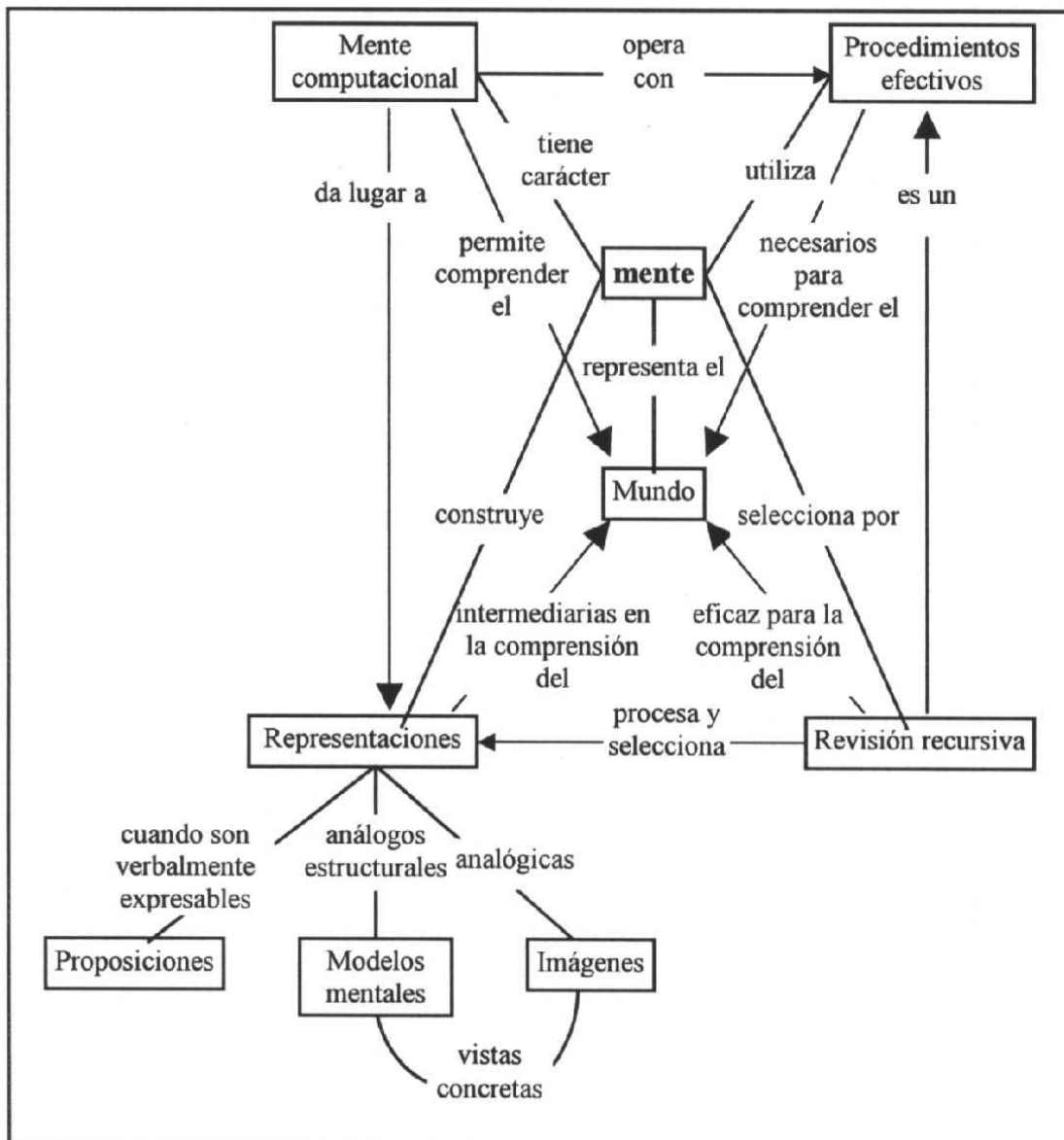
A Teoria de Johnson Laird divide as representações mentais em analógicas ou proposicionais (Johnson Laird, 1983). A representação analógica emerge como resultado de processo não individual, baseado em imagens visuais e auditivas, ou seja, pelos sentidos. A representação proposicional se comporta de forma autônoma, sendo definida de forma combinada e abstrata e pode admitir regras de combinação e abstração de vários aspectos, que estão ligadas à cadeia de vários símbolos, correspondentes a uma linguagem espontânea. As representações podem diferir em sua estrutura ou até mesmo no seu nível funcional.

Segundo Johnson Laird (1983),

modelos mentais representam algo da realidade de forma analógica, que são interpretadas como qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representa uma aparência do mundo exterior e interior, ou seja, de nosso pensamento que são importantes para o desenvolvimento da estrutura cognitiva humana, sendo que o nosso entendimento do mundo não ocorre de forma direta, mas sim das representações que são construídas na mente humana no decorrer de nossa vida. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (i.e. internas).

As imagens são produtos, tanto da percepção como da imaginação, representam como algumas coisas são vistas a partir do ponto de vista particular do observador (UTGES, 1999).

A percepção é muito importante para a elaboração dos modelos mentais (representações analógicas), mas pode ser formada através de uma construção linguística (discurso direto) ou fruto de nossa imaginação. A sua estrutura é formada através do mundo observado pelo indivíduo e do seu conhecimento prévio, para que o sistema cognitivo mantenha-se livre de contradições, visando não prejudicar a memória de trabalho (UTGES, 1999). A Figura 3 ilustra o mapa conceitual referente a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird.



**Figura 3 – Mapa Conceitual**

**Fonte: Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird.**

Segundo Moreira (2002), os modelos mentais apresentam as seguintes características: (1) são incompletos; (2) a habilidade das pessoas para executá-los é limitada; (3) são estáveis; (4) não tem fronteira bem definida; (5) não são científicos, refletindo as superstições e crenças do indivíduo sobre o sistema físico; (6) são parcimoniosos. Diferente dos modelos mentais, os modelos conceituais criados por investigadores e professores são representações externas criadas com o objetivo de construir modelos para facilitar a compressão de fenômenos, sendo essas representações muitas vezes muito precisas, completas com o conhecimento

científico compartilhados com uma determinada comunidade. Essas representações podem ser representadas por fórmulas matemáticas e analogias. São representações simplificadas de objetos, fenômenos e situações reais JOHNSON LAIRD (1983).

Na interpretação de um fenômeno da natureza, devemos identificar suas causas para podermos descrever suas conseqüências e prever seus efeitos, dessa maneira construímos um modelo mental do fenômeno e interagirmos com ele.

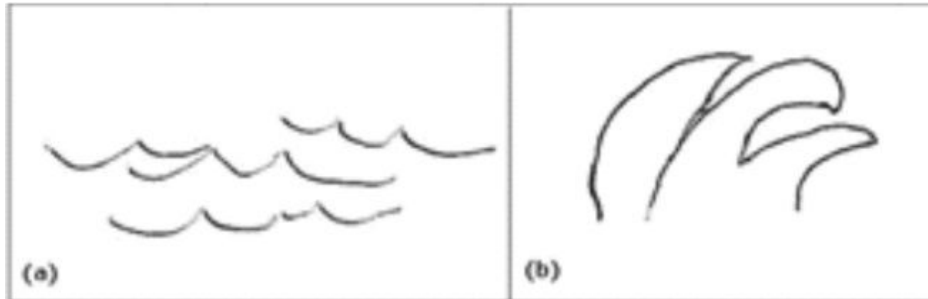
Na maioria das vezes, ensinamos nas escolas modelos conceituais, sendo que a aprendizagem significativa tem que passar pela construção de modelos mentais que dará significado ao modelo conceitual, que lhe foi ensinado.

Quando se passa um determinado conhecimento, supõe-se que os alunos vão criar modelos mentais que são correspondentes aos conceituais apresentados pelos professores, mas, na maioria das vezes, os estudantes se prendem a modelos conceituais que estão bem definidos na sua estrutura cognitiva, atrapalhando a construção de novos modelos mentais que, não correspondem aos modelos conceituais apresentados. Sendo assim, muitas vezes esses modelos são bastante distantes dos defendidos pelos cientistas (MOREIRA, 1996).

Um trabalho que ilustra a concepção dos modelos mentais foi proposto por Utges (1999), o qual realizou um estudo sobre o uso de modelos e analogias utilizadas por adolescentes na compreensão de ondas, levando em consideração como são contempladas as relações espaço e tempo e a causalidade. Dessa forma, os pesquisadores tentaram identificar e investigar as ocorrências de modelos mentais mediante as representações construídas pelos estudantes. O questionário usado na pesquisa englobou várias perguntas, as quais seguem: (1) Você já viu uma onda? Se você viu, dê alguns exemplos; (2) Você já sentiu uma onda? Se você sentiu, dê alguns exemplos; (3) Você já ouviu uma onda? Se você ouviu, dê alguns exemplos; (4) Desenhe e identifique as ondas que você conhece; (5) Como se forma ou se produz uma onda?; (6) Depois de produzida a onda, o que acontece com a onda?; (7) O que é uma onda?.

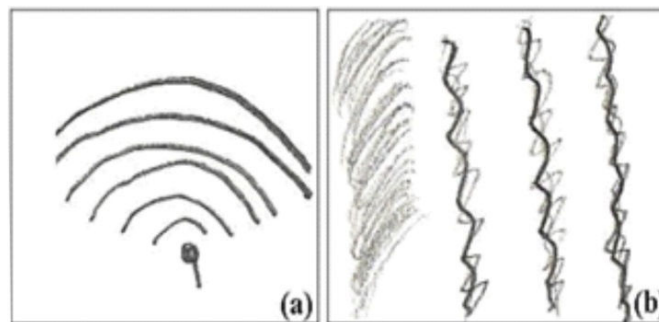
O mais interessante desse trabalho, foi a análise das imagens construídas pelos estudantes, as quais versaram sobre o conhecimento prévio e sobre a compreensão de ondas. Das 19 imagens presentes no estudo, podemos destacar a Figura 4, onde foram apresentadas representações de ondas na superfície da água

e da quebra de ondas, e também a Figura 5, na qual foi apresentada a ideia de frente de onda.



**Figura 4: (a) Representação de onda na superfície da água;  
(b) representação de quebra de onda.**

**Fonte: Revista Electrónica de Enseñanza de la Ciencias. vol. 12, Nº 3, 440-457 (2013).**



**Figura 5 – Representação de frente de onda: (a) produzidas por uma fonte;  
(b) forma senoidal.**

**Fonte: Revista Electrónica de Enseñanza de la Ciencias Vol. 12, Nº 3, 440-457 (2013).**

Através das imagens desenhadas pelos seus alunos, Utges identificou os modelos mentais que seus alunos possuíam sobre o comportamento das ondas, os quais estão diretamente ligados com sua vivência. Dessa maneira foram identificadas as dificuldades manifestadas pelos alunos quando pediram para fazer os desenhos a respeito do conceito de ondas.

Para a comunicação de ideias científicas, a imagem destaca-se como um instrumento estratégico, pois além da visualização, que contribui para integridade de diversos textos científicos, as imagens também atuam com um papel importante para que um indivíduo adquira habilidade científica para a conceituação de determinados fenômenos científicos.

Nesse escopo, destacamos que o uso das histórias em quadrinhos no ensino de Ciências pode ser visto como um simulacro de um modelo mental que corresponde ao modelo conceitual apresentado pelo professor.

### 2.3 O Uso Cartuns Como Elemento Problematizador na Aprendizagem

Apresentamos nessa seção algumas ideias sobre o papel da problematização no processo ensino-aprendizagem. A discussão dessas ideias almeja sustentar o uso de cartuns e histórias em quadrinhos como elementos problematizadores no ensino de física. O tema problematização no ensino possui muitos sentidos, sendo o mais usual centrado na resolução de problemas e exercícios propostos. Contudo, o nosso debate será mais geral, pois será apoiado nos pressupostos de Paulo Freire e Bachelard.

Em sua pedagogia, Paulo Freire (1987) defende uma educação não bancária, que busca um indivíduo consciente que se compromete com a própria realidade, que supõe a humanização e a autonomia; uma educação problematizadora. Essas ideias de Paulo Freire contrastam com o modelo adotado até os dias atuais na maioria das escolas brasileiras, o qual é baseado na transmissão do conhecimento e da experiência do professor, atribuindo importância suprema ao conteúdo da matéria, sem preocupar-se com o aluno como pessoa integral e como membro de uma comunidade. Ao último modelo, Freire define como educação bancária (FREIRE, 1977). Nesse bojo, Freire argumenta que o educador deve renunciar de uma metodologia bancária e adotar outra proposta, na qual o sujeito seja ativo na construção do conhecimento.

Segundo Freire (1997, p.54), “na verdade nenhum pensador, como nenhum cientista, elaborou seu pensamento ou sintetizou seu saber científico sem ter sido problematizado, desafiado.” Desse ponto emerge o conceito de problematizar. Para Freire, a ação de problematizar acontece a partir da realidade que cerca o sujeito; a busca de explicação e solução visa a transformar aquela realidade, pela ação do próprio sujeito, a sua *práxis*. O sujeito, por sua vez também se transforma na ação de problematizar e passa a detectar novos problemas na sua realidade e assim sucessivamente. Ainda segundo Freire (1980), a problematização faz-se por meio do diálogo e o ponto de partida para que ela aconteça é a análise crítica e reflexiva que os sujeitos cognoscentes exercem sobre uma dimensão significativa da realidade concreta, apresentada a eles como um problema para o qual podem construir respostas. Sintetizando, problematizar é, a partir da realidade concreta do sujeito, criar o conflito cognitivo que o leve a recorrer a seu referencial, identificar o

que precisa ser mudado nesta realidade e, com base num referencial científico, buscar os conhecimentos necessários para, primeiro, compreendê-la, e posteriormente intervir na realidade.

Uma concepção sobre problematização distinta de Freire é proposta por Bachelard (1996), na qual a problematização é um pressuposto indispensável na construção do conhecimento científico. O espírito científico pode construir respostas para as suas perguntas na medida em que é problematizado. A elaboração dessa resposta insere um sujeito em um processo de pesquisa no qual ele percorre um longo caminho para construir o conhecimento científico que requer a ruptura com os conhecimentos primeiros, resultantes das interações cotidianas do sujeito com a sua realidade concreta. Bachelard (1996) afirma ainda que o conhecimento científico não é dado, é construído pelo esforço do espírito científico em problematizar a realidade e investigar seus aspectos desconhecidos. “Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído” (p. 18).

Embora sejam concepções diferenciadas da ideia de problematização, as concepções de Freire e Bachelard apresentam pontos em comum, dentre os quais, podemos citar que ambas partem da noção que o diálogo entre os indivíduos é o elemento motor do aprendizado. Conforme percebemos nas palavras de Portela (2014):

Logo, a problematização em Bachelard e em Freire convergem para a ação dialógica entre os indivíduos como o elemento impulsionador do ato de conhecimento, contudo, diferenciam-se na abrangência e em relação aos objetos do problema, ou seja, em relação aos elementos que geram o diálogo. Para Freire, os pressupostos para o diálogo são as injustiças presentes, as relações de poder que se estabelecem nas relações dos homens entre si e nas relações com o mundo, enquanto, para Bachelard, são os desafios inerentes à aquisição do conhecimento científico. Entretanto, os objetivos e habilidades emancipatórias estão presentes nas duas, uma vez que na sociedade fortemente dominada pelo conhecimento científico, não tem sentido falar em consciência, liberdade, autodirecionamento, simplesmente, baseando-se em conhecimentos de senso comum. Precisamos entender o papel exercido pela ciência e a técnica nos rumos da sociedade se quisermos nos entender dentro desse processo, seja para qualificar nossos questionamentos ou para tomarmos decisões mais conscientes. (p. 72)

E ainda, corroborando com as ideias de Freire e Bachelard, aparecem, num contexto mais específico, as palavras de Carvalho et al. (1995):

É preciso que sejam realizadas diferentes atividades, que devem estar acompanhadas de situações problematizadoras, questionadoras de diálogo, envolvendo a resolução de problemas e levando à introdução de conceitos para que os alunos possam construir seu conhecimento. (CARVALLHO et al., 1995)

Tendo em vista o exposto nos parágrafos anteriores, percebemos que o professor tem a importante atribuição de problematizar o conhecimento e garantir a manutenção do diálogo para aproximar os alunos do objeto do conhecimento. Assim sendo, acreditamos que o uso de cartuns e histórias em quadrinhos podem contribuir com a problematização de assuntos relacionados à Física e assim suscitar um diálogo propício ao desenvolvimento do conhecimento científico.

No próximo capítulo apresentaremos nos procedimentos metodológicos que nos conduziram desde a fase de planejamento da pesquisa, elaboração dos cartuns, até a catalogação e interpretação dos dados.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia desta pesquisa é “qualiquantitativa”, porque possibilita a obtenção de dados numéricos, neste caso, relacionados ao conhecimento prévio dos alunos (o que propicia a captação de motivação e ideias não explicitadas, ou até inconscientes de maneira espontânea) sobre a Mecânica Quântica e o conhecimento assimilado após a exposição do material midiático.

Nessa pesquisa, a abordagem qualitativa foi realizada para verificar a aprendizagem dos alunos sobre Mecânica Quântica a partir de uma história em quadrinhos intitulada “Eletron no mundo quântico”. Esta pesquisa foi utilizada também para verificar como se dá a percepção dos conceitos diluídos em histórias em quadrinhos pelos alunos.

A pesquisa foi realizada em duas escolas (pública e privada) de ensino médio localizadas na região administrativa do Gama/Distrito Federal. Cabe acrescentar que a escola da rede pública pertence à Secretaria de Estado e Educação do Distrito Federal. Em cada uma das escolas, duas turmas de terceiro ano foram pesquisadas. A escolha das escolas foi responsabilidade do autor deste trabalho, uma vez que são escolas nas quais o próprio autor leciona a disciplina de Física.

A metodologia da pesquisa foi conduzida, basicamente, por meio das seguintes etapas:

- 1) Nesta primeira etapa da pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os seguintes temas: propostas de ensino de Física Quântica no ensino médio; o uso de Histórias em Quadrinhos como recurso didático no ensino-aprendizagem de ciências; e as teorias de Ausubel e Johnson Laird. O objetivo dessa revisão foi estabelecer o estado da arte do nosso objeto de pesquisa, o qual foi o ponto de partida para a escolha da maneira mais efetiva de tecer contribuições.
- 2) Foram elaboradas curtas histórias em quadrinhos (gênero cartuns) e textos auxiliares. Essas histórias abordam alguns conceitos de mecânica quântica, tais como o princípio da incerteza, a quantização da energia, a superposição de estados, o efeito túnel e o princípio da exclusão de Pauli. Nos textos auxiliares, os conceitos apresentados nas “tirinhas” foram



detalhados e colocados de uma forma mais rigorosa. Após a elaboração das histórias e dos textos, foi confeccionada uma revista em quadrinhos, que serviu de material de apoio no processo ensino-aprendizagem. A referida revistinha encontra-se no Apêndice C. Cabe enfatizar que a revista em quadrinhos produzida é o produto didático que resultou do mestrado.

- 3) Foi elaborado um questionário constituído de 12 questões. Em seguida, foi realizado um teste-piloto de forma a garantir a eficácia do questionário (em anexo – Apêndice A) como técnica de coleta de dados.
- 4) Na sequência elaboramos um roteiro de entrevista (em anexo – Apêndice D), de forma a abordar aspectos motivacionais na coleta de dados.
- 5) Reservamos essa etapa à aplicação das aulas. Optamos por um delineamento baseado em turmas controle. Definimos a escola particular como escola “X” e a escola pública como escola “Y”. Denominamos por turma “A” e turma “B”, as turmas pertencentes à escola “X” e por turma “C” e “D” as turmas pertencentes à escola “Y”. Antes do início da aplicação das aulas, foi fornecido o questionário a todos os estudantes, de forma a mensurarmos os seus conhecimentos prévios acerca dos conceitos de mecânica quântica. Foram ministradas 9 (nove) horas aulas em cada turma. As turmas “A” e “D” foram escolhidas para serem as turmas controle, ou seja, nessas turmas as aulas ministradas foram tradicionais e sem o uso do recurso didático (a revista em quadrinhos). Finalmente, nas turmas “B” e “C”, além dos recursos utilizados nas aulas das turmas “A” e “D”, também foi usado a revista em quadrinhos. Para isso, foi entregue uma revista para cada aluno. O material básico utilizado para as aulas em todas as turmas encontra-se no Apêndice B, o qual consiste em apresentações que foram projetadas mediante o uso de um datashow.
- 6) Nesta penúltima etapa, reaplicamos o questionário e selecionamos aleatoriamente 5 (cinco) estudantes das turmas “B” e “C” (onde foram utilizados os cartuns) afim de realizarmos a entrevista semiestruturada
- 7) Por fim, foram realizadas: a leitura, a catalogação e a análise dos dados. Para esse fim, utilizamos procedimentos próprios da estatística descritiva e inferencial, de forma a tabularmos os dados e testarmos hipóteses formuladas. Os resultados foram analisados qualitativamente e

quantitativamente. Inicialmente, comparamos a turma “A” com a turma “B” e a turma “C” com a turma “D”. Em seguida, fizemos a comparação por pares de turmas, no caso, o par “A” e “D” com o par “B” e “C”. O teste de hipóteses foi realizado admitindo como hipótese nula que as aulas com e sem o uso da revistinha trariam os mesmos resultados nas respostas aos questionários, enquanto que na hipótese alternativa foi admitido que os estudantes que usaram os quadrinhos alcançariam uma melhor performance nas respostas. Os resultados obtidos constam no próximo capítulo.

É de grande valia ressaltar que a técnica da entrevista, utilizada neste trabalho, é um instrumento muito valioso para o pesquisador que pretende obter dados que não podem ser encontrados em registros e fontes documentais. Nesse bojo, destacamos itens como a motivação e a satisfação dos estudantes na utilização de um novo material didático. Nesse contexto, Ribeiro (2008, p.141) trata a entrevista como:

A técnica mais pertinente quando o pesquisador quer obter informações a respeito do seu objeto, que permitam conhecer sobre atitudes, sentimentos e valores subjacentes ao comportamento, o que significa que se pode ir além das descrições das ações, incorporando novas fontes para a interpretação dos resultados pelos próprios entrevistadores.

Neste trabalho, utilizamos uma entrevista, a qual se desenvolve a partir de uma relação fixa de perguntas, cuja ordem e redação permanecem invariáveis para todos os entrevistados que geralmente, são em grande número. Por possibilitar o tratamento quantitativo dos dados, este tipo de entrevista torna-se o mais adequado para o desenvolvimento de levantamentos sociais. Algumas das principais vantagens em se utilizar a entrevista, estão na sua rapidez e no fato de não exigirem exaustiva preparação dos pesquisadores, o que implica em custos relativamente baixos. Outra vantagem é possibilitar a análise estatística dos dados, já que as respostas obtidas são padronizadas. É interessante frisar aqui que isto, em contrapartida, ocasiona uma impossibilidade de análise dos dados com uma maior profundidade. Enfatizamos que foram utilizados dois questionários (Apêndices A e D), cada qual com o seu objetivo. Os resultados da aplicação de ambos questionários seguem no próximo capítulo.

É importante relatar que o delineamento aplicado nesta pesquisa foi quase-experimental, no sentido em que os grupos nos quais o estudo foi realizado constituem coletivos reunidos naturalmente; as turmas já estavam compostas. Este delineamento é denominado “grupo de controle não equivalente”, pois o grupo de controle e o grupo experimental não possuem equivalência amostral, justamente porque não foi usada a aleatoriedade na escolha das amostras (MOREIRA, 2011). Embora a técnica de teste de hipóteses não seja aconselhável neste tipo de delineamento, optamos por realizá-la, porque, apesar das turmas não terem sido formadas aleatoriamente pelo percussor dessa pesquisa, elas foram formadas previamente de forma aleatória. Outro ponto que corrobora com a aplicação do teste de hipóteses no modal de delineamento utilizado é a aplicação de uma entrevista semiestruturada, na tentativa de coletar informações adicionais e confirmar alguns resultados do âmbito quantitativo. Contudo, apesar da ênfase qualitativa supracitada neste parágrafo, a aplicação da nova metodologia proposta com o uso dos gibis, assim como toda a pesquisa, foi conduzida pelo professor titular das turmas. Dessa forma, aspectos motivacionais podem tornar a pesquisa com algum viés. Por exemplo, o relacionamento discente-docente pré-existente poderia influenciar o estudante no processo de resposta ao questionário. Nesse ponto, é recomendado que, caso essa pesquisa seja reaplicada, contornar esses possíveis vieses. A seção a seguir traz um breve resumo das aulas ministradas.

### **3.1 Um Resumo das Aulas**

Nesta seção, esboçamos um breve resumo da metodologia das aulas aplicadas às turmas experimentais. Conforme mencionamos na seção anterior, em cada uma das turmas, “A”, “B”, “C” e “D”, foram ministradas nove aulas, cada uma com quarenta e cinco minutos de duração. Para esse fim foram necessárias cinco semanas. As turmas expostas às atividades com o gibi (turmas “B” e “C”) denominamos grupo experimental e as turmas submetidas somente ao modo tradicional de ensino, com quadro-negro, giz e datashow, de grupo controle (turmas “A” e “D”). Os grupos são formados por duas turmas cada e ambos tiveram as aulas ministradas pelo mesmo professor (o autor desta dissertação).

No primeiro encontro (primeira aula - primeira semana), foi aplicado um pré-teste no intuito de identificar o conhecimento prévio dos estudantes com respeito aos conceitos de mecânica quântica que seriam trabalhados ao longo do mês em que foi realizada a pesquisa. Os conceitos abordados foram: quantização da energia, dualidade onda-partícula, penetração de barreira de energia, superposição de estados, princípio da incerteza e princípio da exclusão de Pauli. Todas as quatro turmas (os dois grupos: experimental e controle) responderam ao mesmo questionário, o qual consta no Apêndice A deste trabalho. Os estudantes demoraram, em média 28 minutos para responder ao questionário. Após todos eles terem terminado de responder, foi-lhes dito que o conteúdo contemplado no pré-teste seria trabalhado no decorrer do bimestre. Para as turmas “B” e “C” (grupo experimental), foi ainda citado que utilizariam um gibi e hipertextos, na expectativa que tais materiais facilitassem a aprendizagem dos conteúdos.

A metodologia descrita a seguir foi aplicada ao grupo experimental. Nesse grupo, no início de cada aula a problematização era originada a partir da leitura de algum cartum. Após esse momento, os estudantes eram estimulados a buscar e propor explicações para a situação mostrada. Em seguida, o conteúdo era então apresentado e eles percebiam que a situação do cartum era uma analogia com algum fenômeno da física quântica.

No segundo encontro (segunda e terceira aula - segunda semana), logo no início da aula foi entregue a cada aluno um exemplar da revista em quadrinho constante no Apêndice C desta dissertação. Quando os alunos receberam o gibi, uma motivação a mais foi perceptível. A seguir, foi solicitado a eles que realizassem a leitura do cartum sobre quantização da energia (quantum shop). Após a visualização do cartum surgiu a problematização sobre a situação nele exposta. Todos queriam descobrir o porquê daquela história. Então, foi-lhes falado que o cartum era uma analogia com um novo fenômeno que eles estudariam. Com isso, a aula continuou normalmente com a exposição do conteúdo da radiação do corpo negro e das ideias de quantização de energia proposta por Plank. A aula expositiva foi baseada no material disposto no Apêndice B.

No terceiro encontro (quarta e quinta aula – terceira semana), a discussão inicial ocorreu em torno dos cartuns que tratavam da superposição de estados e do princípio da incerteza. Novamente, os cartuns suscitaram uma problematização prematura, a qual seria explicada com a utilização do material disposto no Apêndice

B. Outra vez percebemos que a ideia da problematização por meio dos cartuns motiva os estudantes a procurarem respostas para aquelas situações.

No quarto encontro (sexta e sétima aula – quarta semana), os cartuns referentes a dualidade onda-partícula e ao efeito túnel foram debatidos. Posteriormente, foram apresentadas as ideias formalizadas na apresentação do Apêndice B. No fim deste encontro foi disponibilizada uma lista de exercícios para os alunos resolverem em extraclasse.

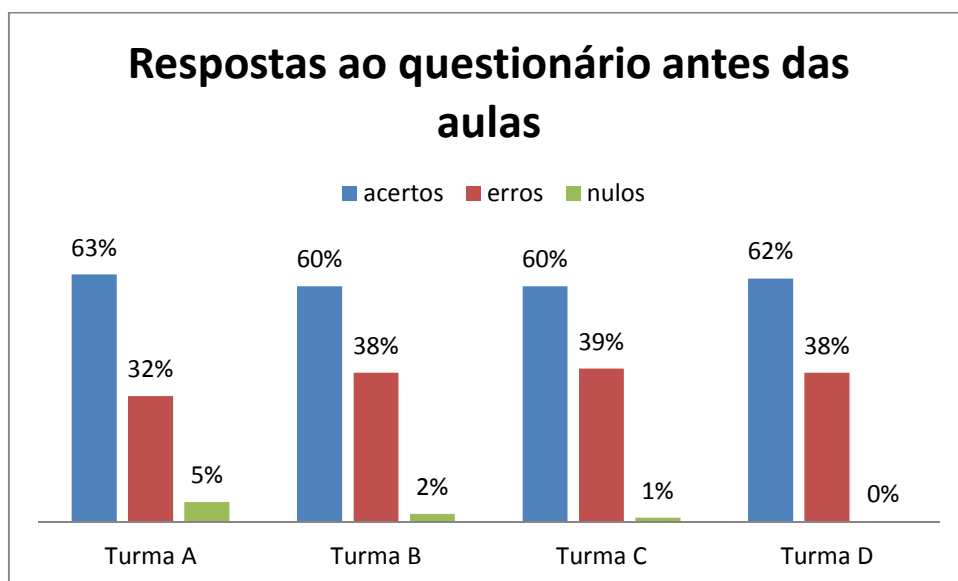
No quinto e último encontro (oitava e nona aula - quinta semana), o cartum do princípio da exclusão de Pauli (o ônibus com elétrons) foi debatido. Após a problematização, a aula foi ministrada com a utilização do material disposto no apêndice B. Em seguida, a lista de exercícios foi resolvida. Os últimos 40 minutos desse encontro foram disponibilizados para que os estudantes pudessem responder o pós-teste, disponível no apêndice A. Antes do preenchimento do questionário, foi solicitado aos estudantes que as suas respostas fossem francas com o intuito que a avaliação do aproveitamento e da adequação desse instrumento fosse o mais fiel possível. Dez estudantes do grupo experimental (turmas “B” e “C”) foram aleatoriamente escolhidos para responderem o questionário de opinião disposto no apêndice D.

Ressaltamos que tanto o grupo experimental, quanto o controle tiveram acesso aos mesmos conteúdos. O material disposto no apêndice B foi utilizado em ambos os grupos e a lista de exercícios também foi comum. Os resultados e a análise dessa metodologia seguem no próximo capítulo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentaremos os dados oriundos da aplicação do questionário e da entrevista antes e depois das aulas serem ministradas. Devemos que o mesmo questionário foi aplicado como pré-teste e pós-teste.

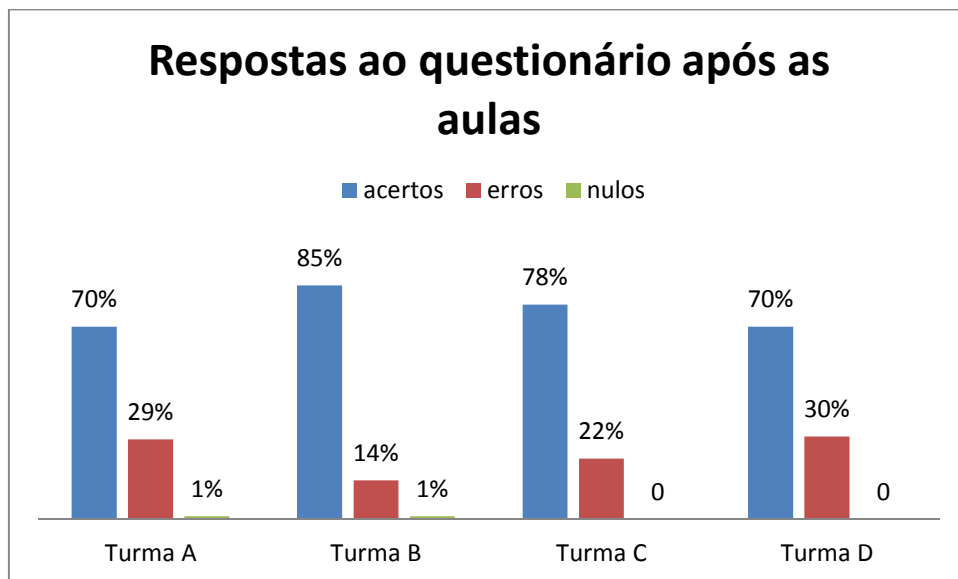
Conforme relatado no capítulo anterior, o questionário disponível no apêndice A foi aplicado de maneira prévia e sem material de apoio, o gibi, nas turmas “A”, “B”, “C” e “D”, as quais, no dia da aplicação, contavam com 30, 25, 28 e 26 estudantes, respectivamente. O percentual de acerto, das questões que compõem o questionário, de cada turma segue apresentado na Figura 4.1. Através da análise do gráfico, percebemos que o conhecimento prévio dos alunos, mensurado com o uso do questionário, apresentou-se uniforme em relação às quatro turmas pesquisadas. Gostaríamos de recordar o leitor que as turmas “A” e “D” são turmas controle, enquanto as turmas “B” e “C” são as turmas experimentais.



**Gráfico 1: Percentual de acertos às questões antes das aulas**

Conforme descrito na metodologia, após as aulas serem ministradas o questionário foi reaplicado nas turmas “A”, “B”, “C” e “D”, as quais, no dia da aplicação, contavam com 30, 27, 23 e 26 estudantes, respectivamente. O gráfico 2 nos mostra uma melhora média no percentual de acertos de 14% em comparação com os resultados do gráfico 1. Sobretudo, nas turmas experimentais, o percentual

médio de acertos aumentou 21,5%, enquanto nas turmas controle o aumento médio deste mesmo percentual foi de 7,5%. Isso aponta que embora a aula sem a revista em quadrinhos contribua no acesso à informação conceitual sobre o tema abordado, ainda não é suficiente para a plenitude do aprendizado, pois o uso dos cartuns proporcionou uma melhoria mais substancial do percentual de acertos.



**Gráfico 2: Percentual de acertos às questões após as aulas**

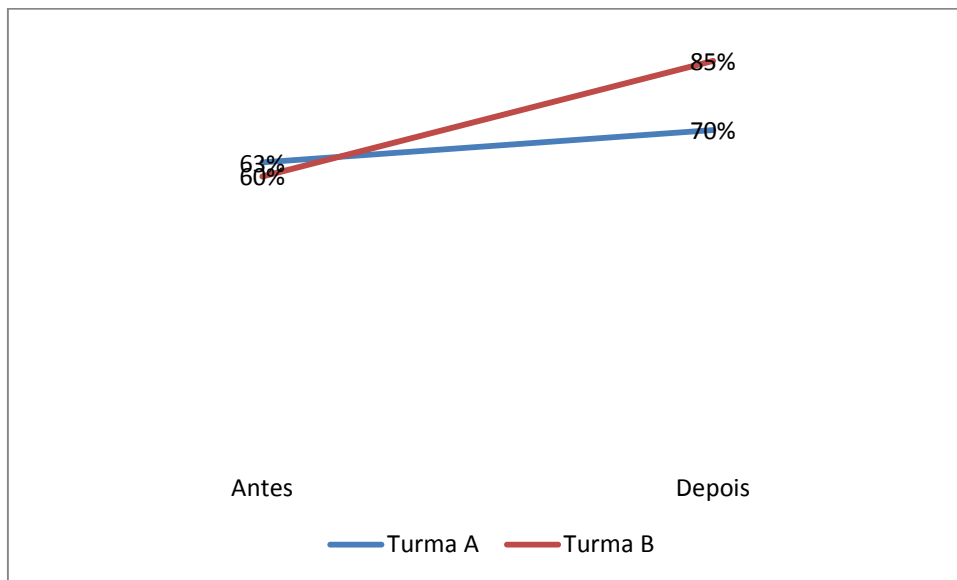
Observando os gráficos 1 e 2, percebemos que o percentual de acertos da turma “D” elevou-se de 62% para 70% das questões, enquanto que na turma “A” o percentual de acertos elevou-se de 60% para 70% das questões. É importante lembrar que a revistinha não foi utilizada nas turmas “A” e “D”. Com tais resultados, percebemos que ambas as turmas obtiveram um aumento na quantidade de acertos. Esse aumento, mesmo nas turmas controle, já era esperado uma vez que, antes das aulas, os alunos possuíam previamente senso comum sobre o tema ou conhecimento adquirido por meio de outras fontes.

Para as turmas “B” e “C”, que utilizaram o recurso midiático verificou-se um aumento significativo no percentual de acerto antes e depois da aplicação do recurso nas aulas. A turma “B” que tinha acertado 60% no questionário prévio, aumentou o seu índice para 85%. Já a turma “C” que tinha índice de acertos de 60% aumentou o seu índice para 78%.

O melhor rendimento das turmas “B” e “C” em comparação com as turmas “A” e “D” após a reaplicação do questionário nos induz a inferir que o uso da revista em

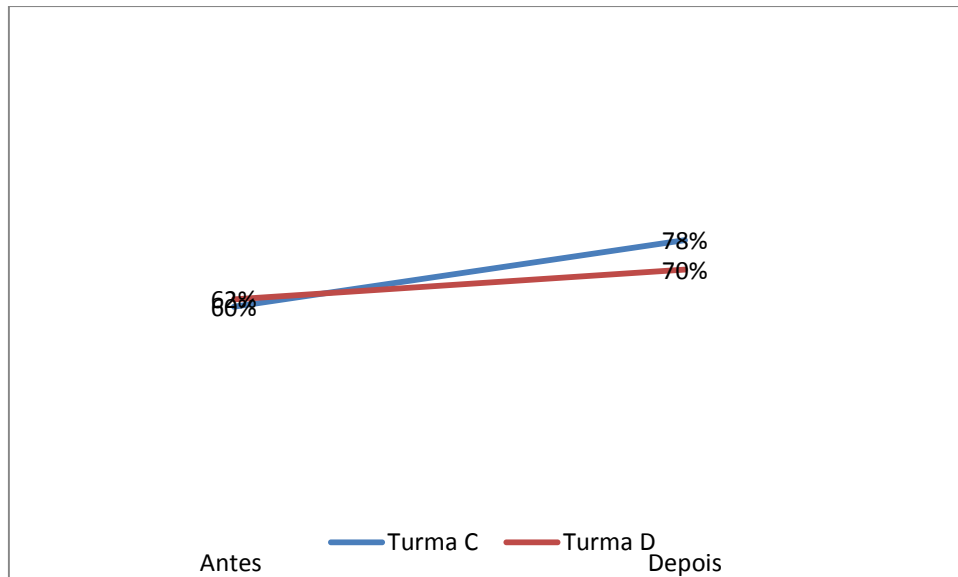
quadrinhos; em geral, melhora significativamente o percentual de acertos dos estudantes. Porém, uma análise mais aprofundada será realizada ao lançarmos mão da técnica de teste de hipóteses. No entanto, de um ponto de vista qualitativo, podemos dizer que os números mostraram uma tendência de melhoria no rendimento dos estudantes que utilizaram a revistinha em relação aos que não o utilizaram.

Os resultados apresentados nos gráficos 3 e 4 mostram a comparação entre os percentuais de acertos nas turmas onde a revista em quadrinhos (os cartuns) foi utilizada (turmas “B” e “C”) com as turmas controle (“A” e “D”) antes e depois das aulas serem ministradas. Optamos por destacar nos gráficos 2 e 3 a comparação entre turmas de uma mesma escola.



**Gráfico 3: Comparação dos rendimentos das turmas “A” e “B” após as aulas**





**Gráfico 4: Comparação dos rendimentos das turmas “C” e “D” após as aulas**

Observamos que as turmas que tiveram acesso ao recurso didático obtiveram, após a reaplicação do questionário, um desempenho melhor do que aquelas que não utilizaram a revista em quadrinhos. Com o objetivo de mensurar se a melhora apresentada era realmente significativa do ponto de vista estatístico, realizamos um teste de hipóteses. Nesse teste, utilizamos como hipótese nula ( $H_0$ ) a equivalência entre o ensino com e sem a revista em quadrinhos; e como hipótese alternativa, enunciámos que o uso dos cartuns melhorava o desempenho dos estudantes no questionário. Para realizar o teste aglomeramos as turmas experimentais (“B” e “C”) numa mesma classe (a classe que utilizou os cartuns), bem como as turmas controle (“A” e “D”) numa outra classe (a classe que não utilizou o gibi). Dessa forma, o grupo experimental possuía 53 indivíduos ( $N=53$ ), e o grupo controle possuía 56 indivíduos ( $N=56$ ). O teste de hipóteses foi realizado mediante a comparação dos grupos através de uma “análise de variância e covariância” – ANOVA/ANCOVA – utilizando o pacote estatístico SPSS. . A um nível de significância de 1%, a estatística do teste nos informou que a hipótese nula pôde ser rejeitada, ou seja, a hipótese alternativa de que a revista em quadrinhos foi eficiente no ensino dos tópicos de mecânica quântica se sustenta.

As Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentadas a seguir mostram o índice de acertos, em cada turma, questão por questão, antes e depois das aulas serem ministradas. Optamos por destacar os resultados das questões individualmente para que o leitor tenha acesso aos detalhes da aplicação do questionário. Na sequência, algumas

questões serão analisadas separadamente; e nessas análises, elencaremos algumas justificativas dadas pelos estudantes as suas respostas. É também útil destacar que embora os dados numéricos já apresentados tenham sido favoráveis ao uso dos cartuns no ensino de conceitos de Mecânica Quântica no ensino médio, esse fato esboça apenas uma tendência, a qual será corroborada mediante os depoimentos que alguns alunos deram no questionário de opinião, constante no apêndice D deste trabalho.

Tabela 1: Percentual de acertos da turma A

Questão	Percentual de acertos	
	Turma A	
	Antes	Depois
2.1	40%	74%
2.2	100%	100%
2.3	68%	70%
2.4	36%	84%
2.5	54%	55%
2.6	70%	86%
2.7	44%	74%
2.8	83%	87%
2.9	76%	80%
2.10	40%	73%
2.11	43%	44%
2.12	87%	96%

Tabela 2: Percentual de acertos da turma B

Questão	Percentual de acertos	
	Turma B	
	Antes	Depois
2.1	28%	100%
2.2	80%	100%
2.3	48%	70%
2.4	56%	78%
2.5	36%	82%
2.6	72%	100%
2.7	72%	85%
2.8	88%	96%
2.9	72%	90%
2.10	60%	90%
2.11	40%	96%
2.12	72%	100%

Tabela 3: Percentual de acertos da turma C

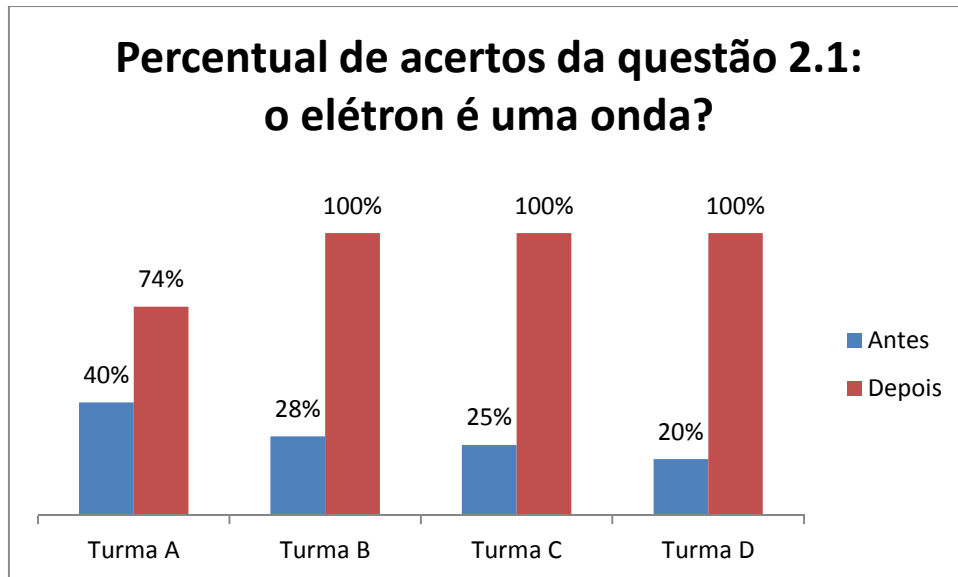
Questão	Percentual de acertos	
	Turma C	
	Antes	Depois
2.1	25%	100%
2.2	75%	100%
2.3	58%	65%
2.4	61%	64%
2.5	46%	83%
2.6	96%	100%
2.7	61%	90%
2.8	89%	90%
2.9	75%	90%
2.10	57%	82%
2.11	18%	93%
2.12	76%	96%

Tabela 4: Percentual de acertos da turma D

Questão	Percentual de acertos	
	Turma D	
	Antes	Depois
2.1	20%	100%
2.2	97%	100%
2.3	30%	55%
2.4	65%	73%
2.5	46%	54%
2.6	58%	65%
2.7	58%	63%
2.8	75%	85%
2.9	75%	80%
2.10	57%	80%
2.11	30%	33%
2.12	78%	96%

Apresentaremos a seguir uma análise mais detalhada dos índices de acertos ao questionário para algumas questões. Com isso, podemos analisar pontualmente os conceitos nos quais o uso do material de apoio foi mais proveitoso.

A questão 2.1 perguntava ao estudante acerca da natureza ondulatória do elétron. Os resultados estão apresentados no gráfico 5, no qual observamos evolução em todas as turmas, independente do uso do material midiático. Contudo, em ambas as turmas em que a revista em quadrinhos foi utilizada, o desempenho dos estudantes foi de 100% de acertos.



**Gráfico 5: Percentual de acertos da questão 2.1.**

A fim de fortalecer os dados numéricos apresentados no Gráfico 5, mostramos a seguir as justificativas de alguns estudantes para essa questão. Identificaremos os alunos como aluno 1, aluno 2 e aluno 3. Esses estudantes serão citados no decorrer de todo este capítulo. Eles pertencem às turmas experimentais, ou seja, onde os cartuns foram utilizados como material de apoio.

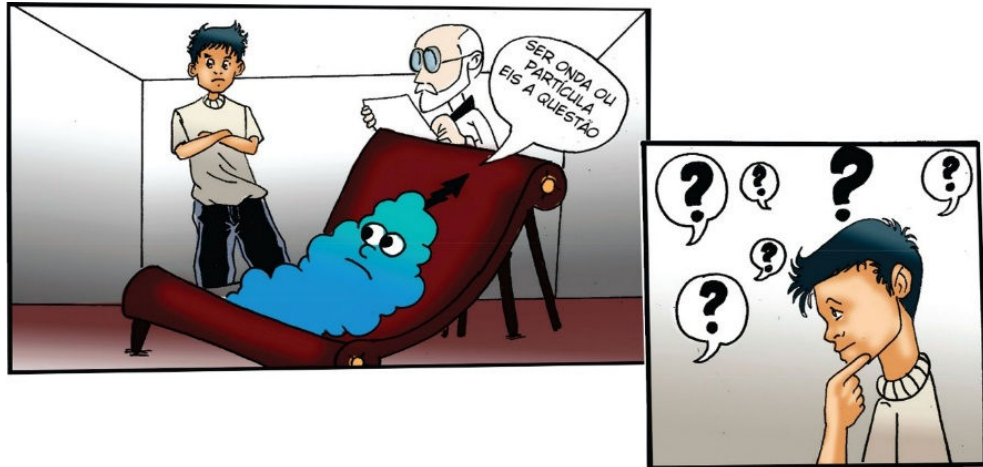
**Aluno 1:** “ O elétron é uma onda, mas também pode ser uma partícula. Depende do fenômeno físico observado.”

**Aluno 2:** “ O elétron pode ser uma onda ou uma partícula, mas nunca os dois ao mesmo tempo”.

**Aluno 3:** “ Conforme vimos nas aulas de física e no gibi, o elétron pode ser uma onda, apesar disso ser muito estranho”.

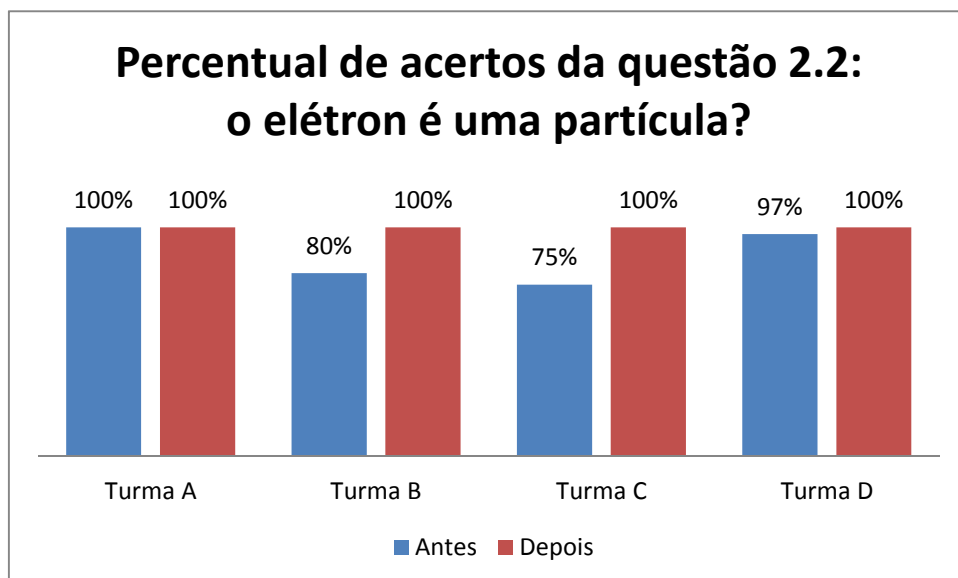
Observando esses depoimentos, percebe-se que os alunos demonstraram um nível de conhecimento aceitável em relação ao comportamento dual do elétron, e com isso, há indícios de que as respostas dadas nos questionários não foram apenas baseadas em chutes ou suposições.

O cartum da Figura 6 é relacionado a pergunta 2.1. Nesta figura, o elétron encontra-se num psicanalista e está em dúvida sobre a sua natureza. Esta situação é bastante adequada para o professor fazer uma analogia entre o estado do elétron no consultório como seu estado físico à luz da dualidade onda-partícula.



**Figura 6: Natureza ondulatória do elétron**  
 Fonte: Elaborado pelo autor

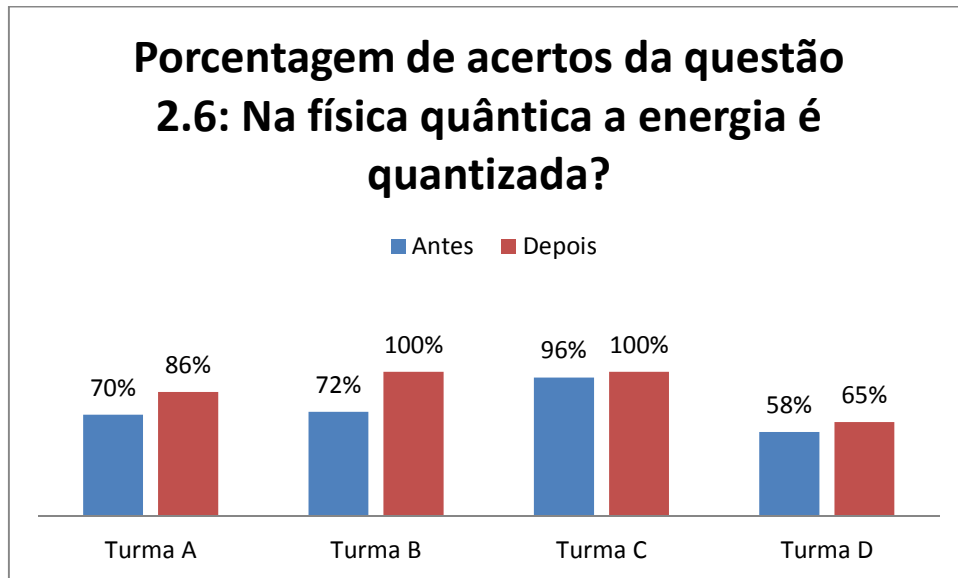
A questão 2.2 indagava ao estudante se o elétron é uma partícula. Os resultados podem ser observados no gráfico 6. Percebemos que os resultados anteriores e posteriores às aulas não se modificaram de forma relevante, pois a percepção prévia dos estudantes é relacionada à natureza corpuscular do elétron.



**Gráfico 6: Percentual de acertos da questão 2.2**

Na questão 2.6 do questionário as turmas onde a revistinha foi utilizada obtiveram o melhor resultado quando comparadas às turmas controle, conforme está apresentado no gráfico 7. Essa questão indagava ao estudante se na Física Quântica a energia era quantizada. A figura 4.8 mostra que, embora as quatro

turmas tivessem rendimentos parecidos em relação à essa questão antes da aplicação do questionário, as turmas onde a revistinha foi utilizada (turmas “B” e “C”) apresentaram um desempenho muito superior na reaplicação do questionário.



**Gráfico 7: Percentual de acertos da questão 2.6 antes e após as aulas**

Uma observação importante é a de que a questão 2.6 possui um cartum que enfatiza a quantização da energia no mundo quântico, conforme mostra a Figura 7. Esse cartum traz o personagem clássico (o garoto) comprando um objeto numa loja intitulada “Quantum Shop”. Nessa compra, o garoto solicita ao personagem Elétron um desconto, mas para a sua surpresa, o Elétron lhe concede um desconto maior que o solicitado devido à impossibilidade de no mundo quântico se aceitar valores não inteiros da moeda. Ou seja, o cartum faz referência à quantização de energia.

Algumas justificativas das respostas ao questionário após as aulas serem ministradas estão dispostas a seguir.

**Aluno 1:** *“Enquanto na física clássica a energia é uma grandeza contínua, nas física quântica ela é múltipla de inteiros.”*

**Aluno 2:** *“Na física quântica a energia é discreta ou seja assume valores descontínuos”.*

**Aluno 3:** *“Na física quântica a energia pode ter somente alguns valores, igual ao quadrinho da loja”.*

Observando as justificativas em relação a pergunta sobre quantização de energia, vemos que os estudantes apresentaram respostas coerentes com a discretização da energia intrínseca à Mecânica Quântica. Sobretudo, um dos estudantes relacionou essa característica a um dos cartuns disponível no gibi.

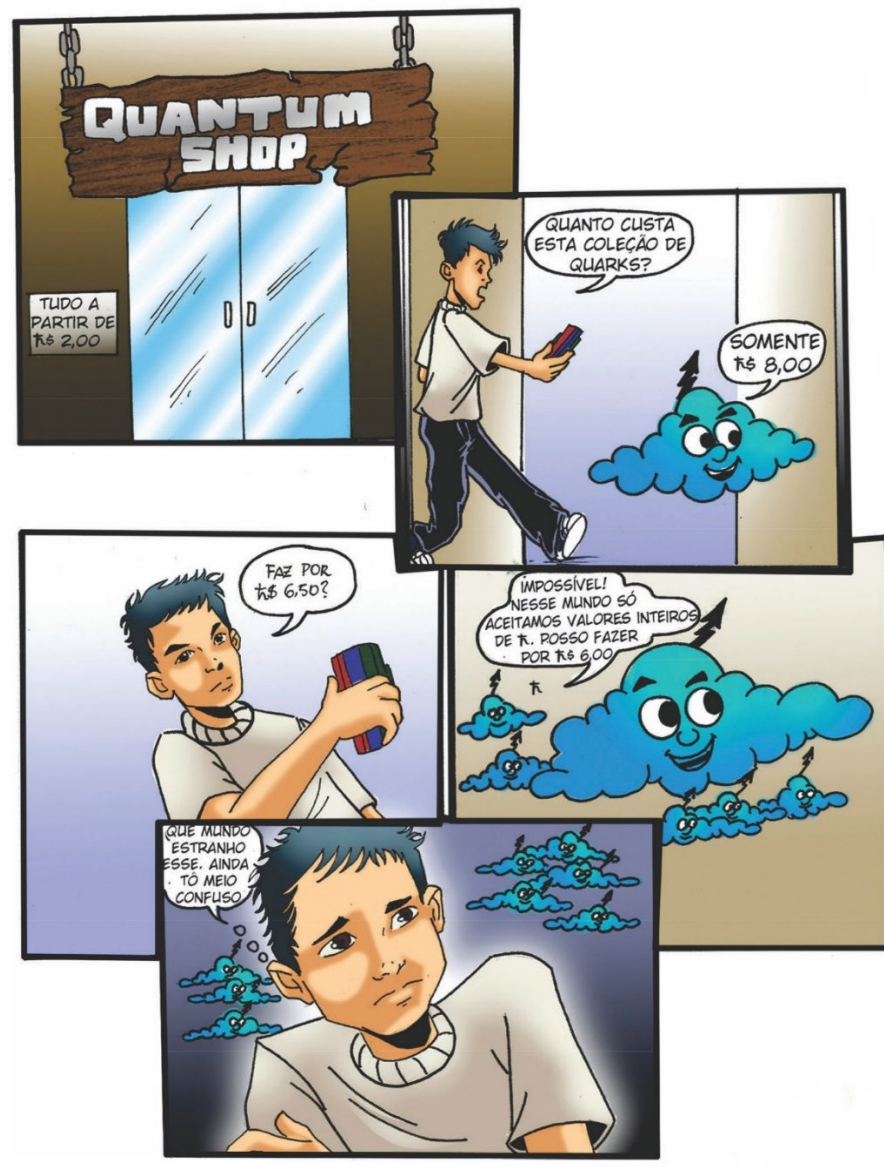
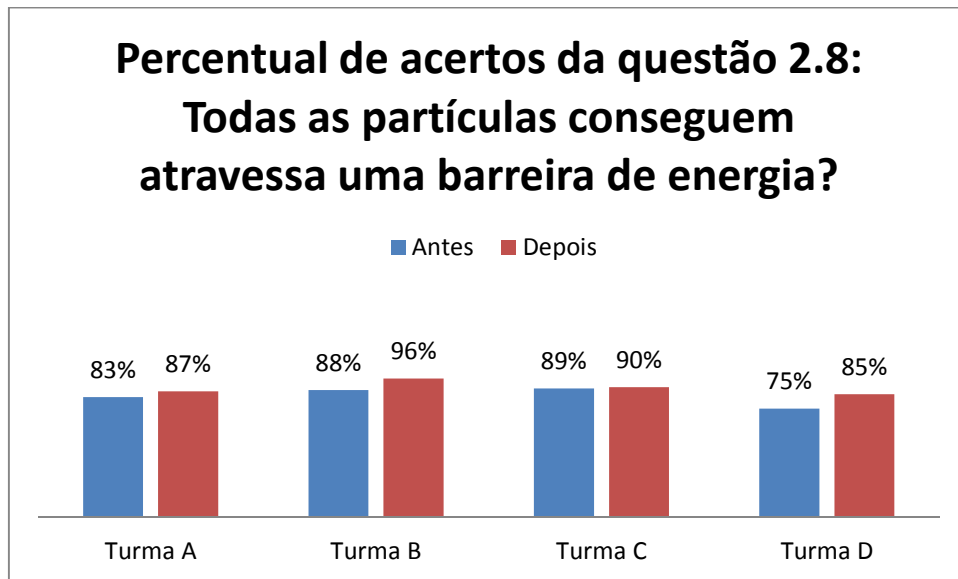


Figura 7: (desenvolvida pelo autor): cartum referente à questão 2.6

Outra questão que merece destaque é a 2.8. Nesta questão, o estudante era indagado se todas as partículas conseguem atravessar uma barreira de energia. O rendimento das turmas onde o material de apoio foi utilizado e das turmas controle foram muito similares na aplicação e reaplicação do questionário, conforme podemos verificar no gráfico 8.



**Gráfico 8: Percentual de acertos da questão 2.8 antes e após as aulas.**

Nas turmas onde o material midiático foi utilizado, o conceito requerido na resposta a esta questão foi trabalhado com o auxílio do cartum que segue destacado no gráfico 8. Neste cartum, o elétron, representado por uma nuvem, tenta atravessar uma parede e, quando indagado pelo garoto se isso seria possível, ele garante que sim, pois a partícula alfa consegue atravessar. Com isso, além desse cartum trabalhar o conceito de penetração de barreira, ainda possibilita ao professor ilustrar o fenômeno utilizando o exemplo do decaimento alfa. O cartum citado segue ilustrado na Figura 8.

Algumas justificativas dadas pelos alunos na resposta a questão 2.10 seguem abaixo.

**Aluno 1:** *“Dependendo do nível de energia, apenas algumas partículas conseguem atravessar.”*

**Aluno 2:** *“Por causa do comprimento de onda.”*

**Aluno 3:** *“Mesmo tendo energia insuficiente, existe a probabilidade de a partícula atravessar a barreira na física quântica, igual ocorre no decaimento alfa. Isso não ocorre na clássica.”*

Com base nessas justificativas percebemos o porquê de o rendimento das turmas controle e experimental terem sido tão similares mesmo após as aulas serem



ministradas, conforme mostrado no gráfico 8. Apenas o aluno 3 apresentou uma justificativa um pouco contundente, talvez devido a não aprendizagem do conteúdo pelos estudantes, falta de atenção ou não entendimento da questão requerida.

A questão 2.10 perguntava ao estudante se o gato de Schroedinger poderia ser utilizado para exemplificar a superposição de estados. Os resultados apresentados no gráfico 9 mostram que as turmas que utilizaram a revista em quadrinhos apresentaram um rendimento melhor em relação às turmas controle. Merece destaque o fato que antes da aplicação do questionário, o percentual de acertos a essa questão era relativamente baixo e a melhora foi substancial tanto nas turmas controle como nas turmas que utilizaram o material midiático.

Algumas justificativas dadas pelos alunos na questão 2.10 do questionário aparecem a seguir.

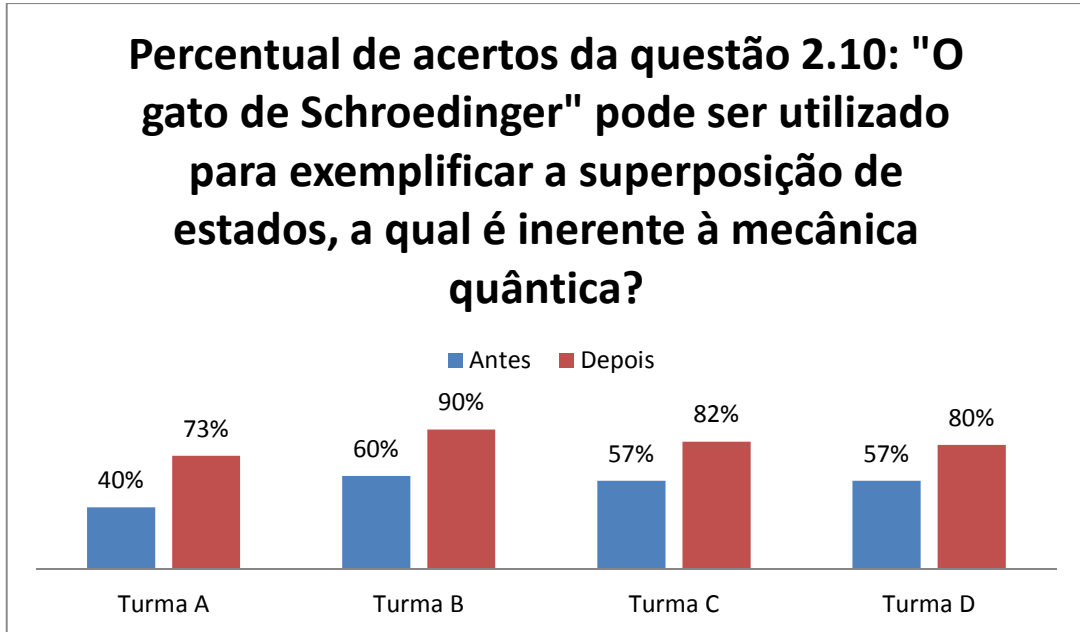
**Aluno 1:** *“Pois no mundo quântico trabalha-se com vários estados, dando uma visão probabilística.”*

**Aluno 2:** *“Ele é usado para exemplificar a superposição de estados, pois não se sabe o estado do gato, ele pode estar vivo ou morto.”*

**Aluno 3:** *“O gato é igual ao leão do gibi, pode estar vivo ou morto. No mundo quântico é assim. Só determinamos o estado de um sistema após realizarmos a medida. Antes disso existem várias possibilidades.”*



Figura 8: (desenvolvida pelo autor): cartum referente à questão 2.8.



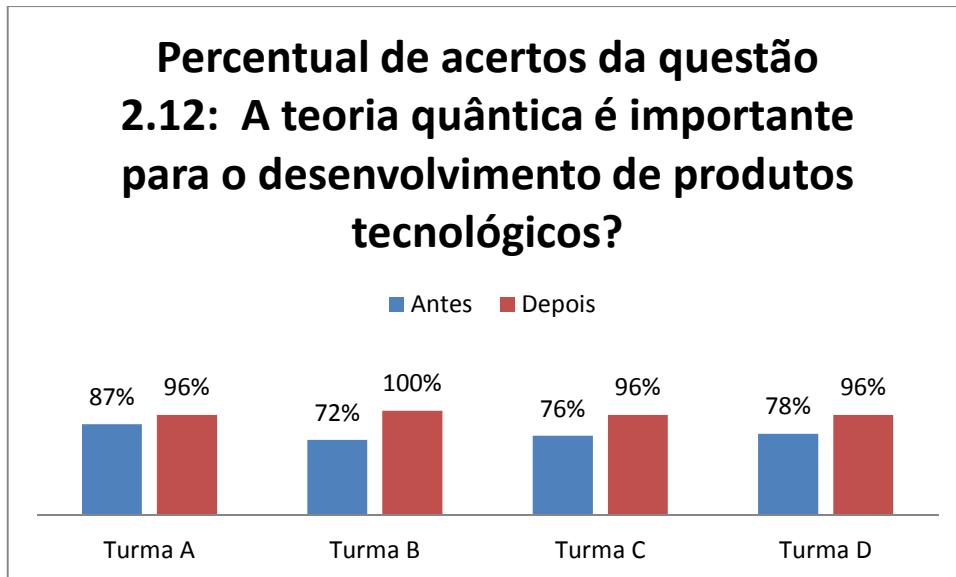
**Gráfico 9: Percentual de acertos da questão 2.10 antes e após as aulas.**

O cartum que contemplava o conceito de superposição de estados segue apresentado na Figura 9. Neste cartum o garoto encontra-se com um leão e pergunta se o elétron não está com medo da fera. O elétron responde que está com medo e não está com medo ao mesmo tempo, pois a fera pode estar viva ou morta. O garoto acha estranho a explicação dada pelo elétron. Com isso, o cartum estabelece uma analogia entre o leão e o gato de Schroedinger. Este conceito possibilita, além de outras aplicações, que o professor discuta com a turma elementos de computação quântica.



Figura 9: (desenvolvida pelo autor): cartum referente a questão 2.10.

Outro resultado que merece atenção diz respeito a última questão do questionário. Nela os estudantes eram indagados se a teoria quântica é importante para o desenvolvimento de produtos tecnológicos. Observando o Gráfico 10, percebemos que após as aulas serem ministradas os estudantes conseguiram relacionar a física quântica ao desenvolvimento de tecnologia. Isso é um ponto muito positivo, pois o fato de os estudantes terem a percepção de aplicabilidade de um conteúdo pode funcionar como um fator motivacional ao aprendizado.



**Gráfico 10: percentual de acertos da questão 2.12 antes e depois das aulas**

Na sequência apresentamos algumas justificativas dadas pelos alunos as suas respostas na questão 2.12 do questionário.

**Aluno 1:** *“O conhecimento sobre energia teve um grande avanço a partir da teoria quântica, devido a quantização da energia, o que ajudou o desenvolvimento de produtos tecnológicos.”*

**Aluno 2:** *“Importante para o avanço da tecnologia e da computação quântica”.*

**Aluno 3:** *“Vários produtos que usamos na atualidade vieram a partir da mecânica quântica. Exemplos: celulares, computadores, portas de shopping, etc.”*

Com essas justificativas percebemos que os estudantes conseguem relacionar a mecânica quântica com a tecnologia. Alguns deles relacionam acessórios tecnológicos oriundos das aplicações dessa teoria. Vemos assim, que os alunos veem a mecânica quântica como uma teoria que, embora seja abstrata, possui relação com o seu cotidiano.

Nas entrevistas, constantes no apêndice D, pôde-se verificar o aparecimento de respostas qualitativas relevantes, pois tratam de características importantíssimas para a aprendizagem significativa, são elas: a motivação, a desinibição, o entendimento do assunto, o avanço da socialização e a satisfação em aprender. A seguir apresentamos algumas dessas respostas:

Gostei muito desse projeto pois visou com mais clareza a explicação direcionada ao aluno, de forma mais alegre e extrovertida. Muitos pensam que física é só cálculo, mas também tem a parte teórica e esse cartum veio de forma diferente explicar a parte teórica.

Nesta resposta, o aluno classificou a explicação por meio de cartuns “mais alegre e extrovertida” (SIC), separando a dicotomia entre física e cálculos. Assim, percebemos que para este estudante os cartuns funcionaram como motivadores e desinibidores no processo ensino-aprendizagem, além de facilitar o entendimento do assunto.

Já um outro aluno respondeu da seguinte forma:

Achei didático e interessante. Pois o fato de você ilustrar e representar uma matéria que para muitos há dificuldade, fica bem mais fácil de entender. E quanto ao projeto da introdução da física quântica, gostei bastante, até pela forma do professor explicar. E desejo sucesso ao professor pelo projeto. Meus parabéns!

Esse estudante considerou a metodologia muito didática e interessante, destacando que as ilustrações torna o conteúdo mais inteligível. Assim, mais uma vez constatamos que o uso dos cartuns aborda uma característica importante da aprendizagem significativa: o entendimento do assunto.

Outro aluno disse:

Achei legal e interessante sair da rotina. O mundo quântico é muito legal de se aprender, o uso do gibi ajudou muito no aprendizado. A didática foi bem elaborada. Acredito que se fosse utilizado o gibi em outras escolas, as pessoas começariam a ver a física de outra forma.

O estudante citado acima considerou “legal sair da rotina” e que caso o alcance do projeto fosse ampliado “as pessoas começariam ver física de outra forma”. Além disso, esse estudante vai além e propõe que o uso de cartuns seja ampliado e levado a outras escolas para que outros estudantes sejam beneficiados.

Um quarto aluno comentou:

Os cartuns foram uma metodologia muito importante. Quando eu lia a historinha eu ficava pensando como aquilo acontecia e por que acontecia. Eu via quase todo mundo correndo atrás de explicações. Ai depois eu pesquisava e o professor explicava ai eu entendia. É muito interessante. Eu queria que todos os alunos usassem o gibi e aprendessem igual eu aprendi.

O comentário desse quarto aluno induz que os cartuns funcionaram como um elemento problematizador nas aulas de física. O depoimento evidencia que após a apresentação da situação do cartum, os estudantes procuravam respostas. E assim, professor e alunos debatiam sobre as prováveis explicações para os fenômenos

apresentados. Isso vai ao encontro das ideias de Zanotto (2002), o qual destaca que problematizar é a habilidade de relacionar de forma coerente e sequencial três momentos: identificação dos problemas, busca de explicação e proposição de soluções. Nesse roteiro, fizemos a seguinte associação: quando os alunos liam a história do cartum, eles identificavam o problema; no momento em que eles se indagavam e pesquisavam sobre, estavam buscando explicações; e no momento do debate entre professor e turma eram apresentadas as proposições de soluções.

As respostas dos estudantes à entrevista, aqui citadas, demonstraram a importância da teoria de Ausubel no que diz respeito à aprendizagem significativa, na qual ele associa a aprendizagem significativa a um material potencialmente significativo. Se considerarmos o conjunto dos dados estatísticos apresentados, nos quais observa-se uma evolução no acerto e na compreensão das questões, juntamente às respostas dadas nas entrevistas, podemos concluir, presumidamente, que houve aprendizagem significativa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A história em quadrinhos elaborada neste trabalho é uma proposta de recurso mediacional para o ensino de conceitos básicos de Mecânica Quântica para alunos do ensino médio. Os cartuns que compõem o gibi intitulado “Elétron no mundo quântico” constitui o produto educacional oriundo desta pesquisa de mestrado profissional.

A pesquisa torna evidente que a utilização das histórias em quadrinhos, com cenas e falas do cotidiano do aluno e, ao mesmo tempo, com conceitos científicos numa linguagem diferenciada do tema nos traz resultados satisfatórios. Os resultados, tanto quantitativos como qualitativos, mostraram-se favoráveis ao uso dos cartuns como recurso auxiliar no desenvolvimento de conceitos de mecânica quântica no ensino médio. No arcabouço quantitativo, um teste de hipóteses com nível de significância de 1% mostrou que o desempenho dos estudantes que usaram os cartuns foi melhor do que os estudantes pertencentes à turma controle, no sentido que os estudantes da turma experimental demonstraram um rendimento superior no pós-teste.

Do ponto de vista qualitativo, os estudantes respondentes da entrevista relataram que o uso dos cartuns além de despertar o interesse deles, melhorou a compreensão do conteúdo e também tornou as aulas de Física mais atrativas. Os estudantes destacaram ainda, que a leitura dos cartuns no início de cada conteúdo despertava uma dúvida, pois sempre surgiam questionamentos sobre o porquê das situações apresentadas. Com esses depoimentos, ficou transparente que os cartuns funcionaram como elemento problematizador, no contexto da problematização apontada por Paulo Freire e Bachelard. Nesse contexto, os cartuns eram apresentados como uma forma de participação ativa e de diálogo constante entre alunos e professor para se atingir o conhecimento. Além disso, os cartuns auxiliaram no surgimento de atividades investigativas e argumentações em sala de aula, as quais são indispensáveis para o desenvolvimento crítico do aluno e na busca de soluções para problemas do dia a dia.

Numa análise mais ampla, se considerarmos o conjunto dos dados estatísticos apresentados, nos quais observa-se uma evolução no acerto e na compreensão das questões, juntamente às respostas dadas nas entrevistas,



podemos concluir, presumidamente, que houve aprendizagem significativa. Dessa presunção surge-nos o questionamento se seria o cartum um material didático potencialmente significativo.

Tendo em vista os resultados satisfatórios obtidos com o uso dos cartuns como material auxiliar, temos a perspectiva de aprimorar os cartuns apresentados, corrigindo prováveis erros conceituais, bem como incluir cartuns relacionados a outros conceitos. Também pretendemos elaborar cartuns que trabalhem outras áreas da física, difundindo assim uma metodologia de ensino de Física mais contextualizada e divertida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, E.; VOELZKE, M.R. **Construção de histórias em quadrinhos nas aulas de física: uma prática didática**. VII ENPEC. Florianópolis-SC, 2009.
- AUSUBEL, D.P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio (PCNEM)**. Brasília: MEC/SEMTEC, 4v - p.123-199, 1999.
- BRAZ, K.M; FERNANDEZ, S.A. **História em Quadrinhos: Um recurso didático para as aulas de física**. Trabalho apresentado no XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009.
- FREIRE, P. **Ação Cultural para a Liberdade**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982.
- FREIRE, P. **Conscientização: teoria e prática da liberdade**. 3ª ed. São Paulo: Moraes, 1980.
- FREIRE, P. **Extensão ou Comunicação**. 18ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 29ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- GONÇALVES, R.; MACHADO, D.M. **Comics: investigación de conceptos y de términos paleontológicos, y uso como recurso didáctico em la educación primaria**. Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, v. 23, n. 2, p. 263-274, 2005.
- GRECA, I. M; MOREIRA, M.A; HERSCOVITZ, V.E. **Uma proposta para o ensino da mecânica quântica**. Rev. Bras. Ens. Fís. 23 (4), 444 (2001).
- JOHNSON-LAIRD, P.N. **Mental models**. Cambridge: Cambridge University Press (1983).
- JUNIOR, E. N. **A imagem**. São Paulo. Ática: 1986. PARANÁ, SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO/SEED.
- KAMEL, C.R.L; LA ROCQUE, L. **As histórias em quadrinhos como linguagem fomentadora de reflexões – uma análise de coleções de livros didáticos de Ciências Naturais do Ensino Fundamental**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte - MG, v.6, n3, p. 59-76, 2006.
- LINSINGEN, L. **Mangás e sua utilização pedagógica no ensino de ciências sob a perspectiva CTS**. Ciência & Ensino 1, 1(2007).

LUIZ, L. C; OLIVEIRA, L. F. **Ensino de Física Radiológica e Radioproteção através do Lúdico**. Disponível em [www.conter.gov.br](http://www.conter.gov.br), acessado em 18/12/2014.

MOREIRA, M.A. **Modelos Mentais**. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, 1, 3, 193-232. (1996).

MOREIRA, M.A. **O que é aprendizagem significativa?** A aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

MOREIRA, M.A. **Metodologias de Pesquisa em Ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física (2011).

MOREIRA, M.A; GRECA, I.M; PALMERO, M.L.R. **Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. 2, 3, (2002) 36-56.

PORTELA, S. I. C. **A formação inicial de professores e a cultura científica na educação básica**: problematizando a prática docente na interface das disciplinas Estágio Supervisionado e História da Física, 2014, 263 fls. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

RAMOS, P. **A leitura dos quadrinhos**. São Paulo: Contexto, 2009.

RIBEIRO, E. A. **A perspectiva da entrevista na investigação qualitativa. Evidência: olhares e pesquisa em saberes educacionais**, Araxá/MG, n. 04, p.129-148, maio de 2008.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de ensino médio**. Cad. Cat. Ens. Fís. 9 (3), 209 (1992).

TESTONI, L.A. **Um corpo que cai**: As Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física, 2004, 158 fls. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TESTONI, L.A.; ABIB, M.L.V.S. **A utilização de histórias em quadrinhos no ensino de física: uma proposta para o ensino de inércia**. Enseñanza de las Ciencias, Granada, v. extra, p.15, 2005.

UTGES, G.R. **Modelos e Analogias na Compreensão do Conceito de Onda**. Universidade de São Paulo. Tese (Doutorado em Educação), 1999.

VERGUEIRO, W. et al. **Como usar história em quadrinhos na sala de aula**. São Paulo: Contexto, 2004.

VERGUEIRO, W; SANTOS, E.R. Santos. **A pesquisa sobre histórias em quadrinhos na Universidade de São Paulo**: análise da produção de 1972 a 2005. UNI revista, São Leopoldo – RS, v. 1, n. 3, p. 1-12, julho, 2006.

VÍLCHEZ-GONZÁLEZ, J.M; PERALES-PALACIOS, F. J. **Image of science in cartoons and its relationship with the image in comics**. Physics Education, v. 41, p.240-249, 2006.

WORNER, C.H; ROMERO, A. **Una maneira diferente de ensinar física:** Física y humor. Enseñanza delas Ciências, Barcelona, v. 16, n. 1, p. 187-192, 1998.

ZANETIC, J; PINTO, A. C. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Cad. Cat. Ens. Fís. 16 (1), 7 (1999).

ZANOTTO, M. A. C. **A formação contínua como possibilidade do aprimoramento da ação de problematizar:** análise de uma proposta voltada para professores atuantes em Educação Especial. 2002. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

**APÊNDICE A****Questionário de pesquisa (1)**

Prezado (a) estudante

Este questionário é parte de uma pesquisa de caráter pedagógico do Instituto de Física da Universidade de Brasília. Nossa intenção é analisar a eficácia da aplicação de um material didático complementar ao ensino-aprendizagem de conceitos de mecânica quântica no ensino médio. É importante salientar que a sua participação será mantida anônima em toda a pesquisa e em qualquer circunstância pública em que os resultados da investigação vierem a ser apresentados. Por favor, leia as perguntas com atenção e dê as respostas com sinceridade.

**Parte 1: Identificação**

1.1 Nome (opcional):

1.2 Idade:

1.3 Sexo: ( ) Masculino ( ) Feminino

**Parte 2: Mecânica Quântica – Conhecimentos Específicos**

2.1 – O elétron é uma onda?

( ) Sim ( ) Não

Justifique: 2.2 – O elétron é uma partícula?

( ) Sim ( ) Não

Justifique:

2.3 – A dualidade vista aos olhos do Princípio da Complementariedade nos indica que uma partícula, ao ser observado, possui caráter ondulatório e corpuscular simultaneamente?

( ) Sim ( ) Não

Justifique:

2.4 - O fato de a constante de Planck possuir valor tão pequeno implica que a Mecânica Quântica é uma teoria que, para apresentar novidades, depende de uma faixa de escala específica?

Sim       Não

Justifique:

2.5 – Na física clássica, a energia é quantizada?

Sim       Não

Justifique:

2.6 – Na física quântica, a energia é quantizada?

Sim    Não

Justifique:

2.7 – Nem classicamente, nem quanticamente, existe uma “proibição” de encontrarmos dois elétrons com exatamente o mesmo estado físico. Esta afirmação é correta?

Sim       Não

Justifique:

2.8 – Todas as partículas conseguem atravessar uma barreira de energia?

Sim       Não

Justifique:

2.9 – De um modo geral, podemos afirmar que o artifício de se imaginar uma nuvem eletrônica pode representar o papel de previsão probabilística da posição do elétron, fornecida pela Teoria Quântica?

Sim       Não

Justifique:

2.10 – “O gato de Schroedinger” pode ser utilizado para exemplificar a superposição de estados, a qual é inerente à mecânica quântica?

Sim       Não

Justifique:

2.11 – No mundo quântico, é possível determinar simultaneamente e com precisão a posição e a velocidade de uma partícula?

Sim       Não

Justifique:

2.12 – A teoria quântica é importante para o desenvolvimento de produtos tecnológicos?

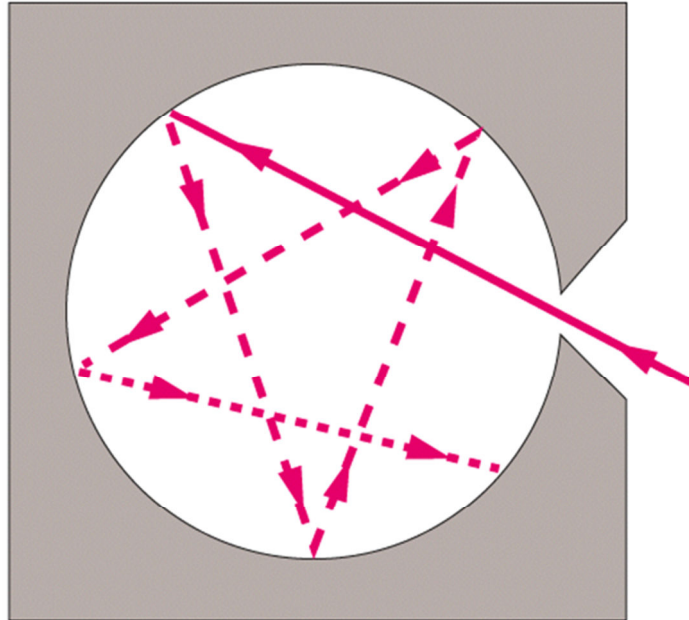
Sim       Não

Justifique:

Agradecemos a gentileza de você ter participado desta pesquisa e abrimos o espaço abaixo para algum comentário extra que você queira fazer. Obrigado!

## APÊNDICE B

### Imagens utilizadas no Power point: Física quântica – Radiação do corpo negro



<https://def.fe.up.pt/fisica3/quantica1/index.html>

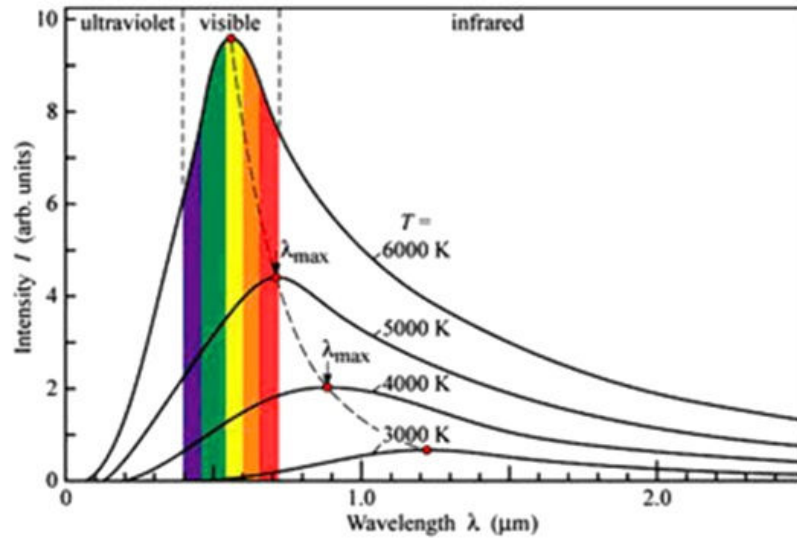
### Física quântica – Radiação do corpo negro

No entanto, um corpo negro pode ser substituído com grande aproximação por uma cavidade com uma pequena abertura. A energia radiante incidente através da abertura, é absorvida pelas paredes em múltiplas reflexões e somente uma mínima proporção escapa (se reflete) através da abertura. Podemos portanto dizer, que toda a energia incidente é absorvida.

<http://slideplayer.com.br/slide/326870/>



## Física quântica – Radiação do corpo negro



<http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/?author=1&paged=2>

## Princípio da Incerteza de Heisenberg

De acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg (1927), é fisicamente impossível medir a posição exacta e o momento linear exacto de uma partícula

O princípio da incerteza afirma que, se é feita uma medida da posição de uma partícula com uma incerteza

$\Delta x$  e uma medida simultânea do seu momento, com uma incerteza  $\Delta p_x$ , o produto das duas incertezas nunca pode ser menor do que  $\hbar/2$ :

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

O acto de fazer uma medida perturba outra medida



Werner Heisenberg  
(1901-1976)

### Princípio de incerteza para tempo-energia

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

Podemos violar a conservação da energia por um valor  $\Delta E$  desde que o façamos por um curto intervalo de tempo  $\Delta t$

<http://slideplayer.com.br/slide/328310/>

## O Gato de Schrödinger



<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABPOEAH/monografia-mecanica-quantica>

## O Princípio da Incerteza

### Heisenberg (1925)

-Na mecânica clássica, uma partícula tem uma **trajetória** definida, ou seja, a localização e o momento linear são especificados a cada instante.

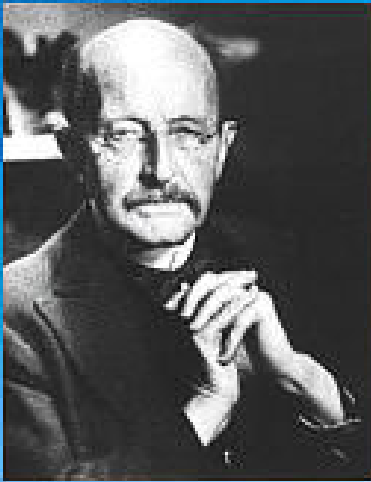
-Na mecânica quântica, devido ao comportamento de onda-partícula não podemos especificar localização de uma partícula que tem momento linear preciso.

**-Portanto, não podemos especificar a trajetória de partículas !**



<http://slideplayer.com.br/slide/363890/>

## Planck e a Quantização da Energia



Max Planck (1858-1957)

$$E = h.f$$

“Tanto na emissão quanto na absorção, a energia  $E$  do quantum é proporcional à frequência  $f$  da radiação”

[http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-09-17\\_2006-09-23.html](http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2006-09-17_2006-09-23.html)

## Lei do deslocamento de Wien

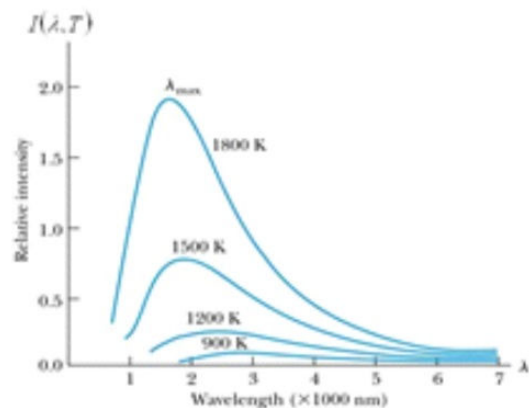
A intensidade espectral  $I(\lambda, T)$  é a potência total irradiada por unidade de área, por unidade de comprimento de onda, para uma dada temperatura

### Lei de deslocamento de Wien

O pico de distribuição dos comprimentos de onda se desloca para os comprimentos de ondas menores à medida que a temperatura se eleva

O deslocamento obedece à seguinte relação

$$\lambda_{\max} T = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$



Dados experimentais para a distribuição de energia na radiação do corpo negro para três temperaturas. A área sob a curva aumenta com a temperatura.

<http://slideplayer.com.br/slide/328310/>

## Mecânica Quântica: Paradoxo EPR



<http://estadoquantico.blogspot.com.br/2010/07/imagens-do-cabecalho-gato-de.html>

## Efeito Túnel

Mecânica Quântica e Nanotecnologia

# Efeito Túnel

The diagram is divided into two horizontal sections. The top section, labeled 'Física Clássica' on the left, shows a green circle labeled 'Partícula' with an arrow pointing right towards a green rectangular barrier. The barrier is taller than the particle. To the right of the barrier, another green circle is shown, but it is positioned below the barrier's top edge, indicating it cannot pass. A white box with a black border contains the text 'Partícula não consegue atravessar a barreira'. The bottom section, labeled 'Física Quântica' on the left, shows a red wavy line representing a wave approaching the barrier from the left. A portion of the wave is reflected back to the left, and a portion is transmitted through the barrier, appearing as a yellow wavy line on the right. A white box with a black border contains the text 'Onda pode ser reflectida na parede...ou parte transmitida através da barreira'. The word 'Barreira' is written above the barrier in both sections.

Física Clássica

Partícula

Barreira

Partícula não consegue atravessar a barreira

Física Quântica

Onda pode ser reflectida na parede...ou parte transmitida através da barreira

3-5 Setembro 2007

Escola de Física

FC

<http://slideplayer.com.br/slide/1622430/>

## Princípio da exclusão de Pauli

Em um mesmo átomo, não existem dois elétrons com quatro números quânticos iguais.

Como consequência desse princípio, dois elétrons de um mesmo orbital têm spins opostos.

Um orbital semicheio contém um elétron desemparelhado; um orbital cheio contém dois elétrons emparelhados (de spins opostos).

### Regra de Hund

Ao ser preenchido um subnível, cada orbital recebe, inicialmente, apenas um elétron; somente depois de o último orbital ter recebido seu primeiro elétron começa o preenchimento de cada orbital semicheio com o segundo elétron.

Exemplo de preenchimento para o  $3d^6$



## APÊNDICE C

Prezado(a) Professor(a),

Esta revista em quadrinhos intitulada “Eletron no mundo quântico” é o produto de uma pesquisa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UnB. As histórias contidas na revista trazem situações analógicas a alguns fenômenos quânticos de interesse no ensino de física moderna. As pequenas histórias, as quais são denominadas cartuns, devem ser utilizadas como elementos problematizadores nas aulas de física no ensino médio, dentro das concepções de problematização propostas por Paulo Freire e Gaston Bachelard. Nesse sentido, os cartuns deverão propiciar o início dos debates e discussões acerca dos conceitos inerentes ao mundo quântico; sendo assim, indispensável conciliá-los a outra estratégia de ensino qualquer. No fim da revista há alguns hipertextos que tratam desde a história do surgimento da teoria quântica, bem como a explicação de alguns fenômenos intrínsecos à mecânica quântica. Os assuntos abordados na revista em quadrinhos são:

- Princípio da incerteza de Heisenberg;
- Quantização da energia;
- Superposição de estados quânticos;
- Efeito túnel;
- Interpretação probabilística da mecânica quântica;
- Dualidade onda-partícula;
- Princípio da exclusão de Pauli.

Dessa forma, esperamos que o senhor(a) faça um bom proveito didático do material proposto, utilizando-o de forma complementar a outras estratégias de ensino em suas aulas sobre física moderna. Mais informações podem ser obtidas consultando a dissertação de mestrado intitulada “A importância do uso de cartuns como ferramentas auxiliares no ensino de conceitos de mecânica quântica no ensino médio”.

Atenciosamente,

Rendisley Aristóteles dos Santos Paiva

Revista Elétron no mundo quântico

# ELETRON

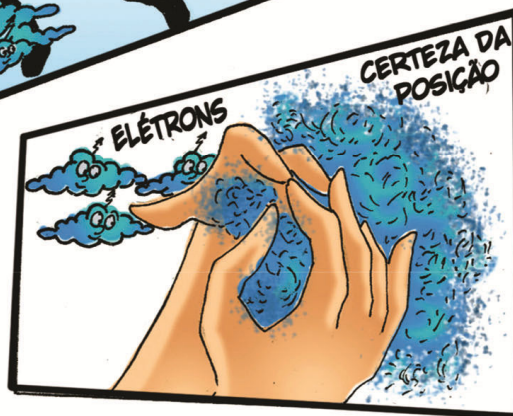
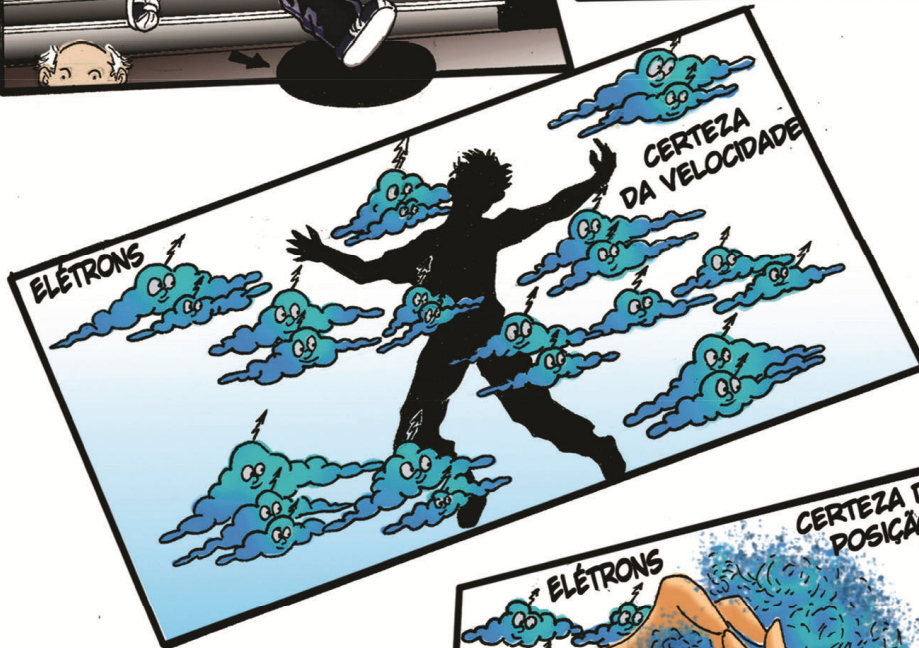
## no mundo quântico

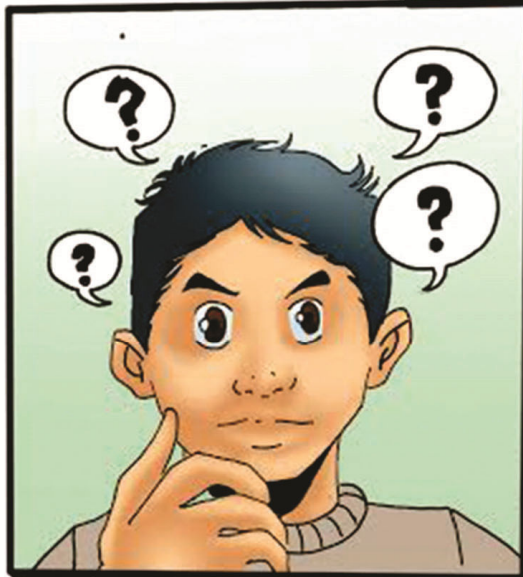


Roteiro: Rendisley Aristoteles / Ronni Arte: Roberto Ferreira / A.J. Cores: Osmar de Freitas

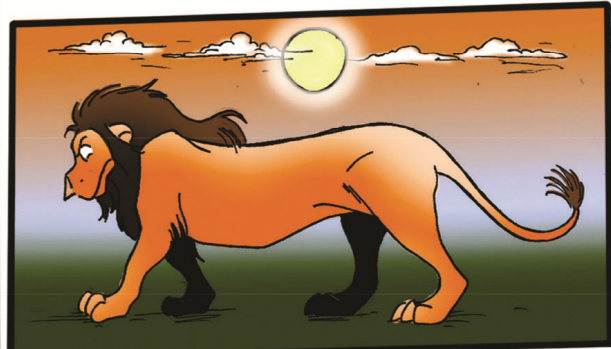


# Princípio da Incerteza





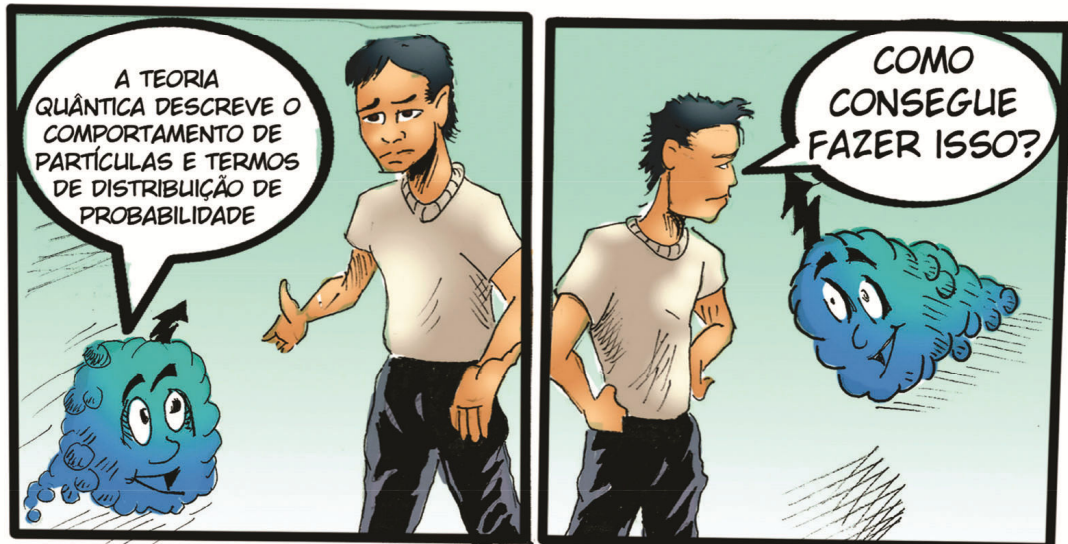
# SUPERPOSIÇÃO DE ESTADOS



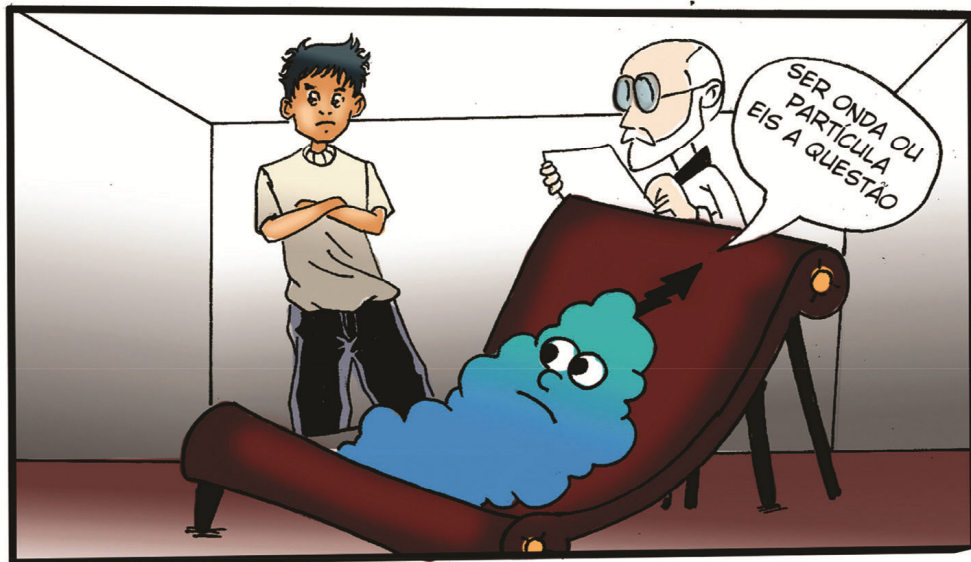
# EFEITO TÚNEL

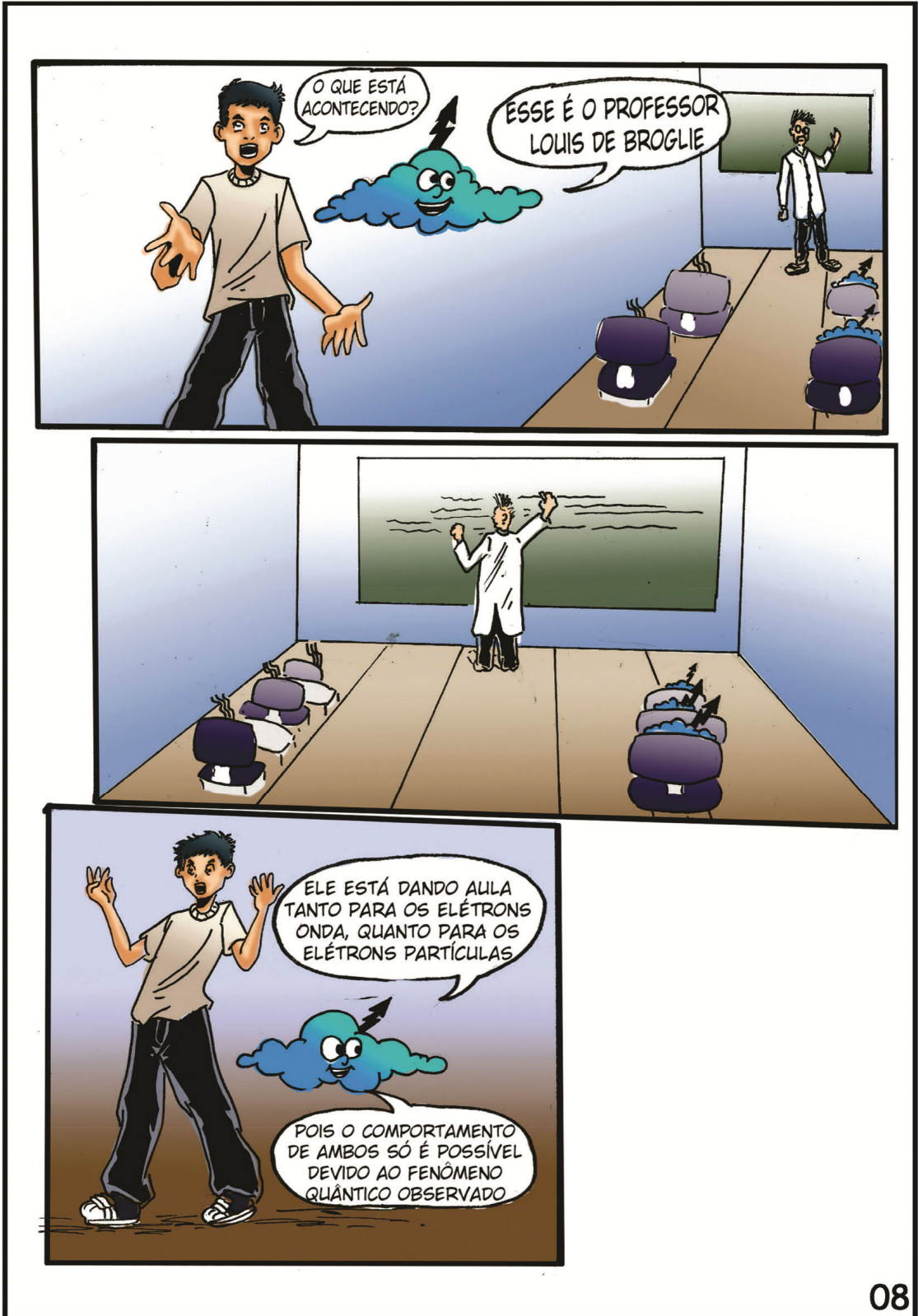


# PROBABILIDADE

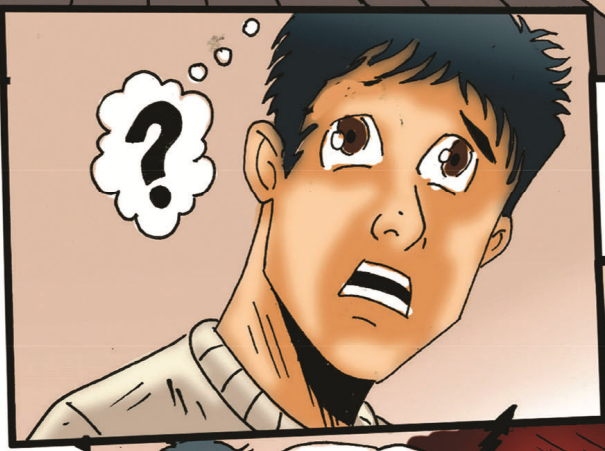


# LOUIS DE BROGLIE COMPORTAMENTO DUAL DO ELÉTRON





# PRINCÍPIO DA EXCLUSÃO DE PAULI





## 1. INTRODUÇÃO

O dia 14 de dezembro de 1900 estabeleceu um marco não apenas na história da ciência, mas também na história da humanidade, pois com a publicação do artigo intitulado “*Sobre a Teoria da Lei de Distribuição do Espectro Normal*” de autoria do cientista alemão Max Planck, nascia a Física Quântica. O alvorecer das primeiras ideias quânticas receberam uma propulsão a partir da necessidade que a comunidade científica sentia em explicar fenômenos que não eram explicados pelas teorias físicas até então propostas. Problemas como a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e a estabilidade do átomo não eram solucionados pela física Newtoniana e nem mesmo pela eminente teoria eletromagnética. Como acontece com qualquer concepção nova, as novas concepções das teorias físicas advindas com a teoria quântica trouxeram muitas controvérsias e geraram muitas discussões, as quais envolveram os maiores cientistas da época. No que concerne o trabalho de Max Planck, notamos o surgimento da ideia de quantização, pois com o objetivo de explicar a forma com que determinado material absorve ou emite radiação eletromagnética, Planck sugeriu que essa energia seria emitida em pacotes com unidades mínimas, as quais foram denominadas quanta. Com essa hipótese, Planck resolveu o problema do espectro de radiação do corpo negro, mas não explicou o porquê da quantização da energia. Seguindo esse panorama, o físico alemão Albert Einstein, publica em 1905, um artigo que explicava o efeito fotoelétrico. Nesse artigo, Einstein elucidava a emissão de elétrons que ocorre quando um feixe luminoso incide numa superfície metálica. Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein estabelece a hipótese que a luz era constituída de pacotes denominados fótons, assim, mais uma vez parecia uma proposta de quantização. Contudo, assim como ocorreu no trabalho de Planck, a hipótese de que a luz é constituída de fótons, apesar de elucidar o efeito fotoelétrico, não explica o fundamento da quantização. Um problema parecido surgiu quando o físico dinamarquês Niels Bohr, em 1913, introduziu o seu modelo atômico, no qual supôs que o elétron poderia se mover somente em órbitas determinadas onde não emitia radiação eletromagnética. A radiação era emitida somente quando o elétron “saltava” de uma órbita para outra. Com esse modelo, Bohr solucionou a estabilidade atômica e explicou o espectro de radiação discreto para o átomo de hidrogênio, porém, não ficou claro o motivo pelo qual o elétron não poderia ocupar posições intermediárias no espaço. Assim, por meio desses exemplos, percebemos que a teoria quântica desenvolvida até o primeiro quarto do século XX possuía bases teóricas e conceituais frágeis, pois os princípios eram esparsos e os enunciados eram criados com a finalidade específica de atender a uma necessidade pontual. Nesse escopo, os físicos ressentiam-se de postulados autênticos e princípios gerais dos quais poderiam formular uma teoria consistente, eficiente e abrangente. Esse desejo dos físicos se tornou realidade com o surgimento da Mecânica Quântica.

A Mecânica Quântica é a teoria científica mais bem sucedida da história da ciência. Esse fato se deve à infalibilidade, até o momento, de suas previsões serem constatadas mediante os experimentos. A Mecânica Quântica constitui a base da Física Atômica, da Física Nuclear, da Física do Estado Sólido e da Química Moderna, sendo assim, não é espantoso que um grande número de utensílios com valor tecnológico agregado tenham seus princípios de funcionamento embasados na Mecânica Quântica. Para se ter uma ideia, desde o pós-guerra, cerca de um terço do produto interno bruto dos Estados Unidos é oriundo da aplicação da Mecânica Quântica. Dessa forma, quando observarmos, por exemplo, os modernos telefones celulares e televisores, além de diversos outros equipamentos eletrônicos, devemos nos lembrar que são oriundos daquela aplicabilidade da teoria quântica. E ainda, há projeções que indicam que a partir da segunda década do século corrente, boa parte dos empregos em manufatura no mundo estarão ligados à nanotecnologia, e para se trabalhar nessa escala é indispensável um conhecimento sólido em mecânica quântica. Nesse panorama, este pequeno livro traz uma breve discussão das principais ideias da Mecânica Quântica, bem como algumas charges que nos ajudarão a compreender alguns fenômenos intrínsecos ao mundo quântico. O nosso objetivo é colaborar na divulgação, bem como disponibilizar a estudantes de ensino médio e curiosos um material de apoio ao ensino-aprendizado desta importante área da ciência. Sendo assim, a apresentação dos assuntos que compõem este material está organizada da seguinte forma: na seção 2 trataremos das ondas de matéria; na seção 3 discutiremos o princípio da incerteza; na seção 4 apresentaremos a equação básica da mecânica quântica e discutiremos todos os aspectos decorrentes dessa ferramenta; na seção 5 discutiremos alguns fenômenos quânticos peculiares; na seção 6 faremos um breve relato do colapso da função de onda e das diferentes interpretações da Mecânica Quântica. Em cada seção, disponibilizaremos as charges relacionadas aos assuntos discutidos.

## 2. LOUIS DE BROGLIE E AS ONDAS DE MATÉRIA

Estamos acostumados com o comportamento ondulatório, pois as ondas fazem parte do nosso cotidiano. Vemos as ondas se propagando no mar, escutamos graças as ondas sonoras e utilizamos diversos equipamentos eletrônicos, como o telefone celular, que funciona devido a propagação das ondas eletromagnéticas. No entanto, há um tipo de onda que não é nada habitual em nosso dia-a-dia. Trata-se das ondas de matéria, que são ingredientes básicos para a compreensão da mecânica quântica. A existência das ondas de matéria foi proposta pelo físico francês Louis de Broglie, em 1924, o qual apresentou essa sugestão em sua tese de doutorado. O comportamento dual da radiação eletromagnética já era conhecido, pois conforme sabemos, a luz se comporta algumas vezes como onda e outras como partícula. O comportamento ondulatório da luz pode ser destacado no experimento de difração, no qual a luz contorna obstáculos, enquanto que o comportamento corpuscular é utilizado na análise do efeito fotoelétrico. Apoiado nesse aspecto dual da luz e baseado no argumento da existência de simetrias na natureza, de Broglie propôs que o comportamento duplo também se aplicaria à matéria. As ideias de de Broglie, apesar de inicialmente terem provocado um certo desconforto na comunidade científica, receberam o apoio de Einstein e posteriormente renderam o prêmio Nobel em Física ao eminente físico francês. Na concepção de de Broglie, uma partícula material (um elétron, por exemplo) tem associada à ela uma onda que governa o seu movimento. Segundo Louis de Broglie, a onda de matéria associada ao movimento de uma partícula de momento  $p$  (o momento de uma partícula é definido como a multiplicação de sua massa pela sua velocidade) possui um comprimento de onda  $\lambda$  dado pela expressão

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

onde  $h$  é a constante de Planck.  $\lambda$  também é denominado de comprimento de onda de de Broglie. Utilizando a equação dada, podemos estimar que o comprimento de onda de de Broglie de uma bola de futebol que se move com uma velocidade  $v=10\text{m/s}$  é da ordem de  $10^{-34}$  m. Esse pequeno valor do comprimento de onda de de Broglie para a bola de futebol evidencia o porquê da natureza ondulatória da matéria não ser evidenciada no nosso dia-a-dia. Devemos lembrar que para verificarmos fenômeno de difração, as dimensões importantes do equipamento utilizado devem ser comparáveis com o comprimento de onda em questão. No caso de elétrons, que são objetos bem menos massivos que uma bola de futebol, aspectos ondulatórios relacionados ao seu movimento seriam bem evidentes caso utilizássemos um aparato experimental com as dimensões comparáveis ao comprimento de onda de de Broglie associado ao elétron. Nesse caminho, os cientistas C. J. Davisson, L. H. Germer e G. P. Thomson, receberam o prêmio Nobel de física, em 1937, por medir o comprimento de onda de de Broglie de elétrons lentos. É útil destacarmos que os aspectos corpuscular e ondulatório da matéria são complementares, ou seja, numa dada análise, devemos considerar somente um dos dois comportamentos e nunca os dois simultaneamente.

## 3. HEISENBERG E O PRINCÍPIO DA INCERTEZA

As ondas de matéria constituem um aspecto realmente estranho no que compreende o mundo quântico. No entanto, muitas outras propriedades que escapam do senso comum ainda serão tratadas no presente trabalho. Nesse caminho, apresentaremos agora o princípio da incerteza de Heisenberg, que estabelece a limitação em fazer uma medição da posição e do momento de uma partícula simultaneamente. Segundo esse princípio, publicado em 1927, quanto mais precisa for a medida da posição de uma partícula, mais imprecisa será a medida do momento, e vice-versa. Se fossemos analisar o nosso mundo clássico segundo o princípio da incerteza, um carro se movendo numa rodovia só poderia ter um dos dois parâmetros bem determinado, a sua posição ou a sua velocidade; assim se tornaria complicado saber precisamente onde o carro está e para onde ele vai. Matematicamente, a relação de incerteza por ser escrita como

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

onde  $\Delta x$  representa a incerteza na medida da posição, e  $\Delta p$  representa a incerteza na medida do momento. É importante salientar que a restrição não é em relação à precisão com que  $p$  ou  $x$  podem ser medidas, mas em relação ao produto  $\Delta x \Delta p$  numa medida simultânea de ambos. O que tira o princípio da incerteza do alcance das nossas experiências cotidianas é o fato de  $h$  ser pequeno. É possível demonstrar que a relação de incerteza apresentada é uma consequência das hipóteses ondulatórias apresentadas por de Broglie. E, assim como toda a mecânica quântica, o princípio da incerteza foi interpretado de diversas formas, sendo que há uma interpretação que estabelece uma relação entre tal princípio e o nosso livre arbítrio!

## 4. A EQUAÇÃO DE SCHROEDINGER

Conforme já mencionamos nas seções anteriores, a teoria quântica necessitava de um tratamento teórico que fornecesse uma base conceitual sólida, como ocorre com as outras teorias da física. O desenvolvimento da teoria quântica dependia desse fator, já que em sua fase inicial, não havia explicação para a inserção das hipóteses de quantização, apenas se sabia que introduzindo-as, se obtinha os resultados experimentais. No entanto, esse panorama já estava se modificando quando de Broglie sugeriu a hipótese das ondas de matéria. Apoiado no trabalho de de Broglie, o físico Erwin Schrodinger, desenvolve no ano de 1925 a equação de onda cuja solução representaria as tais ondas de matéria. É justo citar aqui que de Broglie tentou deduzir

uma equação para ondas de matéria, mas a equação proposta por ele não foi tão bem sucedida como a de Schrodinger. A equação de Schrodinger permitiu calcular corretamente as energias dos estados estacionários e explorar as cores presentes nos espectros de raios dos elementos, tendo se apresentado como a formulação teórica adequada para a descrição dos sistemas atômicos. Numa análise unidimensional, a equação de Schrodinger pode ser escrita como

$$-\frac{h^2}{8\pi^2m} \frac{d^2\varphi(x,t)}{dx^2} + V(x,t)\varphi(x,t) = \frac{ih}{2\pi} \frac{d\varphi(x,t)}{dt}.$$

Quando buscamos a solução dessa equação, estamos procurando a função  $\varphi(x,t)$ , que descreve o sistema quântico em questão. A função  $\varphi(x,t)$ , é denominada função de onda ou amplitude de probabilidade. Merece destaque o fato de não conhecermos ao certo o significado da função  $\varphi(x,t)$ , mas sabemos que  $|\varphi(x,t)|^2$ , representa a densidade de probabilidade de encontrar a partícula ou o sistema em determinada região do espaço. E, ainda, caso calculemos a integral  $\int |\varphi(x,t)|^2 dx$ , obtemos a probabilidade de a partícula ser encontrada numa determinada região do espaço. Outro ponto importante da equação é o potencial  $V(x,t)$  que nos informa como a partícula (ou o sistema) interage com o meio, ou seja, o potencial é a “impressão digital” do problema em questão. A equação de Schrodinger torna-se bem sucedida, pois mostra-se aplicável a diversas situações, e assim, a mecânica quântica, além de repetir cálculos já confirmados por resultados experimentais, passa a estabelecer previsões. Com o sucesso da equação proposta por Schrodinger, a mecânica quântica torna-se expressa matematicamente e adquire maturidade.

Apesar dos resultados alcançados por meio da aplicação da equação de Schrodinger, devemos destacar que a mecânica quântica é uma teoria probabilística. Sendo assim, seu caráter baseado em probabilidades desperta angústia em muitos físicos que se contrapuseram a emergente teoria. Parece estranho, mas um dos maiores críticos da mecânica quântica foi Albert Einstein, justamente um dos fundadores da física quântica. Um dos motivos que levou Einstein a sustentar oposição à Mecânica Quântica foi referente ao caráter probabilístico da teoria. Einstein era realista e, dessa forma, atribuía à natureza uma realidade objetiva, a qual o homem procura conhecer a verdade por meio da ciência. Assim sendo, acreditava na existência de uma teoria determinista para descrever o comportamento das partículas a nível microscópico. Einstein chegou a afirmar em uma de suas célebres frases que “Deus não joga dados”, fazendo uma alusão ao descrédito que atribuía a uma teoria que descrevesse a natureza por meio de probabilidades. Nesse sentido, Einstein era também crítico da escola de Copenhague, a qual aceitava com naturalidade a nova concepção introduzida pela emergente teoria. Tal escola interpretava a natureza probabilística da mecânica quântica como a contrapartida teórica das dificuldades inerentes aos processos de medida dos sistemas físicos. Nesse sentido, Einstein não admitia o conformismo expresso pela escola de Copenhague. Entretanto, mesmo contrária a uma das maiores mentes da ciência, a mecânica quântica avançou devido aos brilhantes resultados e aplicações. Hoje podemos afirmar que quase todo conhecimento que temos do mundo atômico é atribuído à mecânica quântica.

## 5. EFEITOS QUÂNTICOS

Apresentaremos nessa seção alguns fenômenos que são peculiares ao mundo quântico. Nesse aspecto, sempre que possível, procuraremos estabelecer analogias na tentativa de maximizar o entendimento. Dentre os fenômenos que mostraremos destacam-se os seguintes: o efeito túnel e o gato de Schrodinger. Antes, gostaríamos de lembrar aos leitores que as propriedades da mecânica quântica escapam do senso comum e como já dissemos, sua compreensão é complicada até mesmo para físicos experientes. Logo, para acompanhar os seus desenvolvimentos é necessário que uma dissociação com o mundo clássico e com o pensamento indutivo. Como disse o renomado físico americano Richard P. Feynman (1918-1988): “Se você acha que entendeu alguma coisa sobre mecânica quântica, então é porque você não entendeu nada”. Nessa frase Feynman comenta sobre a dificuldade de entender a mecânica quântica quando ainda estamos presos às ideias clássicas.

## 5.1. O GATO DE SCHROEDINGER

O primeiro efeito quântico que analisaremos é referente ao gato de Schroedinger. Com o objetivo de explicar as minúcias das soluções da equação fundamental da mecânica quântica, Schroedinger propôs o experimento imaginário no qual utiliza um gato que supostamente pode estar vivo ou morto ao mesmo tempo. Esse exemplo trata de uma forma simples de analisar o princípio da superposição das soluções da equação de Schroedinger. Tal princípio afirma que se para um determinado problema a equação de Schroedinger admitir duas soluções distintas  $|\alpha\rangle$  e  $|\beta\rangle$ , então o sistema pode ser descrito por meio da superposição das duas soluções, o que é matematicamente escrito como

$$|\varphi\rangle = |\alpha\rangle + |\beta\rangle$$

onde os estados  $|\alpha\rangle$  e  $|\beta\rangle$  existem simultaneamente. Contudo, quando observarmos o sistema, ou seja, quando efetuarmos uma medição, um dos estados colapsa (deixa de existir) e o outro é então detectado. Nesse sentido, o referido gato de Schroedinger faz alusão a essa curiosa propriedade quântica, conforme explicitamos a seguir. Considere um gato preso numa caixa onde há um recipiente com material radioativo que tem 50% de chance de emitir uma partícula radioativa a cada hora, e um contador Geiger. O contador Geiger é um aparelho utilizado para detectar radiação. Se o material liberar partículas radioativas, o contador percebe a sua presença e aciona um martelo, que, por sua vez, quebra um frasco de veneno. Evidentemente, ao se passar uma hora só terá ocorrido um dos dois casos possíveis: o átomo emitiu uma partícula radioativa ou não a emitiu (a probabilidade que ocorra um ou outro evento é a mesma). Como resultado da interação, no interior da caixa o gato estará vivo ou morto. Porém, isso não poderemos saber a menos que se abra a caixa para comprovar as hipóteses. Se tentarmos descrever o que ocorreu no interior da caixa, servindo-nos das leis da mecânica quântica, chegaremos a uma conclusão muito estranha. O gato viria descrito por uma função de onda extremamente complexa resultado da superposição de dois estados, combinando 50% de “gato vivo” e 50% de “gato morto”. Ou seja, aplicando-se o formalismo quântico, o gato estaria por sua vez “vivo” e “morto”; correspondente a dois estados indistinguíveis! Assim, a função de onda que representaria o estado do gato seria dada por

$$|\varphi\rangle = |\text{vivo}\rangle + |\text{morto}\rangle.$$

A única forma de averiguar o que “realmente” aconteceu com o gato será realizar uma medida: abrir a caixa e olhar dentro. Em alguns casos encontraremos o gato vivo e em outros um gato morto. Isso ocorre por que ao realizar a medida, o observador interage com o sistema e o altera, rompendo a superposição dos dois estados, fazendo com o que o sistema seja observado em um dos dois estados possíveis. E isso é uma forma simplista de explicar o que chamamos de colapso da função de onda, que é uma característica inerente ao processo de medição em mecânica quântica. Uma aplicação interessante deste fenômeno de superposição de estados quânticos está na computação quântica.

## 5.2. EMARANHAMENTO

Outra interessante propriedade da mecânica quântica que, por sua vez, também foge do senso comum, é o emaranhamento. Para entender esta propriedade, considere uma superposição de estados constituída por duas componentes. O emaranhamento quântico nos diz que se uma observação for feita sobre uma das componentes do sistema, essa observação afeta o resultado da observação feita sobre uma outra componente, que pode estar em um local bem distante da primeira, sem que haja qualquer interação entre elas. Como um exemplo pictórico, tomemos dois irmãos, Paulo e João. Paulo mora no Brasil, enquanto João vive em Portugal. Suponha que Paulo e João tenham, cada um, camisetas de 4 cores distintas. Num dia qualquer, Paulo vai ao guarda-roupas e retira um das camisetas ao acaso. No mesmo momento, João também faz o mesmo. Se a propriedade do emaranhamento fosse aplicada a este caso, e as camisetas dos dois irmãos constituíssem estados emaranhados, quando observássemos a camiseta retirada por Paulo no Brasil, seria possível conhecer a cor da camiseta que João retirou em Portugal. E um detalhe interessante é que não houve qualquer comunicação entre os irmãos. O emaranhamento encontra diversas aplicações, dentre as quais se destacam as suas contribuições à computação quântica, informação quântica e teleporte quântico.

### 5.3. EFEITO TÚNEL

Imagine que você estivesse rebatendo uma bola de ping-pong contra uma parede e, em determinado momento, a bola ultrapassasse a parede e emergisse do lado oposto. Esse comportamento, embora pareça muito estranho e considerado impossível do ponto de vista da física clássica, possui um análogo no mundo quântico. Na mecânica quântica ocorre que se um elétron se aproximar de uma barreira de energia, ele possui uma probabilidade de atravessar essa barreira mesmo que sua energia cinética for inferior que a altura da barreira (a energia necessária para atravessar a barreira). Esse fenômeno ocorre na prática. Como exemplo, tome um fio de cobre que tenha sido cortado e cujas pontas tenham sido enroladas uma na outra. O fio assim enrolado conduzirá eletricidade com dificuldade, embora os fios possam ter ficado recobertos por uma delgada película de óxido de cobre, que é um isolante. Os elétrons simplesmente “tunelam” através dessa película isolante. O efeito túnel também é observado, por exemplo, nos eventos de decaimento de núcleos radioativos.

## 6. INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA

Uma questão que merece destaque quando estudamos mecânica quântica, está relacionada às diferentes interpretações que cercam o instrumental matemático. Apesar do formalismo matemático da mecânica quântica ser tão bem sucedido, necessitamos de algo que nos mostre o que a teoria nos diz sobre o universo físico. Precisamos transpor os resultados das equações matemáticas e das regras de cálculo que se mostraram empiricamente adequadas e ir além, à procura do significado físico da função de onda. E, nesse caminho, a interpretação fornece a conexão entre o formalismo da teoria e o mundo físico. Assim, discutiremos nesta seção algumas importantes interpretações da mecânica quântica. A escola de Copenhague nos revela uma interpretação estatística, onde a probabilidade de encontrar uma partícula em uma dada posição é proporcional ao quadrado da função de onda, e o formalismo nos informa somente o comportamento médio das variáveis do sistema. Além disso, tal interpretação identifica a função de onda como o conhecimento do sistema. Nas seções precedentes, utilizamos nas discussões esta interpretação particular da mecânica quântica. Além disso, é importante ressaltar que a escola de Copenhague adota o comportamento dual (onda-partícula) da matéria.

Uma interpretação muito curiosa da mecânica quântica admite que cada componente da função de onda, isto é, cada estado quântico permitido por ela, representa uma realidade física separada. Essa é a interpretação de muitos universos, a qual supõe que o Universo está continuamente se dividindo em cópias incontáveis. No entanto, não há ligação física entre esses universos. No caso do gato de Schroedinger, por exemplo, há dois universos, sendo que em um deles o gato está vivo e no outro o gato encontra-se morto. É interessante ressaltar que esta interpretação descreve até mesmo o processo de medida, e ainda, com a suposição da existência de muitos universos, não há o colapso da função de onda. Outro fato igualmente notável é que na interpretação descrita aqui, a função de onda evolui com o tempo da mesma forma que discutimos antes, ou seja, obedecendo a equação de Schroedinger.

Finalizando as nossas discussões sobre as várias interpretações da mecânica quântica, apresentaremos a interpretação das variáveis ocultas. Conforme vimos nas seções anteriores, não é possível prever com certeza os resultados de uma medida, o que é intrínseco ao caráter probabilístico da mecânica quântica. Assim, a interpretação das variáveis ocultas nos diz que essa imprevisibilidade dos resultados das medidas seria devido a nossa incapacidade de conhecer os valores precisos de parâmetros ocultos. Tais parâmetros não seriam observáveis e teriam a evolução descrita por equações deterministas. E, nesse sentido, o estado de um sistema físico seria definido, em cada instante, por um certo número dessas variáveis ocultas.



Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE D



### Questionário de pesquisa (2)

Prezado (a) estudante,

Este questionário é parte integrante de uma pesquisa de mestrado que se desenvolve no Instituto de Física da Universidade de Brasília – UnB. Nosso objetivo é analisar a eficácia da aplicação de um material didático complementar ao ensino-aprendizagem de física moderna. É importante salientar que a sua participação será mantida anônima em toda a pesquisa e em qualquer circunstância pública em que os resultados da investigação vierem a ser apresentados. Nesse sentido, conto com sua colaboração respondendo as questões abaixo, com ética, responsabilidade e autenticidade de modo a auxiliar de forma significativa a pesquisa em questão.

Questão 1: Na sua opinião, os recursos didáticos utilizados no desenvolvimento do conteúdo de física moderna nas aulas de Física:

- a) Agradaram completamente
- b) Agradaram mais ou menos
- c) Não agradaram

Questão 2: Caso os recursos didáticos utilizados tenham o agradado completamente, informe os fatores que influenciaram em sua satisfação.

---



---



---



---



---



---



---

Questão 3: Caso você tenha respondido que os recursos didáticos utilizados o agradaram mais ou menos, informe os fatores positivos e os fatores negativos da utilização desses recursos.

---



---



---



---



---



---



---

Questão 4: Caso você tenha respondido que os recursos utilizados não o agradaram, informe os fatores que influenciaram em sua avaliação e em seguida apresente algumas sugestões de aprimoramento.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---