

Universidade Federal de Uberlândia
Física Licenciatura

BRUNO HENRIQUE SILVA

Ensino de Física Moderna Através de História em Quadrinhos

UBERLÂNDIA-MG

2017

BRUNO HENRIQUE SILVA

Ensino de Física Moderna Através de História em Quadrinhos

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física Licenciatura da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientadora: Profa. Dra. Mariana M. Odashima

UBERLÂNDIA-MG

2017

BRUNO HENRIQUE SILVA

Ensino de Física Moderna através de História em Quadrinhos

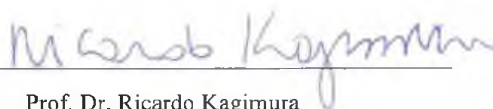
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Física da
Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para a obtenção
do título de licenciado em Física.



Profª. Dra. Mariana Mieko Odashima (orientadora)



Prof. Dr. Marcel Novaes



Prof. Dr. Ricardo Kagimura

05 de dezembro de 2017

Agradecimentos

Aos meus pais Mário e Mércia, por me apoiarem e sempre estarem ao meu lado me incentivando a continuar, demonstrando orgulho por essa etapa ao qual estou passando.

A minha irmã Beatriz pelo companheirismo, conversas e discussões produtivas que me fizeram crescer cada vez mais.

A minha orientadora Profa. Dra. Mariana M. Odashima, pela paciência, dedicação e incentivo.

Aos meus amigos Leonardo, Matheus e Analice, aos quais conheci no decorrer do curso e foram peças essenciais para a minha formação, a onde estudamos, conversamos, brincamos e tivemos grandes histórias juntos.

A minha namorada Safire, pelo seu imenso apoio, carinho e incentivo, peça fundamental para o minha maior estabilidade emocional.

A minha sogra Patrícia, pelo carinho, apoio e auxílio nos estudos.

A todos os meus colegas do curso, Wellington, Lucas, Arthur, Suzana, Amanda, Joab, Iacopo, entre outros, que de maneira direta ou indireta contribuíram para minha formação.

RESUMO

Com a implantação da Física Moderna no Ensino Médio, a demanda por recursos didáticos que explorem este conteúdo será crescente. No entanto, trata-se de uma área ainda pouco explorada e pouco divulgada fora do meio acadêmico. Os materiais disponíveis sobre Física Moderna nem sempre estão em uma linguagem acessível aos estudantes, enquanto os livros didáticos de ensino médio que a contemplam trazem, em sua maioria, o conteúdo apenas ao final na edição do terceiro ano. Acrescenta-se a esses obstáculos a falta de hábito dos alunos de recorrer à leitura do livro didático. Com o intuito de criar um material que possa auxiliar nesta lacuna, despertando o interesse dos estudantes, elaboramos uma História em Quadrinhos (HQ) voltada a conceitos de Mecânica Quântica básica. Tal proposta foi pensada para uma abordagem mais lúdica dos fenômenos físicos, trazendo uma linguagem informal e um contexto juvenil. Ao final da HQ, apresentamos um glossário com alguns dos conceitos de Mecânica Quântica. A HQ foi apresentada a licenciandos, estudantes de Física, e professores do ensino básico para avaliação sobre sua utilidade e possível eficácia.

Palavras-chave: Física Moderna, Mecânica Quântica, História em Quadrinhos, Graphic Novels.

ABSTRACT

With the implementation of Modern Physics in high school, the search for didactic resources that explore this topic will increase in the next years. However, it is still a very unexplored theme, not widely discussed outside the academic community. The material available on Modern Physics is often written in a language inaccessible to students, whereas the High School textbooks that bring this topic usually present it at the end of the last book of the series. In addition to such difficulties, students do not have the habit of reading the textbook. Aiming at developing a didactic material that can help overcoming this gap, stimulating the interest of the students, we have developed a comic book, focused on topics of Quantum Mechanics. This proposal was designed to achieve a more playful character of the physical phenomena, bringing an informal language and youthful context. At the end of the comic book, we present a glossary with some concepts of Quantum Mechanics. The comic book was presented to undergraduate Physics students and High School teachers for evaluation of its utility and possible effectiveness.

Keywords: Modern Physics, Quantum Mechanics, Comics, Graphic Novels.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	9
2 Revisão Bibliográfica.....	12
2.1 - A aplicação das HQs na escola.....	12
2.2 - O uso das HQs para o ensino de Física.....	13
2.3 - A Física Moderna no Ensino Médio.....	14
2.4 - O processo de transposição didática.....	15
3 Metodologia.....	16
4 Resultados e discussões.....	18
4.1 - A Pesquisa.....	18
4.2 - Análise das respostas às perguntas de classificação.....	19
4.3 - Análise das respostas à pergunta aberta.....	21
5 Considerações finais.....	24
6 Referências Bibliográficas.....	25
Anexos e apêndices.....	26
APÊNDICE A - A História em Quadrinhos: Aventura Quântica.....	26
APÊNDICE B - A História em Quadrinhos: Mundo Quântico - Com Mr. Young.....	49
APÊNDICE C - Respostas dos entrevistados.....	60
APÊNDICE D - Imagens utilizadas como bases para a produção da HQ Aventura Quântica.....	63

1 Introdução

A metodologia na educação é um dos grandes desafios do ensino escolar. Como filtrar, como escolher o que é mais interessante de ser abordado em sala de aula, como introduzir o tema, são questões centrais. A abordagem tradicional é a mais utilizada na sala de aula, onde o professor tem caráter agente, e o aluno, de ouvinte. Neste tipo de abordagem o aluno recebe instruções do professor e é subordinado a adquirir e imitar os modelos propostos, preocupando-se mais com a questão de quantidade de conceitos e menos com a parte de formação de pensamento reflexivo (MIZUKAMI, 1986). Dessa maneira, verifica-se um problema na metodologia tradicional, pois ela visa uma atuação maior do professor e uma atuação passiva do aluno.

O uso da metodologia tradicional no ensino de Física é fundamentado na apresentação de conceitos, leis e fórmulas, objetos aparentemente distantes do dia-a-dia dos estudantes. Sem uma contextualização adequada ao momento e sem uma reflexão e associação ao cotidiano, tangencia-se a Física a operações matemáticas. Segundo Paulo Freire (1996), há na escola uma visão “bancária” no qual os educandos são vistos como recipientes a serem encheidos com os “depósitos” de saber do educador - quanto mais cheios seus recipientes, maior será o saber adquirido. Tipicamente a física é ensinada de forma mecânica, através da repetição de exercícios e memorização. A metodologia tradicional e sua dominação “bancária” negligência o diálogo educador-educando.

Ensinar Física não é uma tarefa fácil; faz parte deste processo a condução da descoberta do mundo natural e de suas propriedades, no qual um fenômeno físico é transposto e visualizado em forma de símbolo. Trata-se do despertar para a compreensão do que acontece à sua volta, desde o simples balançar de um objeto pendurado, até a noção de funcionamento de um sensor infravermelho. Mas, apresentar o potencial da Física a uma sala repleta, não é trivial. Os jovens estudantes atualmente estão ligados às redes sociais, ao mundo dos jogos e das séries de televisão. Nos cinemas há jovens ansiosos diante do lançamento de filmes baseados em séries de TV, jogos, livros ou revistas em quadrinhos. A proposta de levar esse entusiasmo e fascínio para a sala de aula é uma possibilidade alternativa à abordagem tradicional, que convida o aluno ao conteúdo proposto utilizando recursos gráficos.

As revistas em quadrinhos são um material leve e acessível, com grande potencial incentivador. A sua estrutura programa um jogo de sobreposição de palavra e imagem, exigindo do leitor um trabalho de interpretação visual e verbal (EISNER, 1999), tornando as HQs interessantes para serem trabalhadas em sala de aula. As figuras coloridas e os personagens chamativos provocam a

curiosidade dos alunos, que se identificam com a personalidade do personagem e a situação ao qual ele está envolvido.

As histórias em quadrinhos também são conhecidas como HQs, Quadrinhos ou *Graphic Novels*. Termo ao qual foi criado pelo quadrinista Will Eisner [1917-2005]. A utilização das HQs como ferramenta no ambiente escolar já foi reconhecido pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996). Trata-se de uma ótima forma de explorar o conteúdo, uma vez que as características linguísticas da História em Quadrinhos são um material mais lúdico e que na maioria das vezes é construído de forma humorística utilizando o conjunto formado pelas imagens e textos. É possível jogar com os personagens e com o leitor numa busca de um equilíbrio entre a arte e ludicidade (QUELLA-GUYOT, 1994), servindo também como uma forma eficiente de chamar a atenção do aluno que estava desmotivado com a matéria.

A Física envolve vários mecanismos e fenômenos frequentemente incompreendidos pelos alunos dentro da sala de aula tradicional. A proposta apresentada pela Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2016) é de discutir analiticamente os dispositivos quânticos que existem nos equipamentos, como semicondutores e lasers. Utilizar desta proposta juntamente com as HQs será de grande valia para os professores, uma vez que a história será manipulada pelo professor em uma transposição didática do conteúdo para a maior adequação de seu público.

No ano de 2016 foi realizada uma exposição sobre mecânica quântica na Universidade Federal de Uberlândia, na qual os alunos da Licenciatura em Física discursaram sobre este tema com uma linguagem mais voltada para um público leigo. Neste evento foi desenvolvida uma história em quadrinhos simples para explicar o efeito dual das partículas com o experimento de Young (Anexo B), a qual foi projetada com montagens de imagens manipuladas no computador, devido a razões de tempo. Desde então despertou-se o interesse de criar uma história em quadrinhos onde a arte fosse autêntica, onde fosse possível manipular todas as expressões e ações dos personagens.

Este trabalho consistiu em criar uma História em Quadrinhos abordando alguns fenômenos da Física Moderna, com um personagem com poderes quânticos. As HQs já possuem um histórico vasto de personagens com superpoderes, dentre os quais nem todas as origens dos poderes são passíveis de serem explicadas. Neste projeto, tentamos apresentar de uma forma simples e informal alguns dos conceitos envolvidos em Mecânica Quântica para leigos. Buscar “quebrar a quarta parede” (uma fala em o personagem interage diretamente com o leitor) será um princípio muito utilizado nessa HQ, pois, quanto mais próximo o leitor se sentir do personagem, mais fácil será sua compreensão de seus poderes e sua capacidade.

O objetivo desta HQ não se limita a entreter o leitor; ela pode ser usada como um material de apoio ao professor que estará discutindo a mecânica quântica, tanto ao longo da matéria, ou como material motivador. A HQ pode também ser um material instigador àquelas pessoas curiosas, que não

cursam Física, onde leigos podem acompanhar o roteiro e tomar conhecimento sobre alguns conceitos de Física Quântica que fazem parte do dia-a-dia.

Esperamos obter uma História em Quadrinhos com qualidade gráfica aceitável e atraente. Um exemplo recente de sucesso nessa direção é a história do Astronauta Magnetar (BEYRUTH, 2012). É importante que tenhamos a avaliação de nossos colegas licenciandos, bem como suas críticas construtivas para a melhora do material proposto, que seria de grande valor para todos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 - A aplicação das HQs na escola

Nas escolas são comuns as queixas do desinteresse pela leitura, possivelmente devido ao fácil acesso à internet e redes sociais. Os alunos estão cada vez mais desmotivados a abrir e ler seu próprio livro didático. As histórias em quadrinhos, charges, e anedotas, são alguns dos artifícios que estão sendo mais utilizados nos livros didáticos hoje em dia para atrair a atenção do estudante.

Atualmente, é muito comum a publicação de livros didáticos, em praticamente todas as áreas, que fazem farta utilização das histórias em quadrinhos para transmissão de seu conteúdo. No Brasil, principalmente após a avaliação realizada pelo Ministério da Educação a partir de meados dos anos de 1990, muitos autores de livros didáticos passaram a diversificar a linguagem no que diz respeito aos textos informativos e às atividades apresentadas como complementares para os alunos, incorporando a linguagem dos quadrinhos em suas produções. (RAMA, VERGUEIRO, 2012, p.14)

O uso das HQs auxiliam no desenvolvimento do hábito da leitura por conter uma combinação de texto e imagens. Estas permitem ao aluno a imersão no universo da história devido à representação das ações e expressões dos personagens. Este pode ser um agente estimulante para a aprendizagem significativa, e um grande recurso didático para ser explorado em diversas disciplinas. Dessa forma ela pode ser utilizada também de forma interdisciplinar, contextualizando todo o seu enredo com atividades cotidianos do aluno e ou situações as quais eles só conseguem visualizar através da HQ. Segundo Moreira (2012, p. 2) a aprendizagem significativa é a relação que engloba o que o aluno já abstinha de conhecimentos anteriormente a uma ação de ensino aprendizagem e o que lhe é disposto posteriormente. Este seria o fator gerador do processo de conquista de significados para os novos conhecimentos, que possibilita também a reorganização dos pensamentos anteriores, ou a estabilidade cognitiva de tais.

Antes de desenvolver atividades de qualquer disciplina – um trabalho com operações matemáticas, por exemplo –, é preciso explorar todas essas formas de representação para ampliar a capacidade leitora e garantir que a criança ou jovem entenda ao máximo os recursos oferecidos, gerando sentido. (CARVALHO, 2009)

Com o intuito de conduzir o aluno a um contato maior com a disciplina de forma divertida, o quadrinho pode atender diferentes propostas ensino e não estar ligada diretamente com o material avaliativo, funcionando apenas um material de apoio ou de exercício de contextualização do conteúdo.

A utilização deste recurso de forma avaliativa também é de grande valia, uma vez que estimula a criatividade e a prática da linguagem escrita. Essas são apenas algumas formas de usar a HQ dentro da sala de aula.

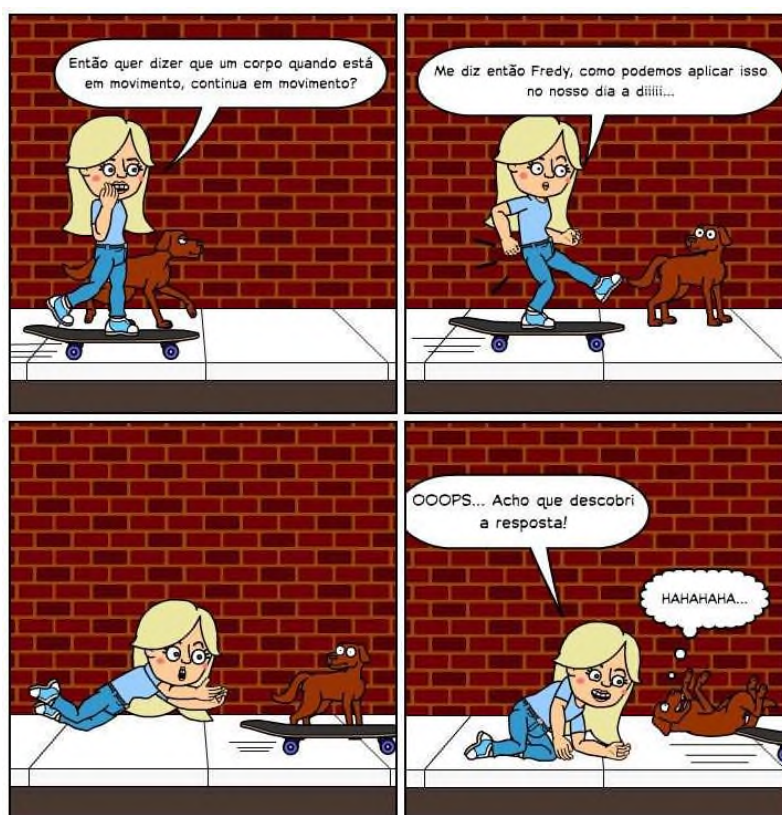


Figura 1: Quadrinho produzido pela aluna Laura do 1º ano do Ensino Médio – Curso Normal, do Instituto Estadual de Educação Barão de Tramandaí. Fonte: <http://professorandrios.blogspot.com.br/2012/11/este-post-traz-trabalhos.html>

2.2 - O uso das HQs para o ensino de Física

No ensino de Física é bastante presente a predominância do foco nas operações matemáticas. A reflexão conceitual, embora tenha enorme importância na construção do conhecimento científico, é frequentemente deixada de lado, tornando o conhecimento descontextualizado. O sistema tradicional expõe o aluno a um vasto conteúdo em um curto espaço de tempo. Sem materiais motivadores e sem uma aula centrada no aluno, este permanece em uma posição de memorização das informações dispostas pelo educador. É imposta ao professor uma estrutura curricular onde este fica preso ao cumprimento do conteúdo, que favorece a continuidade da aula tradicional expositiva.

A maioria dos docentes limita-se à transmissão unilateral de conhecimento, enquanto que a grande maioria dos alunos limita-se a suportar e memorizar as informações depositadas. (TESTONI & ABIB, 2004).

O professor, enquanto mediador, pode utilizar metodologias que aproximem o aluno de sua linguagem. Buscando uma abordagem diferente, sugerimos trazer o universo das HQs para a sala de aula. Como este universo apresenta infinitas possibilidades, e potencialmente de obter a atenção dos alunos, as HQs podem vir a constituir uma ferramenta educacional para o professor.

Na UERJ (Universidade Estadual do Rio de Janeiro) já existe um projeto em desenvolvimento denominado Educação de Ciências Através de História em Quadrinhos (EDUHQ). Esse projeto desenvolve a produção artística de materiais didáticos não formais, com o intuito do aluno vir a ser a peça fundamental na difusão do conhecimento, com a ajuda de professores, alunos de licenciatura e ensino médio (CARUSO; CARVALHO; SILVEIRA, 2005).

Como as HQs possuem também um caráter lúdico, estes podem ter o papel de despertar o interesse do aluno, tornando-se um objeto pedagógico de grande relevância. Segundo Rama e Vergueiro (2012), a criatividade do professor é o seu limite no uso de quadrinhos em sala de aula, podendo introduzir ou aprofundar algum conceito para gerar uma discussão sobre tal tema.

Tomemos como exemplo o aspecto lúdico que a leitura de uma HQ propicia, ou quem sabe suas características linguísticas próprias que permitem ao leitor interagir com o enredo ou a personagem, e podemos citar ainda toda a atividade que um Quadrinho desencadeia no sistema cognitivo do leitor. (TESTONI & ABIB, 2004).

2.3 - A Física Moderna no Ensino Médio

Com a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2016), a Física Moderna passa ser um elemento do currículo escolar, com o potencial de trazer a tecnologia que vivenciamos hoje para dentro da sala de aula. Muitos livros didáticos têm realizado esforços para incorporar este assunto, os quais são inseridos no último volume do livro do terceiro ano. No entanto, devido à grande quantidade de conteúdo e o pouco tempo de aula, a Física Moderna frequentemente não é abordada.

Nossa sociedade é altamente tecnológica. Tendo em vista a importância na formação de um cidadão adquirir uma compreensão acerca do meio em que vive, ressaltamos que vários dispositivos atuais empregam a física moderna em seu funcionamento.

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. (BRASIL, 2002, p.19)

É comum que os estudantes questionem seus professores sobre o funcionamento de determinada tecnologia, ou sobre a razão de determinados fenômenos físicos; é precisamente essa curiosidade que devemos explorar. Não faltam exemplos para a sala de aula: os chips de processadores, o pen-drive, o apontador laser, células solares, lâmpadas led. O aluno está rodeado de física moderna no seu dia-a-dia, essa realidade para ser incorporada à sala de aula. Nesse sentido, podemos buscar materiais de apoio, experimentos e atividades fora do ambiente escolar para estimular a busca pelo embasamento teórico.

2.4 - O processo de transposição didática

O ato de transformar o saber científico com palavras e expressões de modo a produzir um objeto de ensino, é chamado de transposição didática. Porém tal mudança não é simplesmente fazer uma realocação das palavras, deve-se fazer um processo de transformação de saberes, atribuindo-lhe um novo valor e relevância. A adaptação de um conhecimento com âmbito de ensinar e divulgar, exige uma seleção que possa interrelacionar o seu saber científico às possibilidades cognitivas dos alunos.

Um conteúdo de saber que tenha sido definido como saber a ensinar, sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O ‘trabalho’ que faz de um objeto de saber a ensinar, um objeto de ensino, é chamado de transposição didática. (CHEVALLARD, 1991, p.39, tradução nossa)

A transposição didática é uma técnica e, como tal, deve ser pensada, planejada, aprimorada e repassada com excelência e com bons exemplos a fim transpor saberes científicos. Também podemos reafirmar a transformação entre objeto de saber e objeto de ensino e o quanto a prática difere da teoria, assinalando a necessidade de mais percepção no ensino aprendizagem dos alunos.

Os professores de física são portadores de saberes que estão em uma linguagem restrita a comunidade científica, onde todos os conhecimentos existentes passaram por uma codificação no seu processo de criação. Estas linguagens são compreensíveis apenas àqueles que participam desse grupo. O conhecimento pode ser ensinado sem o uso da transposição didática, porém não trará resultados de aprendizagem satisfatórios quanto aos transpostos.

3 Metodologia

Este projeto tem como objetivo a criação de uma história para ser utilizada em sala de aula, com foco na exploração de Física Moderna. O formato em que essa história será escrita será em quadrinhos, buscando a proximidade com as pessoas através dos desenhos. Após a confecção da HQ, o material será distribuído para os licenciados analisarem a história, questionando se os mesmos utilizariam esse material como um apoio em suas aulas ou apenas uma sugestão para os alunos mais curiosos.

Para a construção da história em quadrinhos é preciso definir um roteiro e definir quais são os fenômenos que desejamos abordar. Em seguida devemos transcrever estes fenômenos para uma linguagem acessível a um público leigo. Esta é uma etapa complexa, pois os conceitos são não-intuitivos e transposições podem facilmente ser inadequadas. Seria interessante preparar um glossário ao final da história para que os alunos mais interessados possam encontrar mais informações.

A Mecânica Quântica é a parte física a qual queremos dar mais relevância nessa história, uma vez que esta matéria é pouco explorada nas salas de aula e uma das menos compreendidas. Ao longo do texto abordamos os conceitos de superposição, estado quântico, entrelaçamento, tunelamento, estado estacionário, efeito fotoelétrico, transístor e computação quântica. Alguns destes conceitos atraem muita atenção por serem contra-intuitivos, como a questão da superposição e o gato de Schrödinger, o tunelamento e também o entrelaçamento (ou emaranhamento) quântico. Introduzimos os conceitos de bits clássicos, utilizados nas tecnologias digitais e dispositivos eletrônicos, e da superposição em bits quânticos. O personagem do professor Nicolau esclarece alguns trechos, bem como os personagens adolescentes que participam da trama. Foram utilizados exemplos explícitos, como nos conceitos de superposição e entrelaçamento, e alguns mais diretos, como o tunelamento. Como a mecânica quântica traz ingredientes não-intuitivos e obviamente, não-clássicos, a explicação de certos conceitos sem a matemática que os fundamentam pode não ser satisfatória. Procuramos um balanço entre explanação e aplicação, como a cena onde a personagem Alice escapa através de efeito fotoelétrico.

O roteiro sofreu diversas mudanças e adaptações com relação a sua primeira versão, que incluía buracos de minhoca e buracos negros. Foram deixados de lado conceitos que também são importantes no ensino da Física Moderna, como por exemplo, efeitos relativísticos, e efeito Compton. Dentre as possibilidades de reviravolta na trama seria o cientista Nicolau ser o pai dos irmãos ou um

dos dois próprios, como o Alpha, que teria voltado do futuro. No entanto, isto traria um ingrediente adicional que não seria tão simples de justificar. Os irmãos gêmeos poderiam ser parte de um experimento relativístico, ou até de uma geração de par emaranhado, porém também não seguimos essas ramificações, devido à maior complexidade da trama.

No momento da construção do roteiro, são definidos os personagens e a trama, bem como o uso da Física ao longo do texto. Em seguida devemos analisá-la e separar as falas de cada personagem, colocando entre parênteses cada reação que deseja que ele tenha. A transposição para a arte necessita deste processo, pois o desenho fala por si próprio com relação a expressões. Na etapa da arte, é preciso desenhar cada quadro relacionando com as falas dos personagens. É importante mostrar os fenômenos não somente nas falas, mas sim tentar representá-los da forma mais conveniente possível em desenho.

Temos como ferramentas de trabalho: lápis, papel A4, caneta preta e um computador com o programa Adobe Photoshop. Utilizamos tutoriais disponíveis na internet para elaborar e refinar os desenhos. No ato da construção da arte foram utilizadas imagens retiradas da internet para aplicação de fundo e ou imagens representativas na HQ, referenciadas no Anexo 4. Como o intuito da HQ não é comercial e sim de caráter escolar, acreditamos que o uso dessas imagens contribuem para uma melhor produção desse recurso didático.

4 Resultados e discussões

4.1 - A Pesquisa

Inicialmente a pesquisa seria voltada apenas para os licenciandos. Para aplicar a HQ em sala de aula no Ensino Médio deveríamos conter vários exemplares impressos, e devido à conclusão da arte do projeto próximo ao prazo, a pesquisa presencial em sala de aula não foi realizada. No entanto a professora substituta do terceiro ano na Escola Estadual Guiomar de Freitas Costas (Polivante) disponibilizou a sua turma para fazermos uma tentativa de aplicação de forma digital. O link público para o acesso a HQ e um link para responder um questionário foram divulgados, porém até a presente data não obtivemos respostas dos alunos.

A HQ foi aplicada somente com os alunos dos cursos de física da UFU, sejam da licenciatura ou bacharelado, e também com professores já formados. Foram disponibilizados um arquivo em PDF para download e também um link com acesso público ao PDF para a realização da leitura online da HQ. Para responder a pesquisa disponibilizamos um questionário ao final do PDF e um link que direcionava ao questionário virtual pelo aplicativo dos formulários da plataforma Google.

Foram elaboradas 4 perguntas com o intuito de perceber qual o percentual de aprovação da HQ entre os participantes da nossa pesquisa. O respondente pode classificar as perguntas de 1 a 5. Ao final havia uma pergunta aberta para comentários sobre os pontos positivos e negativos da HQ, bem como dúvidas. As perguntas foram as seguintes:

- “O QUANTO VOCÊ RECOMENDA ESSA HISTÓRIA EM QUADRINHOS PARA OUTRAS PESSOAS.”
- “O QUANTO VOCÊ ACHA QUE ESSA HISTÓRIA EM QUADRINHOS PODE SER UTILIZADA EM SALA DE AULA.”
- “PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA, O QUÃO ÚTIL A HQ PODE SER PARA O AUXÍLIO DA DISCIPLINA?”
- “O QUANTO VOCÊ ACHA QUE O CONTEÚDO FÍSICO DA HQ FOI TRANSPOSTO PARA UMA LINGUAGEM MAIS ACESSÍVEL?”
- “ESCREVA OS ASPECTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA HQ:”

O objetivo inicial era conter várias avaliações para ter uma visão mais geral dos nossos colegas da Licenciatura e do Bacharelado de Física. Porém a pesquisa por ser em âmbito virtual e não possuir um longo prazo para sua realização, não recebeu muitos participantes. Obtivemos 18 participantes, dentre eles 14 são Licenciandos em Física e os outros 4 estudam ou trabalham na área da Física, porém não fazem parte da licenciatura.

4.2 - Análise das respostas às perguntas de classificação

Interpretaremos a gradação avaliativa da seguinte forma: de 1 a 2 pontos, trata-se de um conteúdo não satisfatório; para 3 pontos, uma avaliação mediana, onde é necessário mudanças e adaptações; de 4 a 5 pontos, consideremos um conteúdo satisfatório e produtivo para um futuro uso.

Na primeira pergunta podemos observar que a relação de pessoas que recomendariam com uma aprovação de 4 a 5 contabilizam 15 participantes, enquanto na marcação de 3 temos apenas um participante e dentre 1 a 2, estão contabilizadas 2 participantes. Sendo a porcentagem de recomendação com uma classificação superior a 4 muito maior que as inferiores a 3.

O QUANTO VOCÊ RECOMENDA ESSA HISTÓRIA EM QUADRINHOS PARA OUTRAS PESSOAS.

18 respostas

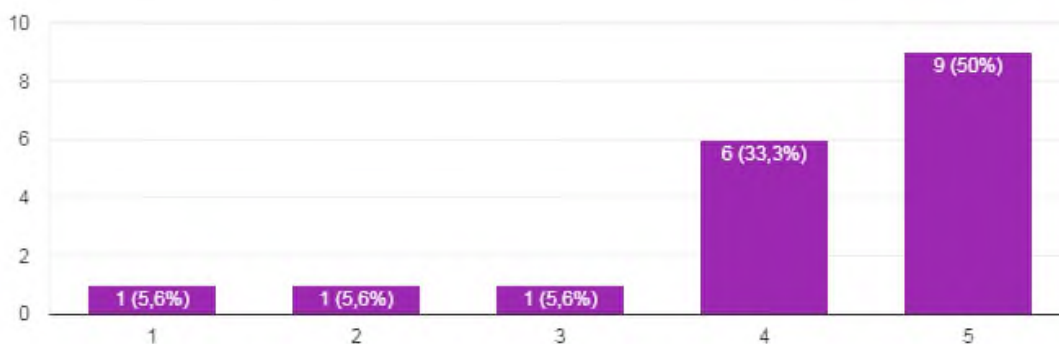


Figura 2: Gráfico da relação de pessoas que assinalaram entre 1 a 5 na primeira pergunta.

Podemos perceber que a resposta da segunda pergunta, que concerne a utilização escolar, obteve resultados similares ao da pergunta anterior, ou seja, o material pode ser recomendado e utilizado em sala de aula, com certeza, para 9 dos 18 respondentes. Temos de dois a três de 18 participantes que não recomendam o uso desta história em quadrinhos.

O QUANTO VOCÊ ACHA QUE ESSA HISTÓRIA EM QUADRINHOS PODE SER UTILIZADA EM SALA DE AULA.

18 respostas

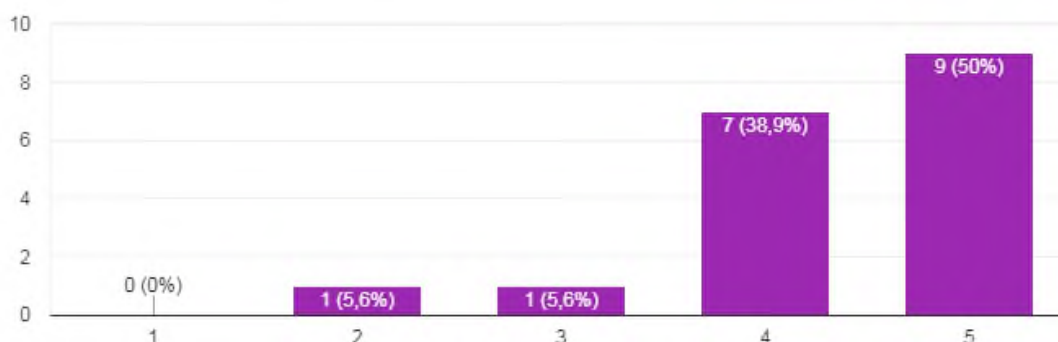


Figura 3: Gráfico da relação de pessoas que assinalaram entre 1 a 5 na segunda pergunta.

Conforme progredimos com as perguntas a respeito da inserção do objeto de pesquisa o ambiente escolar, as porcentagens de aprovação melhoraram ligeiramente. Na pergunta subsequente, sobre a utilidade da HQ para o Ensino de Física Moderna, a quantidade de participante que assinalaram de 1 a 2 pontos foi nula. Essa informação é importante, pois mesmo aqueles poucos que não recomendam o material e não acreditam que possa ser utilizado em sala de aula, perceberam algum potencial no ensino de física moderna, ainda que mediano.

PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA, O QUÃO ÚTIL A HQ PODE SER PARA O AUXÍLIO DA DISCIPLINA.

18 respostas

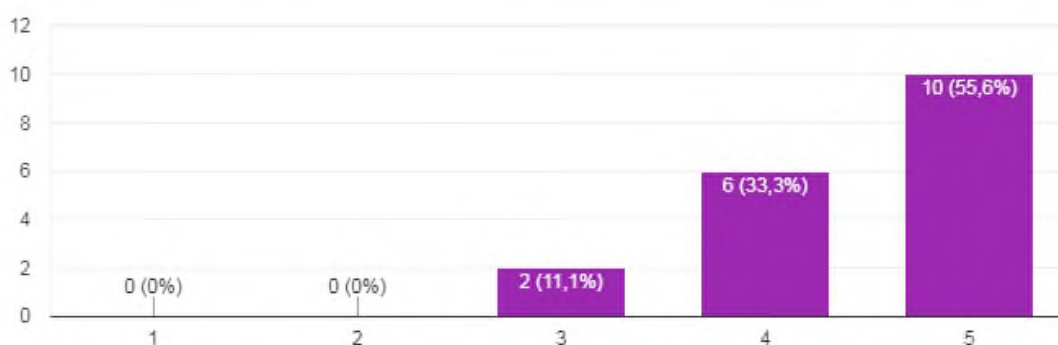


Figura 4: Gráfico da relação de pessoas que assinalaram entre 1 a 5 na terceira pergunta.

Com relação a transposição didática realizada na produção da HQ obtivemos uma boa taxa de aprovação, obtendo 15 participantes assinalando de 4 a 5 pontos, 1 participante assinalou 3 pontos e apenas 2 participantes assinalaram de 1 a 2 pontos. Embora a maioria tenha avaliado positivamente a transposição, temos leitores que não a consideraram bem-sucedida.

O QUANTO VOCÊ ACHA QUE O CONTEÚDO FÍSICO DA HQ FOI TRANSPOSTO PARA UMA LINGUAGEM MAIS ACESSÍVEL.

18 respostas

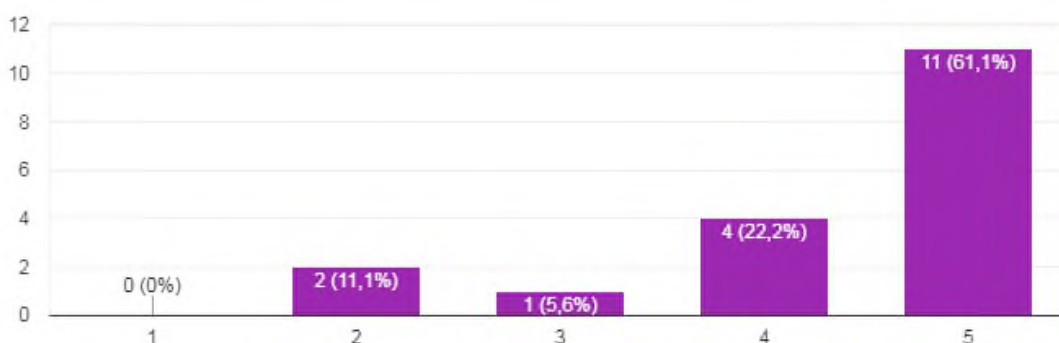


Figura 5: Gráfico da relação de pessoas que assinalaram entre 1 a 5 na quarta pergunta.

A partir deste questionário simples, podemos concluir que a taxa de aprovação da História em Quadrinhos foi positiva e que o uso do nosso objeto de estudo nas salas de aula do Ensino Médio é uma proposta relativamente bem aceita pelos futuros professores de Física.

4.3 - Análise das respostas à pergunta aberta

A última pergunta do nosso questionário solicitava aos participantes pontos positivos e negativos com relação à HQ. Neste espaço os leitores fizeram suas considerações sobre o objeto de pesquisa. Vamos nos referir aos participantes com siglas, como por exemplo PN, sendo N um número pertencente ao conjunto de números naturais (1, 2, 3, ...) e P referente à palavra “participante”.

Todas as falas colocadas aqui seguem fielmente o que foi colocado no questionário, e estão alocadas por completo no Anexo 3. Dentre os aspectos positivos podemos destacar algumas respostas dos participantes

P7 - “Achei super interessante a forma que foi abordado os conceitos, é possível ser utilizado como uma ferramenta útil nas salas de aula para facilitar a parte conceitual de MQ (algo quase não visto nos cursos de Física, porém de suma importância!) Achei muito legal como foi abordado o efeito fotoelétrico e o tabelamento, poço de potencial. Muito interessante e lúdico! Poderia ser utilizado para motivar as pessoas a aprender quântica.”

P8 - “A HQ é muito interessante e pode despertar a curiosidade do leitor. Creio que o uso da HQ seria interessante se usada como entretenimento didático, ou como uma atividade extra aula para auxiliar. [...].”

P10 - “A história em quadrinhos permite ao estudante compreender conceitos relacionados à mecânica quântica enquanto se diverte e se concentra no enredo da história. Isto torna o conhecimento acessível e menos denso; [...].”

A maioria das falas evidencia o uso positivo da comunicação proposta pela linguagem informal empregada pelo gênero Histórias em Quadrinhos. Muitos sugeriram e apontaram que o uso do objeto de pesquisa no ambiente escolar seria interessante e produtivo, tanto quanto pelo seu caráter lúdico e atrativo, quanto pelo fato de conter um glossário ao seu final.

Nem todos os participantes descreveram aspectos negativos e ou críticas, às quais foram consideradas como críticas construtivas para a produção desse recurso didático ao qual estamos utilizando como objeto de pesquisa. Algumas respostas foram de caráter recorrente, outras foram isoladas, porém significativas para a melhoria da HQ.

P5 - “[...] Negativos: Textos extensos nas falas dos personagens.”

P13 - “[...] Devido as personalidades dos personagens, talvez convinhasse inverter o nome dos personagens, remetendo às expressões “macho alfa” e “beta”... Procurar fazer os traços dos desenhos menos sexualizados, principalmente para a Alice. Página 7, quarto quadrinho, se eu não me engano a imagem desse gato em estado de superposição vivo e morto é de um livro ou alguma coisa do tipo, não sei se você pode usar esse tipo de imagem na confecção da HQ, se não for desconsiderar esse comentário. Página 8, terceiro quadrinho, quando a Alice Fala “ah, está na sala 1” colocar entre aspas, pois ela está falando a fala de outra pessoa. Talvez compense mudar o visual do visor do uniforme da Alice, ele está parecendo aquelas tarjas pretas que colocam em imagens para não identificar pessoas menores de idade. Se possível melhorar um pouco a expressões faciais de emoção, como raiva e surpresa por exemplo. Mesmo o cara musculoso aparentando ter uma personalidade “macho alfa”, ele ainda é está no 3º lugar no ranking, então pode ser melhor ao invés de ele fazer tantas perguntas, dando a impressão que ele não saiba de nada, ele explicar um pouco algumas coisas também...”

P18 - “[...] Aspecto negativo: muitos conceitos abordados em pouco tempo, não dando devida atenção para cada um.[...]”

Como podemos observar entre as falas, recebemos muitas críticas à quantidade de texto nos balões, o que realmente pode reduzir o fator atrativo da HQ. Esta foi uma falha no processo de produção, que deveria apresentar textos mais separados dentre os quadros, e mais desenhos. O participante 13 deixou várias pontuações, às quais foram interpretadas como sugestões para melhorias da nossa HQ. Devido à problemas na execução da arte, foram utilizadas algumas imagens da internet com fins de ilustração representativas de algumas passagens da HQ.

Obtivemos também sugestões para a alteração no conceito estético do nosso glossário, colocando as palavras chaves em negrito. Devido à falhas na execução do tempo do projeto, o glossário foi deixado pouco atraente e sem figuras ilustrativas.

Recebemos também críticas referentes ao curto espaço de tempo em que os fenômenos foram anunciados e abordados, questionando se isso poderia deixar alguns alunos confusos. Um participante considerou que o uso da HQ para pessoas leigas não seria de um bom proveito, porque para uma boa compreensão deve-se ter alguns conhecimentos prévios ou a condução de um professor para a leitura.

5 Considerações finais

O uso da história em quadrinhos em sala de aula possui potencial de gerar uma melhor relação por parte do aluno com relação ao conteúdo disposto, justamente pelo seus aspectos atrativo, divertido e de linguagem informal. Uma história em quadrinhos sobre temas de mecânica quântica é um recurso novo, cujas dificuldades de transposição foram, em primeira análise, superadas dentro deste projeto.

A partir das respostas dos participantes do questionário, podemos dizer que a história em quadrinhos proposta foi bem aceita pelos entrevistados, com avaliação positiva superior à negativa. A maior parte das críticas concernem principalmente as escolhas de arte e quantidade de texto nos balões, que são consistentes com a falta de experiência ou o caráter incipiente da proposta. Uma parcela pequena dos leitores não recomendaria a HQ e nem consideraram útil para uso em sala de aula. No entanto, tivemos praticamente respostas positivas acerca do potencial para ensino de física moderna. Possivelmente com melhorias na diagramação e roteiro, a HQ pode atingir um resultado satisfatório para estes leitores.

Uma avaliação com os alunos do ensino médio faz-se necessária para dar o significado deste objeto de pesquisa. Todas as sugestões deixadas pelos participantes foram consideradas, e dentro do possível, serão adotadas para a melhoria desse nosso recurso didático.

6 Referências Bibliográficas

- BEYRUTH, Danilo. **Astronauta Magnetar**. Barueri: Editora Mauricio de Sousa, 2012. 82 f.
- BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei n 9.394, de 20 de dezembro de 1996.
- BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica, Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+), 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2016.
- CARVALHO, Juliana. Trabalhando com quadrinhos na sala de aula. 2009. Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/suavoz/0116.html>. Acesso em: 16 jul. 2016.
- CARUSO, Francisco, CARVALHO, Mirian de, SILVEIRA, Maria Cristina de Oliveira. Ensino não-formal no campo das ciências através dos quadrinhos. **Ciência & Cultura**, vol. 57, no. 4, pp. 33-35, 2005.
- CHEVALLARD, Yves. **La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné**. La Pensée Sauvage Éditions: Grenoble, 1991.
- EISNER, Will. **Quadrinhos e Arte Sequencial**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Editora Paz e Terra, 1996.
- MARTINS, Paulo Roberto. Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente no Brasil: Perspectivas e Desafios. IN: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004.
- MOREIRA, M. A. O que é afinal Aprendizagem Significativa? **Qurrriculum**, La Laguna, Espanha, n. 25, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.
- MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.
- RAMA, Angela, VERGUEIRO, Waldomiro. **Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula**. São Paulo: Editora Contexto, 2012.
- SANTOS, Roberto E.; VERGUEIRO, Waldomiro. Histórias em quadrinhos no processo de aprendizado: da teoria à prática. **EccoS – Revista Científica**, São Paulo, n. 27, p. 81-95, jan./abr. 2012. Acesso em: 31 jul. 2016.
- QUELLA-GUYOT, D. **A História em Quadrinhos**, São Paulo: Unimarco Editora, 1994.
- TESTONI, L.A., ABIB, M.L.V.S. **Um corpo que cai: as Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física**. Dissertação de mestrado. 2004. FEUSP. São Paulo.

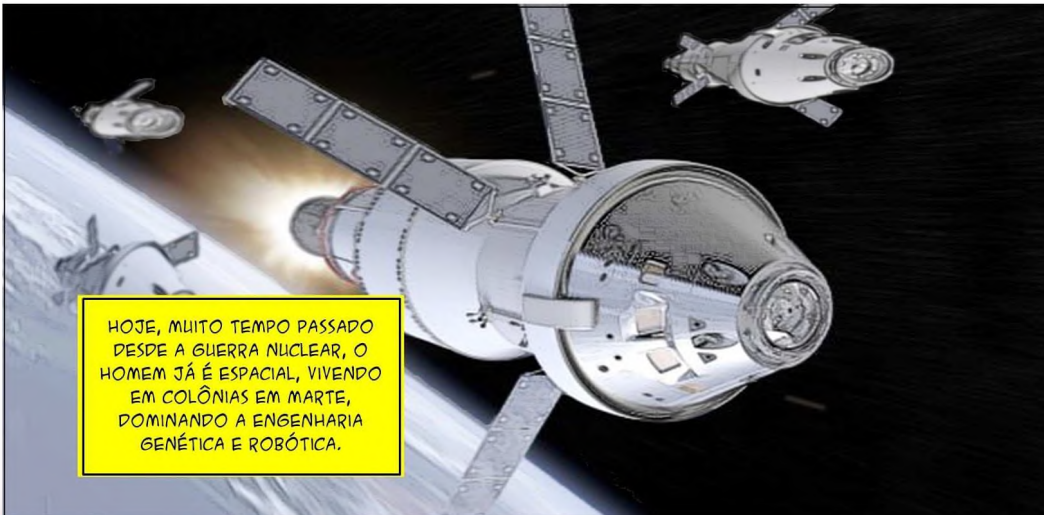
Anexos e apêndices

APÊNDICE A - A História em Quadrinhos: Aventura Quântica

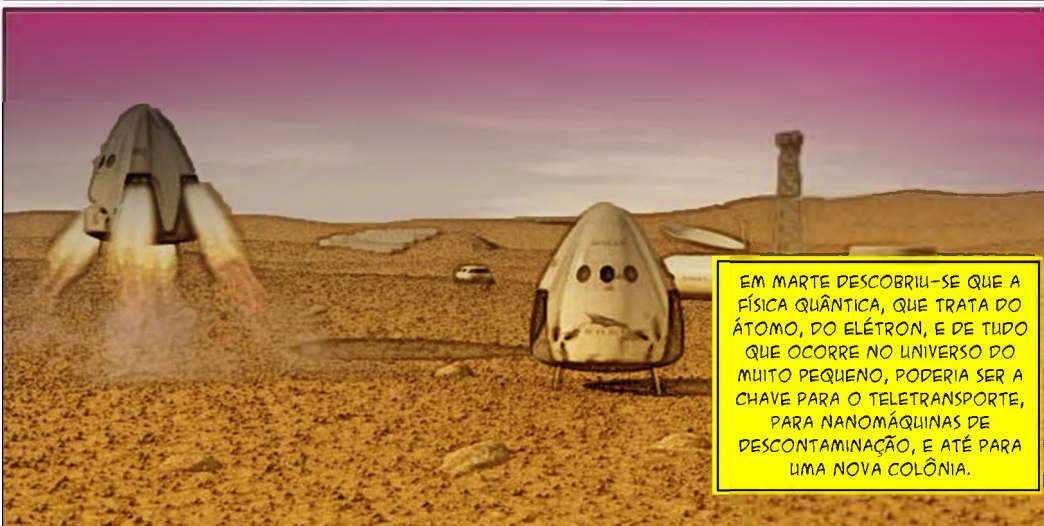




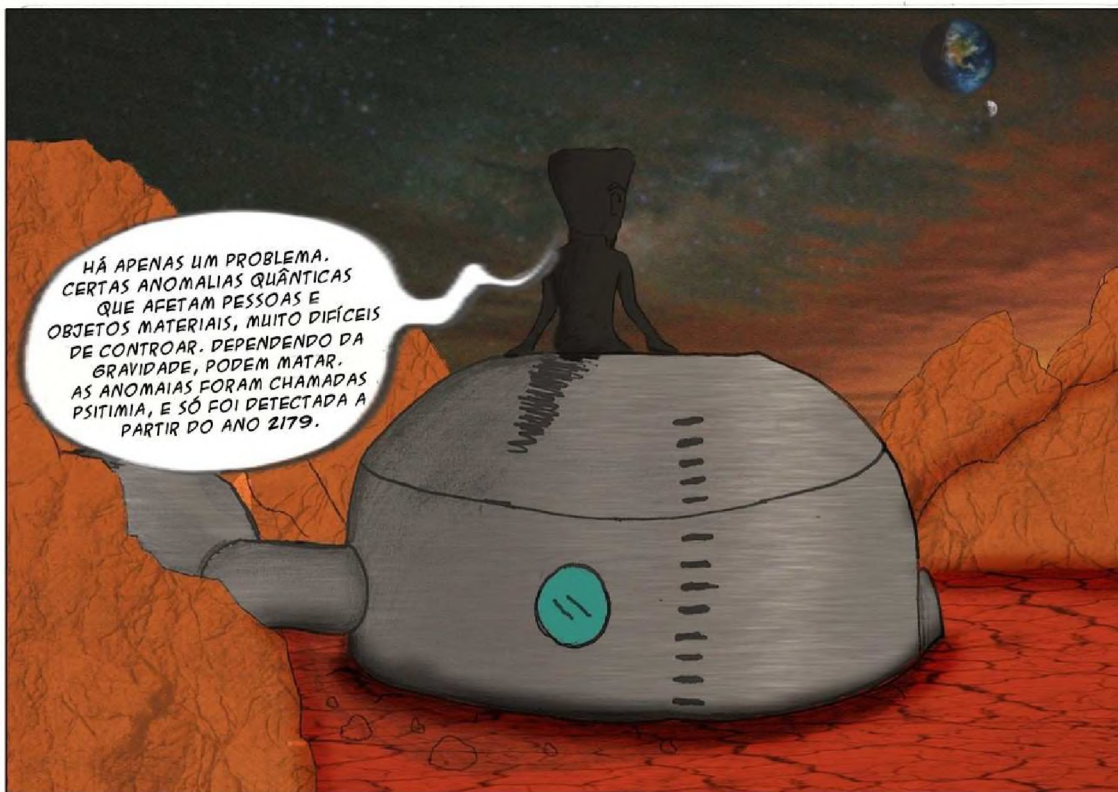
NO ANO DE 2027 O DITADOR K-J INICIOU A GUERRA NUCLEAR, QUE DEVASTOU O PLANETA CONTAMINANDO O SOLO, ÁGUA E AR. AS GERAÇÕES DE CIENTISTAS QUE RESTARAM PROCURARAM TECNOLOGIAS PARA RESOLVER ESSE PROBLEMA. ELES CONSEQUIRAM PRATICAMENTE TUDO, EXCETO DESCONTAMINAR A TERRA.



HOJE, MUITO TEMPO PASSADO DESDE A GUERRA NUCLEAR, O HOMEM JÁ É ESPACIAL, VIVENDO EM COLÔNIAS EM MARTE, DOMINANDO A ENGENHARIA GENÉTICA E ROBÓTICA.



EM MARTE DESCOBRIU-SE QUE A FÍSICA QUÂNTICA, QUE TRATA DO ÁTOMO, DO ELÉTRON, E DE TUDO QUE OCORRE NO UNIVERSO DO MUITO PEQUENO, PODERIA SER A CHAVE PARA O TELETRANSPORTE, PARA NANOMÁQUINAS DE DESCONTAMINAÇÃO, E ATÉ PARA UMA NOVA COLÔNIA.



HÁ APENAS UM PROBLEMA. CERTAS ANOMALIAS QUÂNTICAS QUE AFETAM PESSOAS E OBJETOS MATERIAIS, MUITO DIFÍCEIS DE CONTROLAR. DEPENDENDO DA GRAVIDADE, PODEM MATAR. AS ANOMALIAS FORAM CHAMADAS PSITIMIA, E SÓ FOI DETECTADA A PARTIR DO ANO 2179.



SAUDAÇÕES, MEU NOME É ALPHA! TENHO 17 ANOS E SOU O MELHOR ALUNO DO PROJETO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CIÊNCIAS. MEU SONHO É...

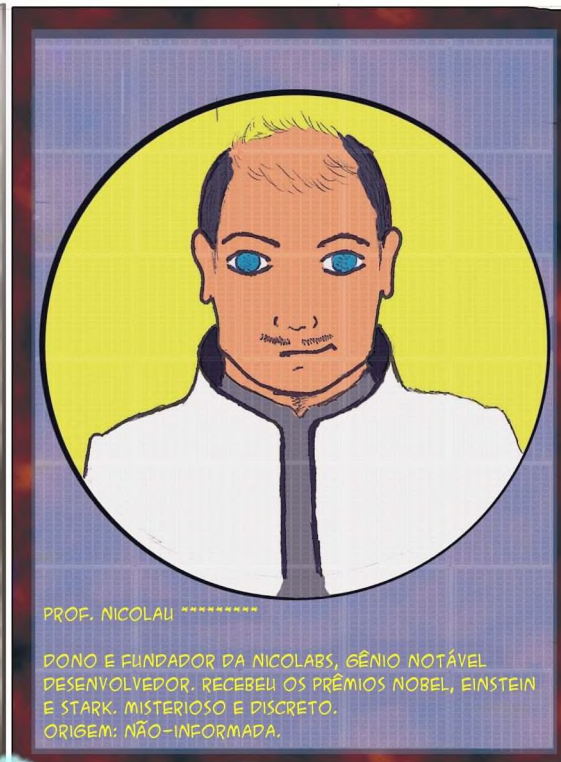
**GRRR...
TEM MENSAGEM
NOVA PRA VOCE!**

APLHA 218342PHI

EXCELENTE ALUNO - RANKING: 1º LUGAR

IDADE: 17 ANOS

HABILIDADES: AGILIDADE, CAPACIDADE ANALÍTICA E MULTICRIATIVA NÍVEL 5, CAPACIDADE DE CONCENTRAÇÃO E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS NÍVEL 5.



PROF. NICOLAU *****

DONO E FUNDADOR DA NICOLABS, GÊNIO NOTÁVEL DESENVOLVEDOR. RECEBEU OS PRÊMIOS NOBEL, EINSTEIN E STARK. MISTERIOSO E DISCRETO. ORIGEM: NÃO-INFORMADA.

NICOLABS?
NÃO É POSSÍVEL!
A NICOLABS É O MAIOR
COMPLEXO DE
LABORATÓRIOS
DEDICADOS
À ENGENHARIA
QUÂNTICA!
SÓ FÍSICA MODERNA E
CONTEMPORÂNEA!



TRÊS ALUNOS DO PROJETO FORAM
CONVIDADOS A CONHECER O NICOLABS.
IREMOS EU, ALPHA, MEU IRMÃO
GÊMEO BETA E NOSSA AMIGA ALICE.
SOMOS TODOS LOUCOS PARA
CONHECER O PROFESSOR NICOLAU.



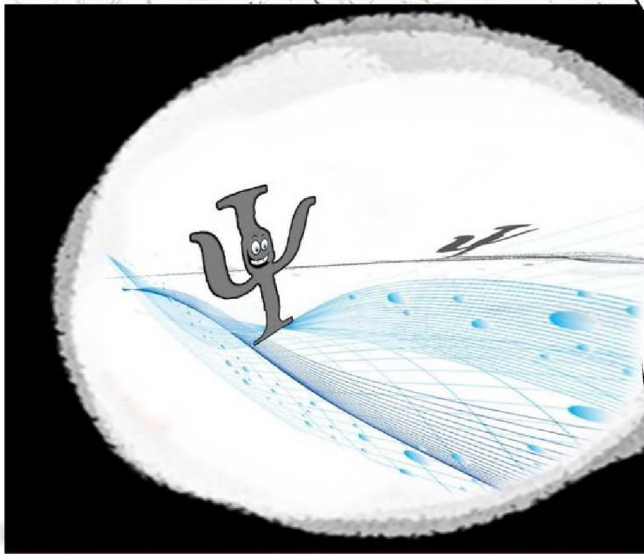
ALICE 2084070EPR

EXCELENTE ALUNA - RANKING: 2º LUGAR
IDADE: 18 ANOS
HABILIDADES: REFLEXOS RÁPIDOS E PRECISOS,
CAPACIDADE ANALÍTICA E MULTICRIATIVA NÍVEL 5



BETA 218576PHI

EXCELENTE ALUNO - RANKING: 2º LUGAR
IDADE: 17 ANOS
HABILIDADE: FORÇA, AGILIDADE E PERSISTÊNCIA.
CAPACIDADE DE CONCENTRAÇÃO E SOLUÇÃO DE
PROBLEMAS NÍVEL 5



#MELHORDIADAMINHAVIDA - VISITA AO NICOLABS







ALPHA, VOCÊS FORAM SELECIONADOS PARA VIR AQUI POR ESTE MOTIVO.

EU QUERO!

CLARO!

BORA!

VOCÊS GOSTARIAM DE CONHECER O NOSSO EXPERIMENTO NANOTRIP? TEMOS TRAJES QUE PERMITEM O ACESSO AO MUNDO NANOSCÓPIO, MILHARES DE VEZES MENOR QUE O GRÃO DE POEIRA.



ESTES SÃO OS TRAJES.

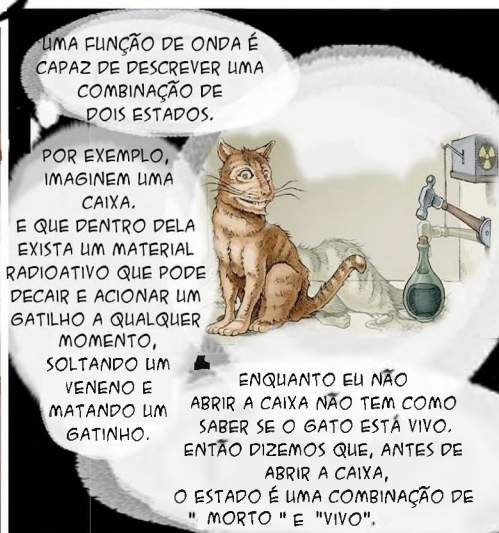
COM O TRAJE VOCÊS SE TORNARÃO TAMBÉM PARTÍCULAS QUÂNTICAS! O TRAJE IRÁ PROTEGÊ-LOS POR COMPLETO. VOCÊS NÃO PODERÃO VER COMO OS OLHOS RECEBEM LUZ, JÁ QUE NA NANOESCALA A LUZ TAMBÉM SERÁ QUÂNTICA. QUALQUER INTERAÇÃO SERÁ CONVERTIDA EM INFORMAÇÃO DIGITAL PARA NOSSOS COMPUTADORES.

AFF, NÃO TINHA UM DESIGNER MELHOR NÃO? TÁ PARECENDO OS POWER RANGERS.



NÃO CONSIGO ACREDITAR, MAS COMO ELE FUNCIONA?

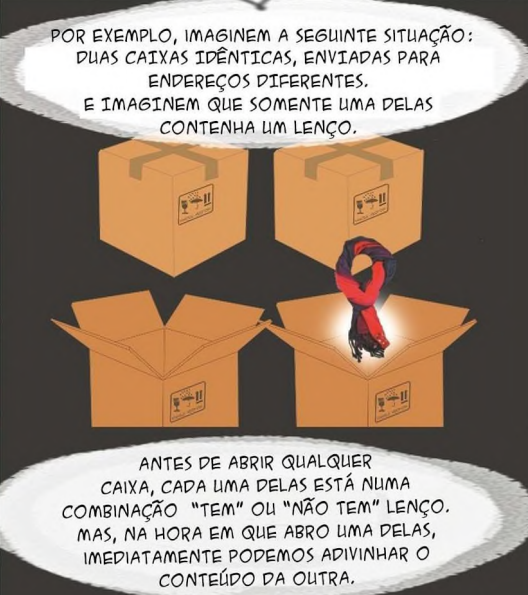
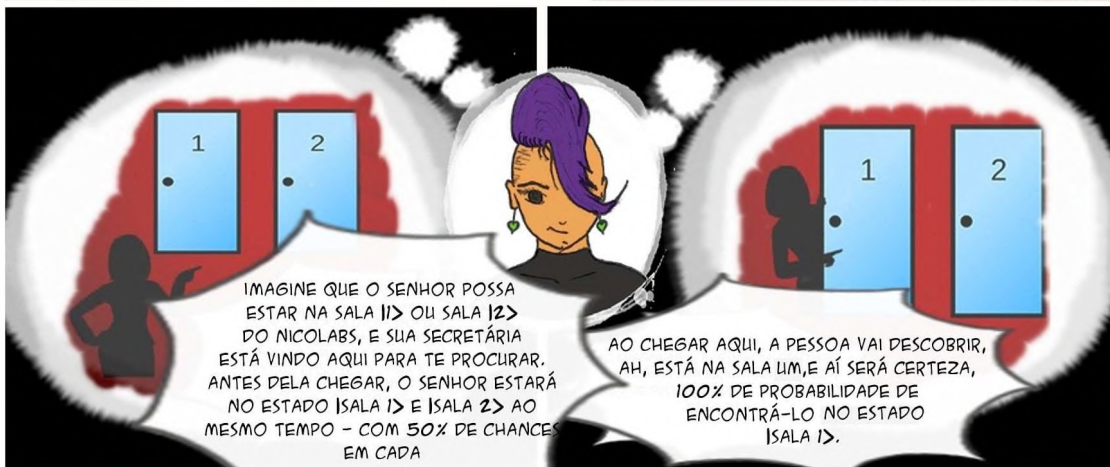
PARABÉNS PROFESSOR, O SENHOR É MESMO O GÊNIO DA TECNOLOGIA.



UMA FUNÇÃO DE ONDA É CAPAZ DE DESCREVER UMA COMBINAÇÃO DE DOIS ESTADOS.

POR EXEMPLO, IMAGINEM UMA CAIXA. E QUE DENTRO DELA EXISTA UM MATERIAL RADIOATIVO QUE PODE DECAIR E ACIONAR UM GATILHO A QUALQUER MOMENTO, SOLTANDO UM VENENO E MATANDO UM GATINHO.

ENQUANTO EU NÃO ABRIR A CAIXA NÃO TEM COMO SABER SE O GATO ESTÁ VIVO. ENTÃO DIZEMOS QUE, ANTES DE ABRIR A CAIXA, O ESTADO É UMA COMBINAÇÃO DE "MORTO" E "VIVO".

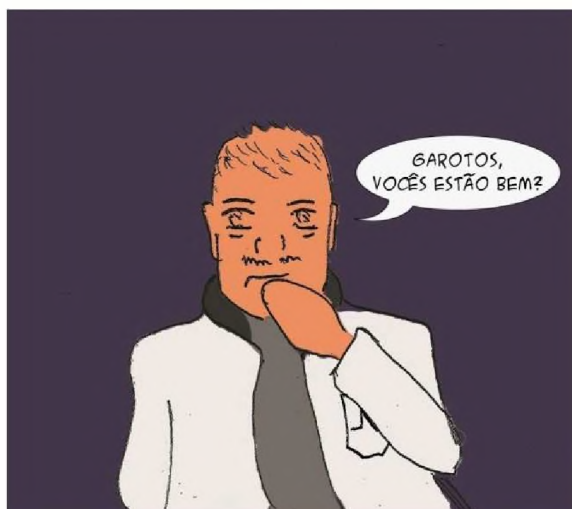


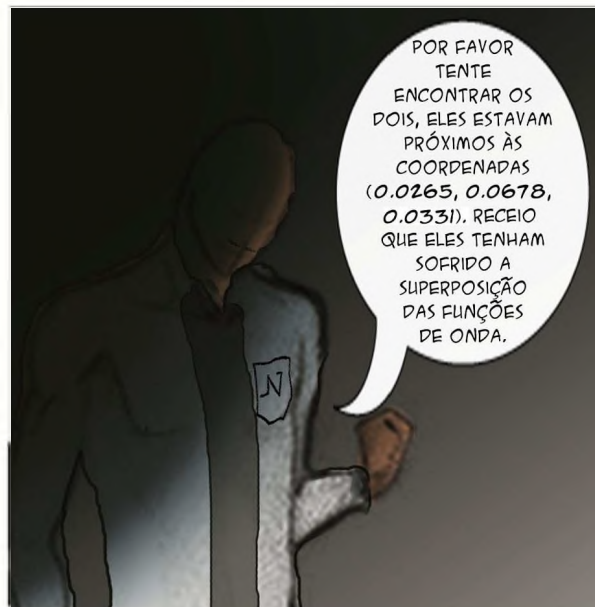










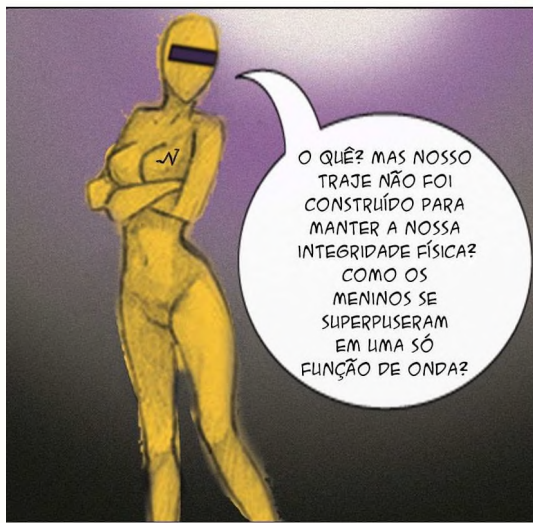




OK PROFESSOR,
MAS COMO ISSO
SERIA POSSÍVEL?
SERÁ QUE OS
DOIS NÃO SAÍRAM
JUNTOS?



SIM, PORÉM NÃO
SABEMOS AO CERTO
COMO OCORRE O
TUNELAMENTO QUÂNTICO.
SE OS DOIS ESTAVAM
INTERAGINDO, ACOPLADOS,
PODE SER QUE TENHA
HAVIDO UMA MISTURA
DOS DOIS QUE SAIU E
OUTRA FICOU
LÁ DENTRO.



O QUÊZ MAS NOSSO
TRAJE NÃO FOI
CONSTRUÍDO PARA
MANTER A NOSSA
INTEGRIDADE FÍSICA?
COMO OS
MENINOS SE
SUPERPUERAM
EM UMA SÓ
FUNÇÃO DE ONDA?



VOCÊ É MUITO ESPERTA ALICE.
SE A MINHA TEORIA ESTIVER
CORRETA ESSAS
SUPERPOSIÇÕES QUÂNTICAS
PODEM AFETÁ-LOS SIM. O
PAI DELES MANIFESTOU
PSITIMIA, A FUNÇÃO DE
ONDA DELE SOFRIA
MUDANÇAS QUE NÃO
CONSEGUIMOS EXPLICAR.

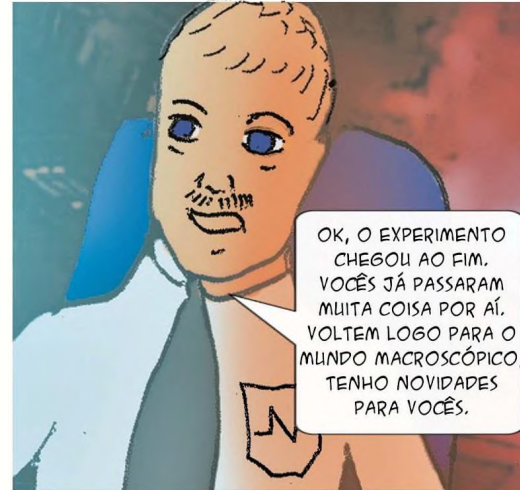


ENTÃO VOCÊ ESTÁ
NOS USANDO,
PROFESSOR?!

E JÁ TEM UM
ANTÍDOTO PARA
ESSA DOENÇA?



ESTOU
TRABALHANDO
NISSO, ALICE.
AGORA LOCALIZE SEUS
AMIGOS E SAIAM DAÍ!
O NICO JÁ
TEM OS DADOS QUE
PRECISO.







GLOSSÁRIO

ELÉTRON: É UMA PARTÍCULA QUE FAZ PARTE DO ÁTOMO, OU SEJA, É UMA PARTÍCULA SUBATÔMICA. POSSUI CARGA NEGATIVA E UMA MASSA MUITO, MAS MUITO PEQUENA (1 MILHÃO DE TRILHÃO DE TRILHÃO DE VEZES MENOR QUE UM 1 KILOGRAMA). OS ELÉTRONS SÃO RESPONSÁVEIS PELA ELETRICIDADE QUE FAZ FUNCIONAREM OS APARELHOS ELETRÔNICOS NA TOMADA, E TAMBÉM A ELETRICIDADE QUE FAZ FUNCIONAR O SEU CÉREBRO; PELA ELETRICIDADE ESTÁTICA QUE LEVANTA O CABELO E DÁ CHOQUE, E ESTÁ POR TRÁS DA TECNOLOGIA DOS EQUIPAMENTOS DIGITAIS, COMO O PROCESSADOR DO SMARTPHONE.


BITS: DO INGLÊS "BINARY DIGIT", BIT, É A ABBREVIACÃO DE "DÍGITO BINÁRIO". OS BITS PODEM ASSUMIR SOMENTE UM VALOR, OU ZERO (0) OU UM (1). TODO CHIP DE PROCESSADOR QUE ESTÁ DENTRO DOS NOTEBOOKS E SMARTPHONES, TODA HD (DISCO RÍGIDO) OU PEN-DRIVE, MANIPULA E GUARDA OS SEUS DADOS EM BITS. PARA SE TER IDEIA, UM MEGABYTE (1MB) CORRESPONDE A 8,3 MILHÕES DE BITS. ESTES BITS REPRESENTAM A MENOR UNIDADE DE INFORMAÇÃO DO COMPUTADOR. NOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS, OS BITS SÃO FEITOS DE REGIÕES MUITO PEQUENAS (MILHARES DE VEZES MAIS FINAS QUE O FIO DE CABELO) COM ELÉTRONS OU SEM ELÉTRONS, NOS CHAMADOS TRANSÍSTORES. PARA SE TER UMA IDEIA, O CHIP DE PROCESSADOR DA INTEL, QUE ESTÁ NOS NOTEBOOKS, POSSUI ALGUNS BILHÕES DE TRANSÍSTORES.

QBITS: ENQUANTO O BIT TRADICIONAL SÓ PODE SER ZERO OU UM, O BIT QUÂNTICO (QBIT) PERMITE DIFERENTES COMBINAÇÕES DOS DOIS. IMAGINE QUE VOCÊ SÓ PODE PINTAR OU QUADROS USANDO: OU SÓ A COR PRETA (1), OU SÓ A COR BRANCA (0). ESSES SERIAM OS BITS CLÁSSICOS. MAS, SE PERMITIRMOS A MISTURA DE 0 E 1, TEREMOS MUITAS OUTRAS TONALIDADES, OU POSSIBILIDADES. O BIT QUÂNTICO É CAPAZ DE ABRANGER MAIS POSSIBILIDADES E PORTANTO DE REPRESENTAR MAIS INFORMAÇÕES. SE JUNTARMOS VÁRIOS BITS QUÂNTICOS, A INFORMAÇÃO CAPAZ DE SER ARMAZENADA CRESCERÁ AINDA MAIS. O COMPUTADOR QUÂNTICO TAMBÉM É CAPAZ DE LIDAR COM ESSAS INFORMAÇÕES SIMULTANEAMENTE, OU "EM PARALELO", ENQUANTO O COMPUTADOR TRADICIONAL FAZ UMA CONTA POR VEZ, "EM SÉRIE". IMAGINE EM UM PEDÁGIO NA RODOVIA COM VÁRIAS CABINES (CARROS PASSAM EM PARALELO) E APENAS COM UMA CABINE (CARROS PASSAM EM SÉRIE). O PARALELISMO É UMA CARACTERÍSTICA IMPORTANTE DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA.

ESTADO FÍSICO: ESTADO AQUI NÃO SIGNIFICA UM TERRITÓRIO, OU UMA NAÇÃO. UM ESTADO FÍSICO SIGNIFICA UMA CONDIÇÃO ONDE UM SISTEMA APRESENTA CERTAS PROPRIEDADES FÍSICAS, COMO MASSA, VELOCIDADE, POSIÇÃO, ENERGIA, TEMPERATURA, PRESSÃO, VOLUME.

ESTADOS QUÂNTICOS: UM ESTADO QUÂNTICO CONTÉM AS INFORMAÇÕES SOBRE O SEU SISTEMA QUÂNTICO, E É REPRESENTADO PELO QUE CHAMAMOS "FUNÇÃO DE ONDA". COMO O QBIT, É POSSÍVEL QUE HAJA UM ESTADO COMO O UM OU ZERO, OU UMA MISTURA DESTES ESTADOS, QUE CHAMAMOS "SUPERPOSIÇÃO". O ESTADO QUÂNTICO TEM A INFORMAÇÃO DA PROBABILIDADE DE CADA RESULTADO. POR EXEMPLO, SE ESTIVER NUMA MISTURA DE METADE DE ZERO E METADE DE UM, A CHANCE DE CADA RESULTADO É 50%. PODE-SE REPRESENTAR O ESTADO QUÂNTICO COMO UMA ESTRUTURA MATEMÁTICA CHAMADA VETOR, E UMA DAS REPRESENTAÇÕES MAIS COMUNS USA UMA BARRA |, UM SINAL DE MAIOR PARA REPRESENTAR O ESTADO: | ESTADO > .

FUNÇÃO DE ONDA: AS PARTÍCULAS MICROSCÓPICAS, COMO OS ELÉTRONS, NÃO SE MOVEM SEGUNDO AS LEIS DA MECÂNICA DE NEWTON, COMO NÓS, OS CARROS, QUALQUER OBJETO QUE SE MOVE NO NOSSO DIA-A-DIA, OU MESMO OS PLANETAS. AS PARTÍCULAS MUITO PEQUENAS SEGUEM AS LEIS DA MECÂNICA QUÂNTICA. TODO SISTEMA QUÂNTICO PODE SER DESCRITO POR UMA "FUNÇÃO DE ONDA", QUE POSSUI TODA A INFORMAÇÃO SOBRE O SISTEMA, E A PARTIR DELA PODEMOS EXTRAIR AS SUAS PROPRIEDADES COM SUAS DEVIDAS PROBABILIDADES. A FUNÇÃO DE ONDA CARREGA A INFORMAÇÃO DAS PROBABILIDADES DE CADA ESTADO, COM ELA PODEMOS CALCULAR A POSIÇÃO MAIS PROVÁVEL DE UMA PARTÍCULA, OU SUA A ENERGIA MÉDIA. A FUNÇÃO DE ONDA É REPRESENTADA PELA LETRA GREGA Ψ , QUE LÊ-SE "PSI".



SUPERPOSIÇÃO: EM MECÂNICA QUÂNTICA, COMO VIMOS NOS QBITS, PODEMOS TER CERTAS CONFIGURAÇÕES QUE COMBINAM DOIS ESTADOS, ISTO É CHAMADO SUPERPOSIÇÃO. PODEMOS REALIZAR A SUPERPOSIÇÃO GRAÇAS À UMA PROPRIEDADE DA EQUAÇÃO DA MECÂNICA QUÂNTICA QUE REGE A FUNÇÃO DE ONDA, QUE PERMITE ESTA COMBINAÇÃO DE ESTADOS.

GATO DE SCHRÖDINGER: ERWIN SCHRÖDINGER FOI UM FÍSICO AUSTRIACO QUE INVENTOU A PRINCIPAL FÓRMULA DA MECÂNICA QUÂNTICA. ELE TAMBÉM FOI QUEM PROPÕS UM EXPERIMENTO IMAGINÁRIO ENVOLVENDO A POSSIBILIDADE DE DOIS ESTADOS, ONDE O GATO ESTARIA VIVO, E OUTRO, MORTO. O EXPERIMENTO CONSISTE EM UMA CAIXA COM UM GATO E UMA FONTE RADIOATIVA, QUE PODE SOFRER UMA ALTERAÇÃO (DECAIMENTO) A QUALQUER MOMENTO, NÃO SE SABE. SE ISTO OCORRER, UM GATILHO É ACIONADO, QUE QUEBRA UM VIDRINHO COM VENENO. O VENENO IRÁ MATAR O GATO. INDEPENDENTE DA QUESTÃO DO GATO, O IMPORTANTE É QUE EXISTEM DUAS POSSIBILIDADES, PODERIA SER "VIDRO QUEBROU" OU "VIDRO NÃO QUEBROU". O PROBLEMA É QUE A MECÂNICA QUÂNTICA PERMITE ESSA SUPERPOSIÇÃO DE ESTADOS, E ATÉ QUE ALGUÉM ABRA A CAIXA, O ESTADO SERÁ ESSA ESTRANHA SUPERPOSIÇÃO. A ABERTURA DA CAIXA CORRESPONDE AO CHAMADO ATO DE "MEDIÇÃO", QUE ACABA COM A SUPERPOSIÇÃO E "COLAPSA" A FUNÇÃO DE ONDA PARA UMA ÚNICA DAS DUAS POSSIBILIDADES. ESTA É A ESTRANHEZA DA MECÂNICA QUÂNTICA QUE ESTE EPISÓDIO IMAGINÁRIO OBJETIVA MOSTRAR.

ENTRELAÇAMENTO: DOIS SISTEMAS PODEM ESTAR EM UM ESTADO QUE SE CHAMA ENTRELAÇADO OU EMARANHADO. ISTO SIGNIFICA QUE A SUPERPOSIÇÃO É DIFERENTE, OS ESTADOS ESTÃO NUMA SUPERPOSIÇÃO ONDE NÃO PODEMOS SEPARAR CADA SISTEMA COMBINANDO OS ESTADOS ISOLADOS. POR EXEMPLO, SUPONHA QUE TEMOS UM ESTADO FORMADO POR DOIS SISTEMAS, QUE REPRESENTAREMOS COMO: $| \text{PRIMEIRO SEGUNDO} \rangle$, ONDE CADA UM PODE ASSUMIR UM BIT, OU ZERO OU 1. IMAGINEMOS QUE O PRIMEIRO BIT SEJA ZERO, E O SEGUNDO 1: $| 0 1 \rangle$ E IMAGINEMOS OUTRO ESTADO ONDE O PRIMEIRO BIT SEJA 1 E O OUTRO, ZERO, $| 1 0 \rangle$. VAMOS FAZER UMA COMBINAÇÃO DELES, SOMANDO: $| 0 1 \rangle + | 1 0 \rangle$. ESTA SUPERPOSIÇÃO É TAL QUE ELI NÃO CONSIGO DEFINIR O PRIMEIRO BIT, COMO UM ESTADO SÓ OU 1 OU SÓ 0, PORQUE ELE ESTÁ NUMA MISTURA. EMBORA ESTE EXEMPLO SEJA UM POUCO SIMPLIFICADO, ESTE TIPO DE ESTADO, $| 0 1 \rangle + | 1 0 \rangle$, É CHAMADO ENTRELAÇADO. NOTEMOS QUE, AO REALIZAR A "MEDIÇÃO", AO "ABRIR A CAIXA", O PRIMEIRO SISTEMA PODERÁ SER OU 1 OU 0. SE AO MEDIR, ELE ESTIVER EM 1, ISTO SIGNIFICA QUE O ESTADO É COM CERTEZA $| 1 1 \rangle$, E NÃO $| 0 1 \rangle$ (POIS O PRIMEIRO NÚMERO FOI MEDIDO COMO 1). ISTO SIGNIFICA TAMBÉM QUE O OUTRO SERÁ 0. ISTO É IMPORTANTE PORQUE EXISTE UMA LIGAÇÃO ENTRE OS DOIS MEDIDORES. IMAGINE QUE UM SISTEMA ESTEJA BEM SEPARADO DO OUTRO, E DOIS MEDIDORES CONFEREM O RESULTADO DO ESTADO ENTRELAÇADO. UM RESULTADO IRÁ CONCORDAR COM O OUTRO. SE HOUVER UM ESPÃO TENTANDO ROUBAR INFORMAÇÃO, UM DOS MEDIDORES IRÁ DEIXAR DE RECEBER O DADO, E VAI PERCEBER QUE O ESTADO NÃO ESTÁ CONFERINDO COM O DO OUTRO MEDIDOR. OU SEJA, O ESTADO ENTRELAÇADO PERMITE UMA SEGURANÇA ENTRE DOIS MEDIDORES, QUE TORNA A CRIPTOGRAFIA QUÂNTICA IMBATÍVEL. ISSO MESMO, IMBATÍVEL. O EXEMPLO QUE USAMOS DO LENÇO PARECE BOBO, MAS É QUE NA REALIDADE, ENQUANTO NÃO SE ABRE A CAIXA, AS CAIXAS ESTARÃO NUM ESTADO QUÂNTICO "ZUMBI", COM E SEM LENÇO AO MESMO TEMPO, QUE É DIFÍCIL DE SE IMAGINAR.

FÓTON: EINSTEIN PERCEBEU QUE A LUZ, ALÉM DE SE COMPORTAR COMO ONDA, É FEITA DE PEQUENAS PARTÍCULAS CHAMADAS FÓTONS. CADA FÓTON CARREGA UMA QUANTIDADE DE ENERGIA, A DEPENDER DE SUA "COR", OU FREQUÊNCIA DE OSCILAÇÃO. A LUZ PODE SER A VISÍVEL, DA LÂMPADA E DO LASERPOINTER, MAS TAMBÉM SÃO LUZ: RAIOS-X, RAIOS-GAMA, INFRAVERMELHO, ULTRAVIOLETA, RÁDIO, MICROONDAS - CADA UM POSSUI SUA FREQUÊNCIA. OS FÓTONS SÃO PARTÍCULAS QUÂNTICAS E ORA SE COMPORTAM COMO ONDA, OUTRAS VEZES MAIS COMO PARTÍCULA.

EFEITO FOTOELÉTRICO: A LUZ É CAPAZ DE INTERAGIR COM OS MATERIAIS, COMO VEMOS EM TRATAMENTOS DE LASER, E EXISTEM VÁRIAS FORMAS DE INTERAÇÃO. NO EFEITO FOTOELÉTRICO, A LUZ ARRANCA ELÉTRONS FRACAMENTE LIGADOS A UMA SUPERFÍCIE, POR EXEMPLO, A SUPERFÍCIE DE UM BLOCO DE METAL. AO ILUMINAR O METAL, CADA FÓTON PODE INTERAGIR COM UM ELÉTRON, PODENDO TRANSFERIR-LHE TODA SUA ENERGIA. O ELÉTRON IRÁ CONSEGUIR ABANDONAR ESSA SUPERFÍCIE SE A ENERGIA RECEBIDA PELO FÓTON FOR MAIOR QUE A ENERGIA DE ATRAÇÃO QUE O PRENDE AO MATERIAL, CHAMADA "FUNÇÃO TRABALHO" (NADA A VER COM FUNÇÃO DE ONDA). POR ISSO A ALICE RECEBEU DO NICO UMA ENERGIA MAIOR QUE A ENERGIA DE LIGAÇÃO, PARA SE SOLTAR DO MATERIAL E CONSEGUIR SE MOVER AO SAIR.

POÇO DE POTENCIAL: A PALAVRA POTENCIAL SE REFERE À UMA REGIÃO DO ESPAÇO ONDE O SISTEMA SOFRE CERTA AÇÃO DE UMA FORÇA. POR EXEMPLO, PODEMOS TER A AÇÃO DE UM POTENCIAL ATRATIVO, CAPAZ DE APRISIONAR PARTÍCULAS, COMO OS ELÉTRONS PRESOS AO ÁTOMO. O POÇO REPRESENTA UMA REGIÃO DO ESPAÇO ONDE O POTENCIAL FORMA UMA "PRISÃO", COM UMA BARREIRA, COMO UMA PAREDE, QUE PRENDE A PARTÍCULA.

PSITIMIA: DOENÇA FICTÍCIA CRIADA COM O OBJETIVO DE DAR MAIS DRAMA À HISTÓRIA.

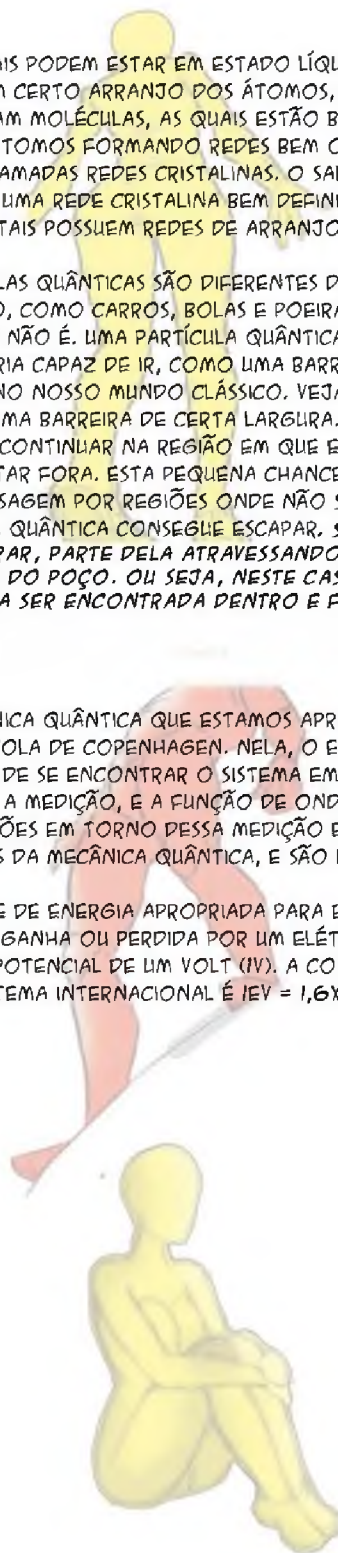


REDE CRISTALINA: MATERIAIS PODEM ESTAR EM ESTADO LÍQUIDO, SÓLIDO, GASOSO, ETC. EM CADA UM DELES HÁ UM CERTO ARRANJO DOS ÁTOMOS, POR EXEMPLO, NO ESTADO GASOSO, ÁTOMOS FORMAM MOLÉCULAS, AS QUAIS ESTÃO BEM SEPARADAS. NO ESTADO SÓLIDO, PODEMOS TER ÁTOMOS FORMANDO REDES BEM ORGANIZADAS, ATÉ LONGAS DISTÂNCIAS ATÔMICAS, CHAMADAS REDES CRISTALINAS. O SAL DE COZINHA (CLORETO DE SÓDIO, NaCl), ESTÁ EM UMA REDE CRISTALINA BEM DEFINIDA, O GRAFITE, O FERRO, ALUMÍNIO, E VÁRIOS METAIS POSSUEM REDES DE ARRANJO REGULARES CONHECIDAS.

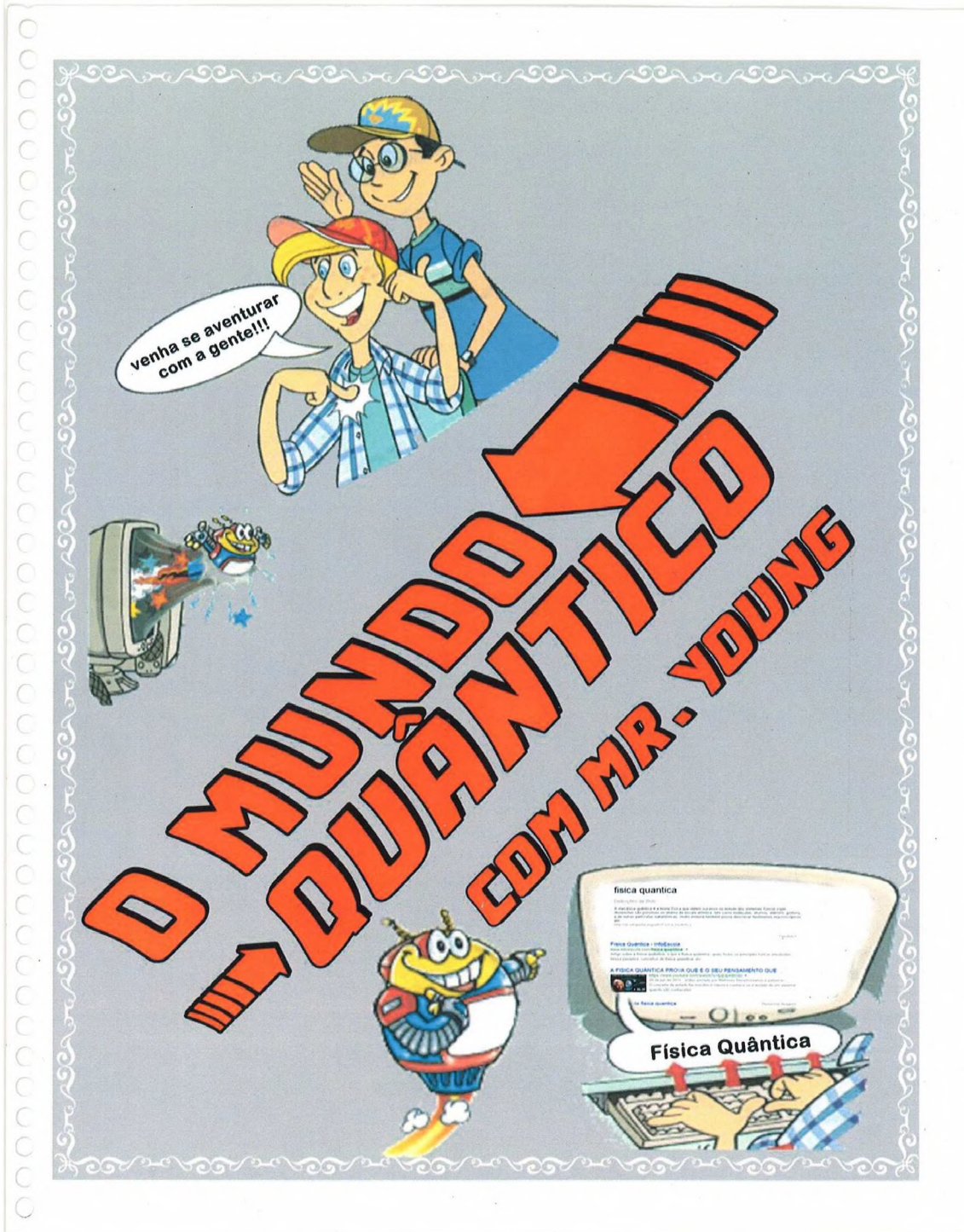
TUNELAMENTO: PARTÍCULAS QUÂNTICAS SÃO DIFERENTES DO QUE VEMOS NO MUNDO CLÁSSICO, MACROSCÓPICO, COMO CARROS, BOLAS E POEIRA. O TUNELAMENTO PARECE FICÇÃO CIENTÍFICA, MAS NÃO É. UMA PARTÍCULA QUÂNTICA É CAPAZ DE ATRAVESSAR REGIÕES ONDE NÃO SERIA CAPAZ DE IR, COMO UMA BARREIRA. SERIA COMO PODER ATRAVESSAR PAREDES NO NOSSO MUNDO CLÁSSICO. VEJAMOS, IMAGINE QUE UMA PARTÍCULA ENCONTRA UMA BARREIRA DE CERTA LARGURA. ELA POSSUI UMA GRANDE PROBABILIDADE DE CONTINUAR NA REGIÃO EM QUE ESTÁ, E UMA PEQUENA PROBABILIDADE DE ESTAR FORA. ESTA PEQUENA CHANCE DE ESCAPAR É PERMITE O TUNELAMENTO, A PASSAGEM POR REGIÕES ONDE NÃO SERIA POSSÍVEL NO MUNDO CLÁSSICO. A PARTÍCULA QUÂNTICA CONSEGUE ESCAPAR. *SUA FUNÇÃO DE ONDA PODE ATÉ SE SEPARAR, PARTE DELA ATRAVESSANDO, E PARTE DELA FICANDO PRA TRÁS, DENTRO DO POÇO. OU SEJA, NESTE CASO HÁ PROBABILIDADE DA PARTÍCULA SER ENCONTRADA DENTRO E FORA DO POÇO.*

MEDIÇÃO: A MECÂNICA QUÂNTICA QUE ESTAMOS APRESENTANDO SEGUE A INTERPRETAÇÃO DA ESCOLA DE COPENHAGEN. NELA, O ESTADO DE SUPERPOSIÇÃO COM PROBABILIDADES DE SE ENCONTRAR O SISTEMA EM DIFERENTES ESTADOS É DESTRUÍDO AO REALIZAR A MEDIÇÃO, E A FUNÇÃO DE ONDA "COLAPSA" PARA APENAS UM ESTADO. AS QUESTÕES EM TORNO DESSA MEDIÇÃO ESTÃO NO CORAÇÃO DAS NOSSAS INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA, E SÃO UM PROBLEMA EM ABERTO.

ELÉTRON-VOLT: UNIDADE DE ENERGIA APROPRIADA PARA ESCALAS ELETRÔNICAS. POR DEFINIÇÃO, É A ENERGIA GANHA OU PERDIDA POR UM ELÉTRON AO SE MOVER DEVIDO À UMA DIFERENÇA DE POTENCIAL DE UM VOLT (1V). A CONVERSÃO PARA UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL É $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.



APÊNDICE B. A História em Quadrinhos: Mundo Quântico - Com Mr. Young



venha se aventurar com a gente!!!

O MUNDO QUANTICO

COM MR. YOUNG



fisica quantica

é a física que estuda as propriedades físicas das partículas elementares e dos fenômenos físicos em escala atômica e subatômica.

Física Quântica - Introdução

A FÍSICA QUÂNTICA PROVA QUE É O SEU PENSAMENTO QUE

Física Quântica







Claro!
Pense que todas as coisas que existem
são como uma folha de papel,
rasgamos essa folha pela metade,
e pela metade.. Até encontrar
um pedaço **MUITO** pequeno..

Que legal! E esse
átomo, também é divisível?
Existe algo dentro dele?

Esse pedaço minúsculo,
que não conseguimos
enxergar a olho nu,
chamamos de átomo.

Vamos entender essa personalidade onda.
Imagine um tanque de água onde a onda
encontra uma fenda.



As ondas atingem a fenda e se
formam novas ondas,
atingindo a parede de fundo com
maior intensidade
alinhado com a fenda.

Algo diferente acontece com duas fendas.
O pico de uma onda encontra o fundo de
outra e se cancelam mutuamente,
formando um padrão de interferência na
parede de fundo.

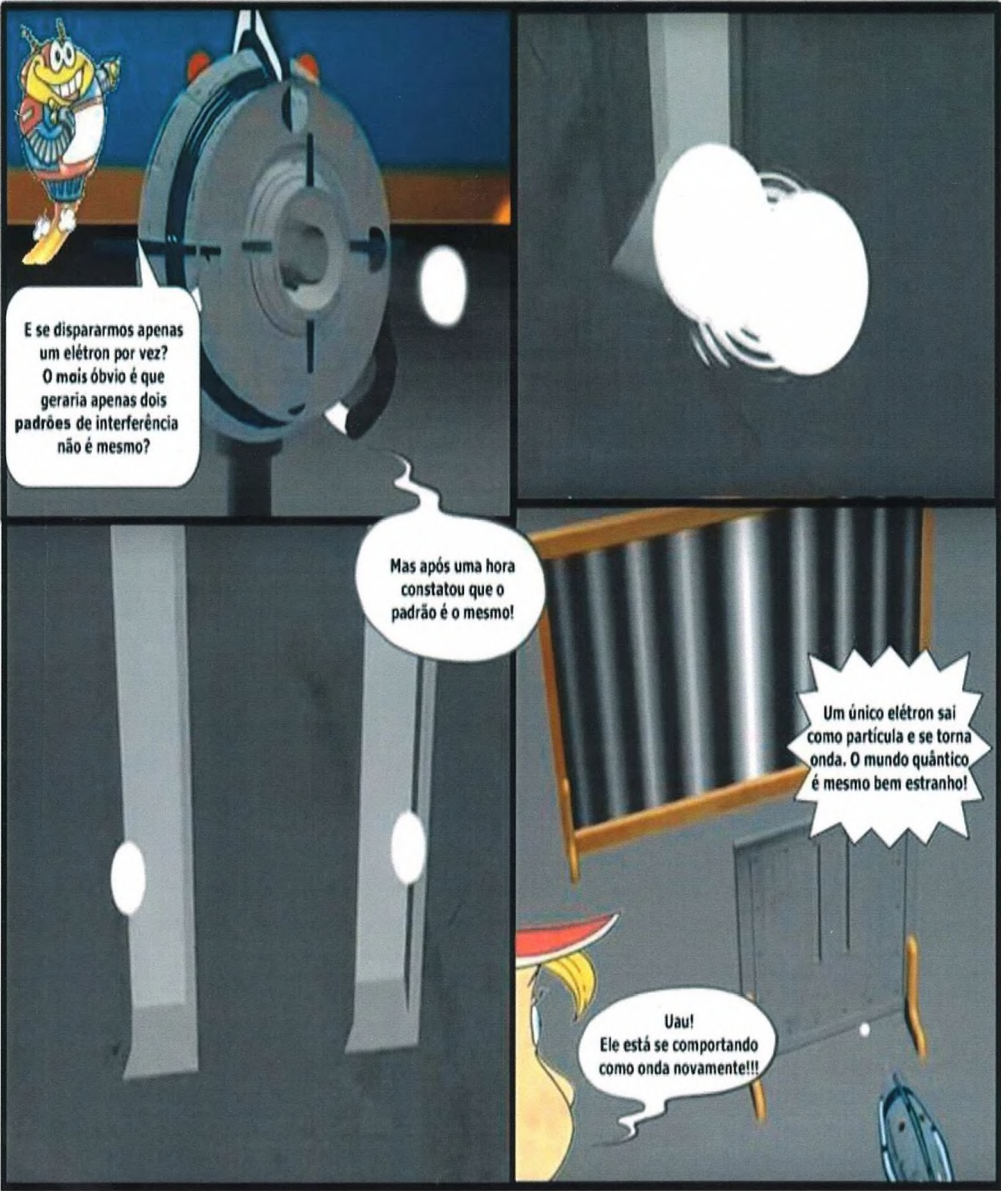


Agora no mundo microscópico vamos fazer a mesma coisa lançando elétrons!

Ao dispararmos um feixe de elétrons ele se comporta como uma bola de gude e apresenta uma única faixa no fundo da parede...

Mas agora vamos pensar um pouco, o que aconteceria se abrissemos duas fendas?

Ao disparar elétrons em duas fendas, diferente de bolas de gude iremos obter um padrão de interferência. O elétron se comporta como onda e interfere entre si!!!

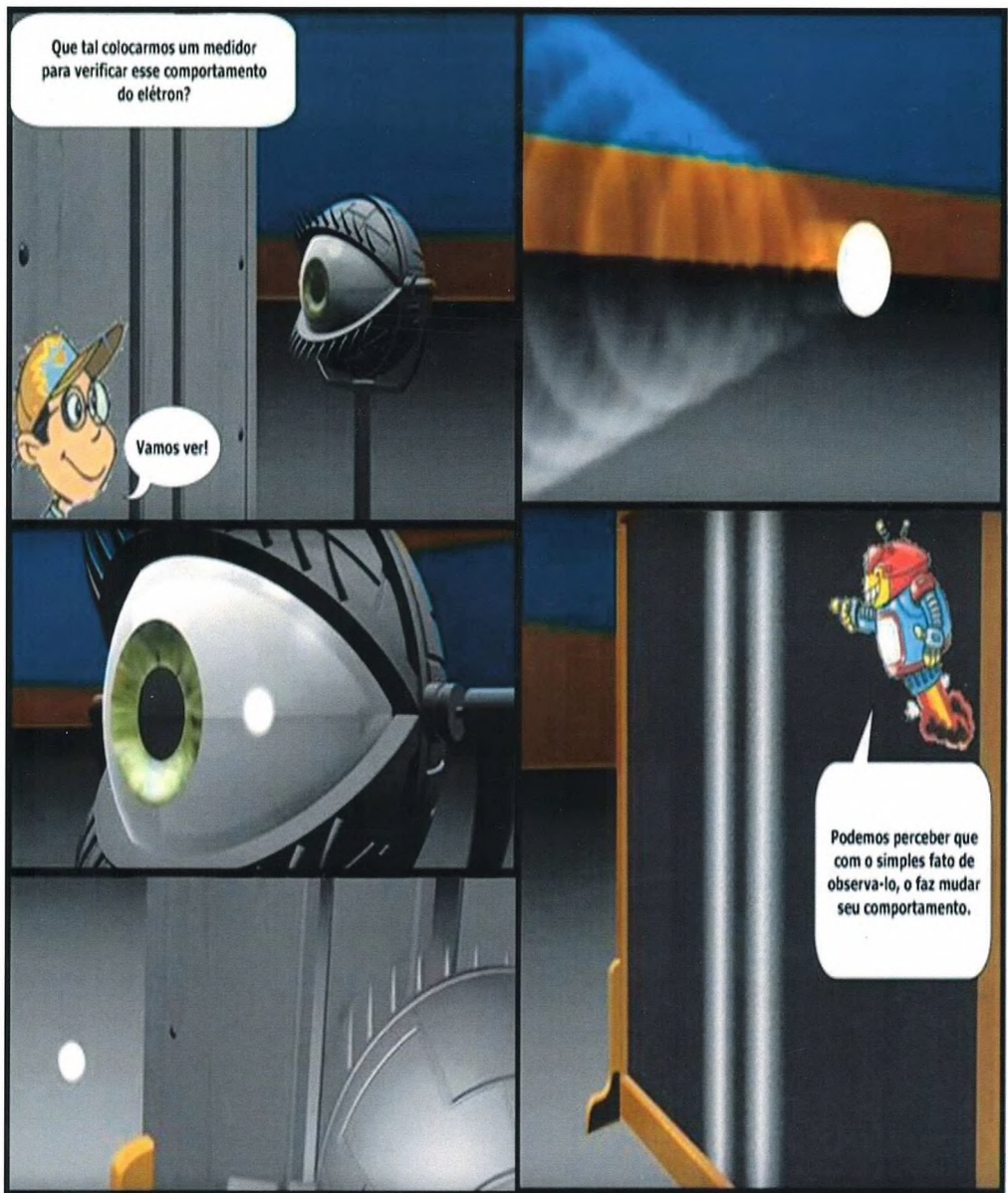


E se dispararmos apenas um elétron por vez? O mais óbvio é que geraria apenas dois padrões de interferência não é mesmo?

Mas após uma hora constatou que o padrão é o mesmo!

Um único elétron sai como partícula e se torna onda. O mundo quântico é mesmo bem estranho!

Uau! Ele está se comportando como onda novamente!!!



Quanto mais sabemos sobre o mundo, mais o mundo muda.



APÊNDICE C - Respostas dos entrevistados

P1 - “A história em quadrinhos explorou bem as áreas da física quântica, com uma linguagem de fácil acesso e simples, tem um glossário ao final o que supre as dúvidas que surgem durante o desenvolver da história. Há uma grande variação nos gráficos da história e a ordem dos balões das conversas as vezes nos deixa meio confusos.”

P2 - “A HQ fez um bom uso da transposição didática e soube apresentar vários fenômenos da física moderna. A HQ só pode ser utilizada para com pessoas já inseridas no meio escolar e possivelmente apenas no ensino médio, essa HQ não seria muito útil para usá-la com pessoas leigas para com a física.”

P3 - “Muito bom”

P4 - “positivo: linguagem acessível para jovens e um enredo interessante. negativo: diálogos (balões) com muito texto.”

P5 - “Positivos: Linguagem informal e exemplos bem explicativos. Negativos: Textos extensos nas falas dos personagens.”

P6 - “Pode ser muito didático, muitos não gostam.”

P7 - “Achei super interessante a forma que foi abordado os conceitos, é possível ser utilizado como uma ferramenta útil nas salas de aula para facilitar a parte conceitual de MQ (algo quase não visto nos cursos de Física, porem de suma importância!) Achei muito legal como foi abordado o efeito fotoeletrico e o tabelamento, poço de potencial. Muito interessante e lúdico! Poderia ser utilizado para motivar as pessoas a aprender quântica.”

P8 - “A HQ é muito interessante e pode despertar a curiosidade do leitor. Creio que o uso da HQ seria interessante se usada como entretenimento didático, ou como uma atividade extra aula para auxiliar. Física Quântica é um assunto complexo, por mais acessível que seja a escrita, ainda fica complexo para leigos, mas os escritores fizeram um bom trabalho.”

P9 - “Boa transposição dos conteúdos, além do glossário no final que ajuda a compreender cada conceito; a arte e a linguagem aliados à dramatização realizadas também ficaram boas.”

P10 - “A história em quadrinhos permite ao estudante compreender conceitos relacionados à mecânica quântica enquanto se diverte e se concentra no enredo da história. Isto torna o conhecimento acessível e menos denso; Talvez um ponto negativo seja o "perigo" de algum aluno não conseguir distinguir os contextos de aplicação da física quântica (mundo subatômico), fazendo-o confundir os conceitos.”

P11

-

“Atrativa”

P12 - “Achei muito criativa a forma de apresentação dos conceitos, no entanto em alguns momentos ficou um fora de lugar, como que jogado, e muitos termos ficaram muito técnicos para quem não conhece o assunto. Parabéns pela iniciativa!”

P13 - “Página 2 (do PDF), último quadrinho, porque a física quântica poderia ser a chave para uma nova colônia? Se for por descontaminar a Terra explicitar mais. Página 3, quadrinho 2, talvez a onomatopeia de vibração GRRR não seja muito adequada, vai remeter a interação de raiva do Facebook... Página 4, por questões de representatividade feminina dentro da área de ciências exatas, talvez fosse melhor colocar a aluna Alice em primeiro lugar ao invés de segundo. Devido as personalidades dos personagens, talvez convinhesse inverter o nome dos personagens, remetendo às expressões “macho alfa” e “beta”... Procurar fazer os traços dos desenhos menos sexualizados, principalmente para a Alice. Página 7, quarto quadrinho, se eu não me engano a imagem desse gato em estado de superposição vivo e morto é de um livro ou alguma coisa do tipo, não sei se você pode usar esse tipo de imagem na confecção da HQ, se não for desconsiderar esse comentário. Página 8, terceiro quadrinho, quando a Alice Fala “ah, está na sala 1” colocar entre aspas, pois ela está falando a fala de outra pessoa. Talvez compense mudar o visual do visor do uniforme da Alice, ele está parecendo aquelas tarjas pretas que colocam em imagens para não identificar pessoas menores de idade. Se possível melhorar um pouco a expressões faciais de emoção, como raiva e surpresa por exemplo. Mesmo o cara musculoso aparentando ter uma personalidade “macho alfa”, ele ainda é está no 3º lugar no ranking, então pode ser melhor ao invés de ele fazer tantas perguntas, dando a impressão que ele não saiba de nada, ele explicar um pouco algumas coisas também...”

P14 - “Gostei bastante da história pois teve uma boa introdução em cada personagem. Quando algum conceito físico era mencionado tinha uma explicação do mesmo. Mas de todo jeito, um aluno sem nenhum conhecimento prévio de física moderna não entenderá muito.”

P15 - “Um aspecto positivo é a ilustração dos fenômenos quânticos. Um aspecto negativo é que a história em si não é interessante, parece tudo corrido demais.”

P16 - “Achei a HQ muito bacana, posso definir como ponto positivo:
*ilustrações muito bacanas
*a história e atrativa
*explica de maneira mais fácil aspectos da quântica
*e o enredo da história e muito bom de ler
Como aspectos negativo:
Por não estar acostumada com história em quadrinho, em algumas parte fiquei confusa em relação às condições verbais.
Mas a história é muito bacana e as ilustrações são muito boas.”

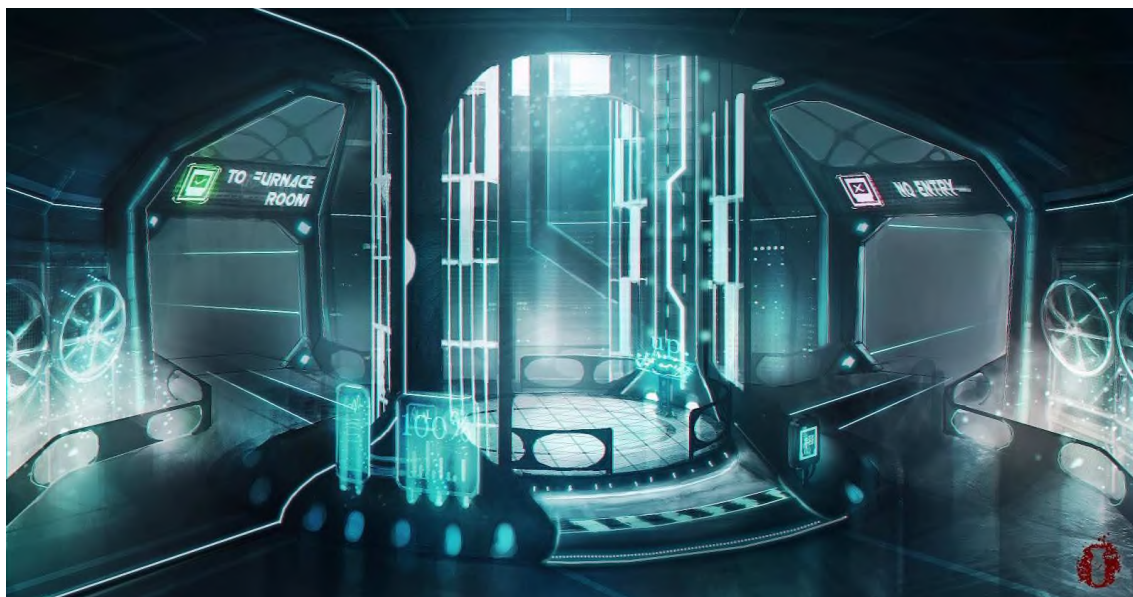
P17 - “Poderia ser um pouco mais exploradas, mas a priori esta boa.”

P18 - “Aspectos positivos: linguagem de fácil compreensão e conceitos abordados de maneira compreensível.

Aspecto negativo: muitos conceitos abordados em pouco tempo, não dando devida atenção para cada um.

Mas a história está de parabéns.”

APÊNDICE D - Imagens utilizadas como bases para a produção da HQ Aventura Quântica



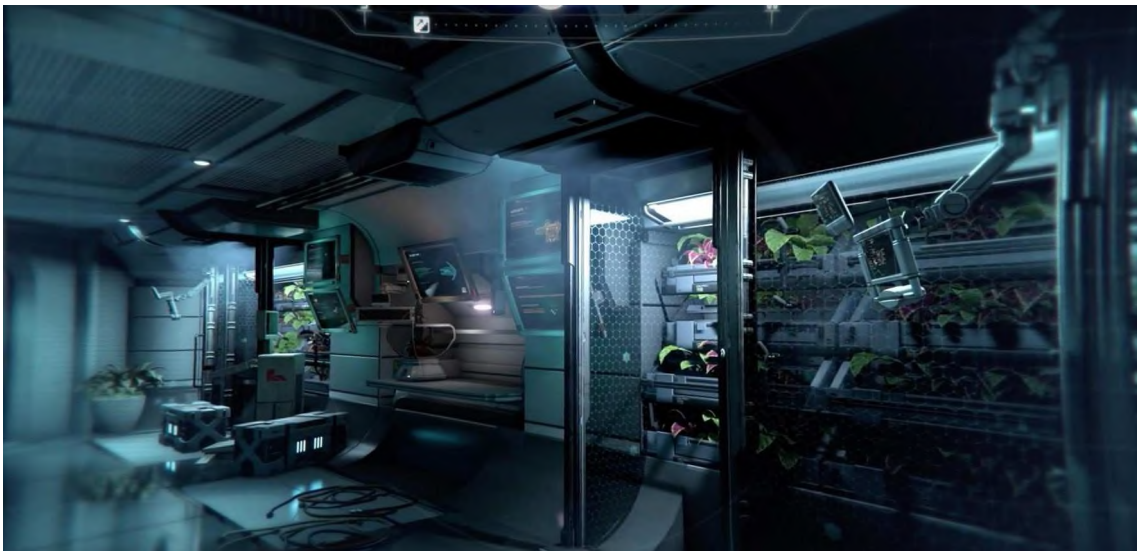
Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/434808539001505215/>



Fonte: <http://polycount.com/discussion/177680/hydroponics-lab-concept-process>



Fonte: <https://giodesigns.deviantart.com/art/Frankenstein-Lab-370884236>



Fonte: [http://masseffect.wikia.com/wiki/File:Tempest_bio_lab_\(briefing\).png](http://masseffect.wikia.com/wiki/File:Tempest_bio_lab_(briefing).png)



Fonte: <http://invdes.com.mx/ciencia-ms/la-suerte-del-gato-schrodinger-no-la-decide-observador/>