



INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA
DEPARTAMENTO FÍSICA

CAMILA DA CRUZ DE OLIVEIRA

A ANTIMATÉRIA EM QUADRINHOS:
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA
MODERNA

Salvador

2023

CAMILA DA CRUZ DE OLIVEIRA

**A ANTIMATÉRIA EM QUADRINHOS:
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA
MODERNA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Licenciatura em
Física, do Instituto Federal da Bahia,
como requisito para a obtenção do
grau de licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Silva de
Macêdo

Coorientador: Prof. Dr. Osvaldo Luiz
Vianna Rocha.

Salvador

2023

Ficha catalográfica

CAMILA DA CRUZ DE OLIVEIRA

**A ANTIMATÉRIA EM QUADRINHOS: UMA PROPOSTA PARA O
ENSINO DE FÍSICA MODERNA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito
para obtenção do grau de Licenciada em Física – IFBA.

Salvador, de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Ricardo Silva de Macedo - Orientador

Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências,
UFBA/UEFS

Instituto Federal da Bahia

Osvaldo Luiz Vianna Rocha - Coorientador

Doutor em Física, UFBA

Instituto Federal da Bahia

Raimundo Nonato Almeida Costa

Mestre em Engenharia Mecânica, UFRN

Instituto Federal da Bahia

Kim Pedro Bitencourt Veiga

Doutor em Física, CBPF

Instituto Federal da Bahia

"O matemático joga um jogo no qual ele mesmo inventa as regras, enquanto o físico joga um jogo no qual as regras são inventadas pela natureza".

P.A.M Dirac

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois é de onde provém a graça e o fôlego necessário para cada passo na vida.

Aos meus pais, meus maiores incentivadores, que realizaram grandes esforços para suprir, acolher e me apoiar durante toda a jornada.

As minhas irmãs, por toda escuta e encorajamento.

Aos demais familiares, amigos, e colegas de turma, por tornarem a caminhada mais leve e agradável.

Aos meus orientadores, por todo tempo e empenho dedicado ao encaminhamento, e colaboração neste trabalho.

A todos os professores que cruzaram o meu caminho, por todo estímulo, exemplo e dedicação.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é apresentar um conjunto de quadrinhos produzidos com a intenção de auxiliar no processo de mediação docente durante a abordagem de tópicos de Física moderna, em especial, o tema antimatéria. Além de abranger os aspectos do modelo padrão das partículas elementares, esses quadrinhos podem proporcionar problematizações mediadas pelo professor, e estimular o diálogo acerca de aspectos sobre a natureza da ciência (NdC), aplicações tecnológicas da antimatéria, e alguns períodos históricos cruciais para a evolução do modelo atômico. Foi realizada uma revisão de literatura, a fim de determinar quais outras produções acadêmicas já existentes utilizam os quadrinhos para o ensino de Física. E em vista do número diminuto de trabalhos encontrados na literatura, cuja abordagem evidencia o tópico antimatéria por meio da linguagem dos quadrinhos, esse trabalho compõe um acréscimo às propostas de recursos didáticos já existentes, que versam sobre a importância do ensino de Física moderna, salientando a potencialidade dos quadrinhos quanto a seu uso em sala de aula.

Palavras chave: Física moderna, quadrinhos, antimatéria.

ABSTRACT

The objective of this work is to present a set of comics produced with the intention of assisting in the teaching mediation process when approaching modern Physics topics, in particular, the antimatter theme. In addition to covering aspects of the standard model of elementary particles, these comics can provide problematizations mediated by the teacher, and stimulate dialogue about aspects about the nature of science (NoS), technological applications of antimatter, and some historical periods crucial to evolution of the atomic model. A literature review was carried out in order to determine which other existing academic productions use comics to teach Physics. And in view of the small number of works found in the literature, whose approach highlights the topic of antimatter through the language of comics, this work adds to the proposals for already existing teaching resources, which deal with the importance of teaching modern Physics, highlighting the potential of comics in terms of their use in the classroom.

Key words: Modern physics, comics, antimatter.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	A LINGUAGEM DOS QUADRINHOS	12
2.2	A PEDAGOGIA FREIREANA	16
2.3	A TEORIA CRÍTICA DA NATUREZA DA CIÊNCIA (NdC).....	20
2.4	A ANTIMATÉRIA.....	23
3.	METODOLOGIA	31
4.	QUADRINHOS E PROBLEMATIZAÇÕES.....	33
4.1	PROBLEMA 1.....	37
4.2	PROBLEMA 2	43
4.3	PROBLEMA 3	46
4.4	PROBLEMA 4.	48
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
6.	REFERÊNCIAS	53
7.	APÊNDICE	57

1. INTRODUÇÃO

A importância de se abordar a Física moderna e contemporânea (FMC) para o ensino médio, está longe de ser uma discussão nova. Podemos citar autores pioneiros como (TERRAZAN, 1992; ZANETIC, 1999; OSTERMANN, 2000; PIETROCOLA, 2006; NARDI, 2009), que já discutiam essa problemática a mais de uma década. Atualmente já se encontram na literatura um número considerável de pesquisas que trazem contribuições para esse tema, a exemplo, o trabalho de Batista e Siqueira (2017), que propõe uma sequência didática sobre a radioatividade, e acrescenta à discussão de como inserir na prática, de maneira mais inovadora e não tradicional a FMC no ensino médio. Na contribuição de (BUSATTO et al., 2018), é apresentada uma pesquisa realizada com professores do ensino médio do norte do Rio Grande do Sul, que visa analisar e catalogar quais os conteúdos presentes na FMC estão sendo abordados em sala de aula. Já investigação realizada por (GUIMARÃES et al., 2019), apresenta a pesquisa realizada com discentes da região norte do Ceará, com o objetivo de entender quais os tópicos contidos na FMC, já foram estudados e discutidos por esses estudantes na escola. A análise feita por (GOULART et al., 2022) em uma revisão de literatura de dois eventos brasileiros: Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), onde ele apresenta os principais desafios e dificuldades dos professores ao se trabalhar com a temática FMC, no contexto do ensino médio. Por fim, a proposta de Ximenes e Aguiar (2023), que trata do conceito de matéria escura, relatando a sua aplicação em diversas turmas do ensino médio de escolas públicas e particulares, apontando como resultado a motivação descrita por esses estudantes após contato com essa proposta. Tais trabalhos são alguns dos exemplos existentes, que demonstram como esse tema já é considerado uma linha de pesquisa consolidada na área do ensino de Física.

Devido a crescente evolução científica na qual os estudantes estão inseridos, se torna indispensável que eles tenham contato com conteúdo da FMC que os ajude a compreender os processos tecnológicos presentes na medicina, nos aparelhos de comunicação, no Sistema de Posicionamento Global (GPS), entre outros que estão intercalados na vida cotidiana, a fim de que tenham subsídios para desenvolver uma atuação crítica na sociedade, principalmente acerca dos assuntos ou decisões governamentais que exijam conhecimento científico. Assim eles poderão conceber, por exemplo, as implicações de um tratamento de radioterapia, o funcionamento de sensores fotoelétricos, bem como entender notícias sobre novas pesquisas e teorias que constantemente são veiculadas nos mais variados meios de comunicação (GIACOMELLI, 2016, apud BUSATTO, 2018, p. 106). Os tópicos sobre a FMC também podem servir como uma forma de aguçar a curiosidade desses estudantes, para que percebam a Física como um empreendimento humano em construção, que permite a inserção de novas pessoas, novas ideias e interpretações.

Entretanto, precisamos admitir os diversos obstáculos enfrentados pelos docentes durante o processo de implementação da FMC no ensino médio. Busatto (2018) traz dados importantes, obtidos em uma pesquisa qualitativa - quantitativa acerca de algumas das dificuldades para se realizar a abordagem da Física Moderna no ensino médio, dentre elas estão a formação de professores, materiais didáticos, e tempo hábil para dar conta dos conteúdos da Física clássica, as quais também já eram apontadas por Nardi (2009). É nesse sentido que esse trabalho pode contribuir, como um recurso, que ao ser utilizado pelos docentes, pode favorecer a inserção de tópicos de FMC nas aulas. Uma vez que, descobertas e pesquisas físicas estão sendo feitas nesse século de forma dinâmica, e influenciam diretamente no entendimento do mundo criado pelo homem atual.

A necessidade de se estabelecer as formas de abordar os conteúdos da FMC no ensino médio, levando em conta a realidade em que estão inseridos professores e estudantes é inegável, e a literatura já conta com trabalhos recentes que discutem esta implementação, dentre eles (FERREIRA, D.; FILHO, 2019 ; SILVA, J.; COELHO, 2020), sequências

didáticas como as de (GRACIOLI, 2020; CORRÊA, S.; MALAQUIAS, 2022; SIQUEIRA, 2023), e propostas experimentais como as de (CARITÁ, et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021) que propõem maneiras de realizar essa inserção.

Ademais, devemos considerar o grau de dificuldade associado às teorias que compõem a Física moderna, porque apesar de fornecerem a descrição mais próxima do que se acredita ser o comportamento da natureza, são pouco intuitivas, mas podem despertar o interesse, justamente por se apresentar de forma diferente de tudo que já se tinha conhecimento. Nesse sentido, é preciso abordar a transposição didática, da qual nos fala Chevallard (1991), alertando sobre a necessidade de haver operacionalidade e criatividade no processo de transpor o saber sábio, fazendo referência ao conhecimento acadêmico, para o saber a ser ensinado. De acordo com essa teoria, um conceito ao ser transferido, de um contexto para outro, passa por modificações. Mas, ao ser ensinado, todo conceito mantém semelhanças com a ideia originalmente presente em seu contexto da pesquisa, porém adquire outros significados próprios do ambiente escolar no qual será inserido. Esse processo de transposição transforma o saber, conferindo-lhe um novo status epistemológico (ASTOLFI, 1995 apud BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 388). Ao tratar diretamente sobre FMC, Pietrocola (2006) ressalta que, transpor a Teoria Quântica para o ensino médio, deve ser vista como uma tarefa das mais difíceis, devido a exigências próprias desse conhecimento, que são distantes dos padrões de entendimento cotidiano.

Dessa maneira, acredito que esse trabalho tem potencialidade para auxiliar na transposição didática da Física Moderna para o ensino médio, preservando as características essenciais desse conteúdo, a fim de não simplificá-lo de forma demasiada, nem recair na problemática de ensinar algo inventado, uma vez que, ao se tentar abordar um conteúdo que não pode ser descrito de acordo com os nossos sentidos, e que seja estranho ao que geralmente temos como natural, corremos o risco de ocultar ou disfarçar as partes que julgamos mais difíceis de serem entendidas, e com isso descaracterizar ou modificar a natureza desse conteúdo, e é por esse motivo que a mediação docente é imprescindível em sua aplicação. A

proposta metodológica, antimatéria em quadrinhos para o ensino de Física moderna no ensino médio, vem a somar às já existentes, como mais um recurso que pode atuar na tarefa de aproximar os estudantes do desenvolvimento científico contemporâneo. Pois, se existe uma diversidade presente na realidade escolar, também é benéfico que tenhamos disponíveis cada vez mais opções de recursos didáticos a favor de novas abordagens.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A LINGUAGEM DOS QUADRINHOS

O hábito de se comunicar através de imagens é conhecido desde o período paleolítico, quando o homem já registrava desenhos de animais nas cavernas, de acordo com Moura (2012), por esse motivo é difícil precisar quando os quadrinhos surgiram. Esse tipo de registro, se desenvolveu de muitas maneiras ao longo da história, desde a escrita hieroglífica dos egípcios, até as tapeçarias da idade média. O advento do alfabeto fonético fez com que a imagem passasse a ter menor importância como elo de comunicação entre os homens (VAGUEIRO, 2007 apud MOURA, 2012, p.5).

A história em quadrinhos (HQ) pode ser entendida como uma maneira de narrar histórias utilizando quadros, caracterizada pela utilização de imagens e palavras. Essa exposição gráfica que combina texto e imagem é organizada em disposições que produzem um dinamismo à história contada (McCLOUD, 2005, apud CORRÊA, A. ARTHURY, 2021, p. 74). Utilizando -se de imagens pictóricas e outras justapostas em sequência deliberada destinadas a transmitir informações e/ou a produzir uma resposta no espectador.

Os quadrinhos podem ser conhecidos por diversas denominações, como comics, nos Estados Unidos, e mangá, no Japão, já no Brasil o termo mais popular conhecido era o gibi, que era bastante conhecida durante os anos 30 e 90. Além das diferentes designações, as HQ também possuem diferentes formatos, entre os mais conhecidos, estão: as tiras, que foram

popularizadas pelos jornais e são geralmente dispostas na horizontal, tendo entre 3 e 5 quadros; os fanzines, que são produções caseiras, sem fins lucrativos, feitas por não profissionais que abordam seus temas favoritos; as HQ, que são as mais encontradas em bancas de revistas; e o mangá, de estilo japonês e que se popularizou no Brasil no início do século XXI.

Enquanto recurso didático, os quadrinhos podem ser considerados como um dos tipos de produção cultural que podem favorecer a convergência entre a ciência e o cotidiano. Segundo Zanetic (1999), existe uma relação entre cultura e o ensino de ciências, mas o ensino de Física é realizado de tal maneira que os estudantes têm contato com uma Física que parece ter sido construída por seres geniais, de forma linear e objetiva, sem relação com a vida atual e totalmente desprovida de cultura. Essa visão é fortalecida pelo ensino científico tradicional, que é permeado de certezas, individual, já consolidado, não levando em conta os fatores sociais em que foi produzido, tendo a sua aplicação de forma direta e não problemática. O que acarreta na inabilidade dos estudantes em avaliar a confiabilidade das informações vinculadas à ciência, e sua credibilidade.

Para mudar esse quadro o ensino de física não pode prescindir, além de um número mínimo de aulas, da conceituação teórica, da experimentação, da história da física, da filosofia da ciência e de sua ligação com a sociedade e com outras áreas da cultura. Isso favoreceria a construção de uma educação problematizadora, crítica, ativa, engajada na luta pela transformação social. (ZANETIC, 2005).

É necessário que o ensino de ciências possa contemplar a relação entre a construção do conhecimento científico, e a realidade a qual os estudantes estão imersos, a fim de desmistificar a concepção comum, de que quem faz ciência são indivíduos imunes a erros, e a questionamentos. Os estudantes precisam se identificar como parte integrante e essencial para o desenvolvimento e criticidade do conhecimento.

Por possuírem uma linguagem simples, associada aos recursos visuais que podem ser empregados em sua construção, as HQ conseguem realizar uma proximidade com os jovens, podendo propiciar uma leitura prazerosa, e atrativa. Quando bem utilizados os recursos linguísticos e visuais que as compõem, somada a mediação docente, podem ser facilmente aproveitadas como ferramenta de ensino para abordar

conteúdos científicos, e, por ser uma ferramenta de baixo custo, também se adequa a realidade escolar pública brasileira, compondo o material didático complementar adotado pelo professor.

A inclusão dos quadrinhos na sala de aula possibilita ao estudante ampliar seu leque de meios de comunicação, incorporando a linguagem gráfica às linguagens oral e escrita, que normalmente utilizam (VERGUEIRO, 2007 apud MOURA, 2012, p. 14). Levando em consideração a dificuldade dos conceitos que permeiam a Física, a escolha de uma mídia que permita a apresentação dessa linguagem de uma forma lúdica, visando a alfabetização científica através de ferramentas conhecidas e apreciadas pelo público-alvo, pode estimular as articulações entre ensino-aprendizagem, conhecimento e sociedade, integrando metodologicamente os conteúdos das disciplinas curriculares.

No Brasil, mais precisamente no Rio de Janeiro, já existe um projeto conhecido que implementa quadrinhos em sala de aula, a Educação Através de Histórias em Quadrinhos (EDUHQ), de 2008, coordenada pelo professor Francisco Caruso da (UERJ), apresenta uma proposta de educação por meio das HQ. O site do projeto conta com propostas para o ensino por meio do uso de tirinhas, material de apoio para o professor utilizá-las em sala de aula, e uma bibliografia sobre quadrinhos em geral. Esse

projeto multidisciplinar tem como meta principal o ensino de Ciências através de procedimentos didáticos não formais, que articulam conteúdos cognitivos e produção artística, através de uma raiz comum: a ênfase na criatividade operando no campo pedagógico. (CARUSO; FREITAS, 2009).

Segundo Caruso e Freitas (2009), o que torna interessante o uso das histórias em quadrinhos como fonte de motivação para os alunos em seus estudos, é justamente a sua forma e a sua linguagem características, que misturam elementos específicos e resultam em uma perfeita interação entre palavras e imagens, em uma sociedade que passa por mudanças cada vez mais rápidas e na qual a imagem se impõe de forma marcante, a rápida decodificação dos quadrinhos é um elemento facilitador do aprendizado,

pois é fácil notar a diminuição do poder de concentração dos jovens em uma atividade específica, principalmente se ela diz respeito aos estudos.

No blog Arte da Física em quadrinhos¹, é possível encontrar um repositório com muitos outros trabalhos que vêm sendo desenvolvidos como propostas de ensino de Física por meio das HQ, tendo como objetivo contribuir na divulgação e na alfabetização científica. Nesse ambiente, os trabalhos são classificados de acordo com tema ou área de conhecimento a que pertencem. Com relação ao tópico que reúne artigos, monografias, dissertações e teses, presentes no Blog tendo como tema a Física, existem ainda subtemas específicos como: Astronomia, Magnetismo e Eletricidade, Mecânica, Óptica, Ondas, e Física Moderna. Citando especificamente os 10 trabalhos listados como pertencentes ao subtema FMC utilizando a linguagem dos quadrinhos, ressalto que dois desses (SILVA, J., 2020; AQUINO et al., 2019), tratavam-se na verdade de abordagens relacionadas à Química. O trabalho de Rodrigues (2013) versa sobre ondas eletromagnéticas, e os de Nascimento (2015) e Barros (2015) sobre Astronomia e, portanto, dizem respeito à Física Clássica.

Com relação às abordagens contidas nos demais, tem-se o de Ferreira R. (2013) com a Relatividade restrita, (PAIVA, 2015; NOBRE; FEITOSA, 2019) com tópicos de Física Quântica, Pereira (2019) com a Física de partículas, todos para o ensino médio. Esses trabalhos contam com a elaboração autoral, a ilustração de terceiros, ou utilizando ferramentas específicas que permitem a inserção de imagens prontas. Mesmo tratando de diferentes tópicos da FMC, todos os trabalhos relatam resultados positivos e satisfatórios em suas aplicações em sala de aula, servindo como exemplo do benefício das HQ como recurso didático para o ensino de física.

Entretanto, tendo como referência o Blog arte da Física em quadrinhos, não foram encontrados trabalhos que tratassem diretamente do tema antimatéria no ensino médio. Utilizando como periódicos a *Revista Brasileira do Ensino de Física*, e o *Caderno Brasileiro do Ensino de Física* para pesquisa de trabalhos associados ao tema, através da busca com as palavras: antimatéria em quadrinhos, no período de 2018 a 2023, não

¹ <https://artedafisicapibid.blogspot.com/>

foram encontrados trabalhos. Porém, utilizando o mesmo critério de busca agora na plataforma google acadêmico foi possível filtrar o número de 75 trabalhos correspondentes, dos quais 3 tratavam efetivamente do ensino de Física envolvendo aspectos da antimatéria, sendo eles, a produção de Santos (2019), que vai propor uma sequência didática acerca da Física Nuclear e de partículas, tendo como base a produção cinematográfica homem de ferro para o ensino médio, onde discute questões a respeito da antimatéria, porém não faz uso da linguagem dos quadrinhos. O de Granja (2021), que apesar de realizar uma análise da abordagem do tema antipartículas no ensino médio contida nos livros didáticos, e fornecer um material de apoio para inteirar a carência de material encontrada em seu trabalho nessa área, também não o faz por meio de quadrinhos. E por fim, o material elaborado por Silva (2019) que vai apresentar uma abordagem da Física de partículas para o ensino médio, envolvendo as antipartículas e o fenômeno da aniquilação. O trabalho apresenta resultados positivos acerca da aplicação dos quadrinhos em favor do ensino da FMC. É importante mencionar também, o trabalho do professor José Flávio Marcelino Borges, do Departamento de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), que desenvolveu, em 2020 a HQ denominada Liga da matéria - Os Super Hádrons, que é ilustrada por um desenhista contratado por ele, e aborda os temas da FMC para estudantes do ensino médio e superior, unindo a experiência da sua docência em Física, ao sucesso obtido com a abordagem no formato de HQ as revistas são comercializadas e já contam com duas edições.

Contudo, o trabalho desenvolvido e aqui apresentado, traz uma contribuição significativa na carência associada ao tema da antimatéria, aliada à sua elaboração em quadrinhos para o ensino médio, como material complementar a ser utilizado pelo professor em sala de aula.

2.2 A PEDAGOGIA FREIREANA

O conhecido educador brasileiro Paulo Freire, nasceu em 19 de setembro de 1921, em Recife, PE, e faleceu em maio de 1997, no Rio de Janeiro. De acordo com Macêdo (2015), apesar de possuir formação em

direito, foi por meio da educação que abraçou o compromisso de melhorar a vida dos setores marginalizados de sua sociedade. Em sua pedagogia, Freire indicava possíveis soluções para superação de condições como a cotidianidade discriminatória, de uma sociedade predominantemente patriarcal e elitista, além dos problemas sociais e educacionais presentes na época, partindo da perspectiva de que a educação fosse tratada como um ato político, tornando - se assim um diferencial dentro do seu país ao abordar uma concepção tão inovadora.

Para Paulo Freire a educação pode se apresentar de acordo com duas concepções adversas, uma seria a educação bancária e a outra a educação problematizadora. A primeira concepção trata o educador como um transmissor de conhecimento, que entrega as informações prontas aos educandos, estes enquanto meros receptores, tem apenas o papel de receber, arquivar, memorizar e repetir. Assim, a consciência é entendida como uma “caixa” vazia, que vai sendo preenchida pelo educador com pedaços do mundo, que se tornam, no interior das cabeças dos educandos, conteúdos de consciência (MACÊDO, 2015). Essa concepção

termina por arquivar o próprio homem, tanto o que faz o depósito como o que recebe, pois não há homem fora da busca inquieta. Fora da criação, da recriação. Fora do risco da aventura de criar (FREIRE, 1974, apud MACÊDO, 2015, p.136).

De acordo com o pensamento de Paulo Freire, o homem é um ser da práxis, porque admira o mundo e o objetiva; porque capta e compreende a realidade, transformando-a com a sua ação-reflexão (FREIRE, 1974, apud MACÊDO, 2015, p. 135). Ou seja, Freire parte do pressuposto de que o homem é capaz de transformar a sua realidade por meio de sua ação, desde que realize uma reflexão crítica sobre ela.

Esta reflexão pode ser desenvolvida durante o processo educativo segundo a concepção problematizadora da educação que está alicerçada no pensamento crítico, no qual o educador passa a ser o agente responsável por problematizar questões que envolvem o homem e o seu cotidiano, exigindo, portanto, uma posição permanentemente reflexiva desses indivíduos, que agora enquanto um corpo consciente e desafiado,

tem o seu poder investigativo aguçado, que o estimula a responder aos desafios propostos. Diante de cada situação problemática com que se depara, sua consciência intencionada vai captando as particularidades da problemática total, que vão sendo percebidas como unidades em interação pelo ato reflexivo de sua consciência, que vai se tornando crítica (MACÊDO, 2015, p. 139).

Em Freire, a concepção problematizadora tem papel fundamental na emancipação dos indivíduos, enquanto protagonistas buscando inquietamente o saber, entendendo o seu potencial transformador no mundo. Já a educação bancária estaria a serviço da dominação, uma vez que veta a capacidade crítica e reflexiva do homem (FREIRE, 1970 apud MACÊDO, 2015) pois, os educandos não são chamados a conhecer, mas a memorizar o conteúdo narrado pelo educador, e dessa maneira não pode haver conhecimento.

O pensamento Freireano além de se firmar na problematização como o meio pelo qual o conhecimento pode, e deve ser construído, também se funda na dialogicidade que está alicerçada na palavra. Pois para estimular o pensamento crítico do estudante frente às problemáticas propostas, o educador precisa saber dialogar sobre a sua visão de mundo, e sobre as diferentes perspectivas trazidas pelos educandos, para que haja uma troca, e não uma imposição de conhecimento. Dessa maneira ele vai conseguir sugerir e explicitar conflitos que desafiam os estudantes a agir de forma coletiva, junto a ele, em busca das compreensões e soluções possíveis, e até de problemas que decorram dos propostos originalmente. (MACÊDO, 2015). Freire afirma que

Nenhum pensador, como nenhum cientista, elaborou seu pensamento ou sistematizou seu saber científico sem ter sido problematizado, desafiado. (FREIRE, 2002, apud DELIZOICOV; GEHLEN, 2020).

Para Delizoicov (2001), problematizar é proporcionar ao estudante a necessidade de adquirir conhecimentos que ainda não detém, onde a configuração da discussão deve ser feita de tal forma que apresente um problema que precisa ser enfrentado. Freire acredita que esse processo se daria antes de tudo por meio da expressão linguística, que seria o ponto de partida para novas problematizações, seguida de uma reflexão crítica

progressiva em torno dos objetos a serem conhecidos. Dessa maneira a curiosidade ingênua seria despertada, e no decorrer dos questionamentos reflexivos, ela se aproxima de uma curiosidade dita epistemológica. De acordo com Freire, a curiosidade dita epistemológica, quando exercitada produz a superação do conhecimento trazido pelos estudantes pelo conhecimento elaborado e produzido coletivamente (FREIRE, 1997 apud MACÊDO, 2015). Porém, ao se tratar de uma elaboração coletiva é preciso se levar em conta as características dos indivíduos, pois cada um possui uma maneira específica de enxergar o mundo, o que pode interferir no processo de comunicação durante a discussão dos problemas propiciados pelo educador, é nesse sentido que a dialogicidade apontada por Freire tem papel fundamental para a busca da compreensão e proposta de soluções, desde que o professor conheça os estilos de pensamento com o qual pretende dialogar criticamente.

Em Paulo Freire, o conhecimento é tratado por meio de uma concepção pedagógica, mas a dimensão psicológica também está envolvida no processo de ensino e aprendizagem dos sujeitos, e é possível traçar uma articulação psicopedagógica tendo como mediadora a concepção educativa Freireana, e psicológicas de Vygotsky (1896 - 1934).

Enquanto psicólogo, Vygotsky se interessou em estudar o desenvolvimento intelectual humano, e defendia que o homem é constituído na interação com o meio em que está inserido, internalizando as formas culturais do meio, mas também intervindo e as transformando. Essa teoria ficou conhecida como sociointeracionismo. De acordo com Vygotsky, o desenvolvimento pessoal é produto da aprendizagem, das interações entre o sujeito que aprende, e os agentes mediadores de cultura. Esse desenvolvimento aconteceria em dois níveis de internalização, o interpsicológico e o intrapsicológico. No primeiro nível, o indivíduo conseguiria realizar as atividades graças as indicações recebidas. Já no segundo nível, esse indivíduo seria capaz de realizar as atividades por si mesmo. Vygotsky, é também quem elabora o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), como sendo a distância entre o nível de desenvolvimento real, ou seja, aquele em que o indivíduo é capaz de obter conhecimento de forma independente, e o nível de desenvolvimento

potencial, que engloba as possibilidades que o indivíduo possui de aprender sob a orientação e interação com um ser mais capaz. É a ZDP quem potencializa a transição dos níveis inter e intrapsicológico no processo de ensino e aprendizagem.

De acordo com Delizoicov e Gehlen (2020), a ZDP é uma ação pedagógica que leva a novos níveis de desenvolvimento, e ela que vai tornar eficaz a atribuição de novos significados aos objetos, que serão ressignificados conceitualmente, passando a representar os conceitos científicos no nível de desenvolvimento potencial. E aqui o educador possui o papel de agente mediador, uma vez que é por meio da relação entre professor e aluno que se estabelecem as possibilidades de o estudante construir interlocuções com o mundo. No entanto, Vygotsky não evidencia uma dinâmica pedagógica para se fazer isso.

Todavia, podemos encontrar semelhanças entre a pedagogia Freireana e a perspectiva Vygotskyana, já que em Freire, é a problematização que contribui para a formação de uma nova percepção e do novo conhecimento, utilizando a dialogicidade para considerar os panoramas diversos dos educandos. As problemáticas propostas e a provocação do desenvolvimento reflexivo mediado pelo educador, podem ser interpretadas como uma atuação na zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky, onde o educador é o ser mais capaz tendo a tarefa de dialogar com as visões de mundo dos educandos, levantar discussões que afloram a curiosidade ingênua e através da reflexão e criticidade conduzir esse interesse até a curiosidade epistemológica, onde as visões de mundo serão ressignificadas.

Contudo, de acordo com Delizoicov e Gehlen (2020), em Vygotsky a problematização também tem um papel essencial, pois é ela que vai contribuir para que o sujeito decodifique e atribua um novo significado a determinado conceito. E é através da relação psicopedagógica descrita que esse trabalho foi pautado, considerando a problematização e a dialogicidade como dinâmicas pedagógicas fundantes atreladas ao seu papel junto a concepção psicológica defendida por Vygotsky.

2.3 A TEORIA CRÍTICA DA NATUREZA DA CIÊNCIA (NdC)

De acordo com a pesquisa desenvolvida por Macêdo (2015), algumas visões equivocadas a respeito da Natureza da Ciência (NdC), são transmitidas pelo ensino de ciências, e são em grande parte responsáveis pelo fracasso dos estudantes, e do seu desinteresse pela ciência. Uma vez que essas visões equivocadas estão presentes entre os professores, e são transmitidas aos estudantes, apresentando a ciência sem levar em consideração a maneira como esta é construída, e de como os conhecimentos científicos evoluem ao longo do tempo. Essa concepção da educação reduz o ensino de ciências à mera apresentação de conhecimentos já elaborados, impedindo que os estudantes tomem contato com as atividades características do ambiente científico que os construiu (MACÊDO, 2015), aproximando-se da chamada educação bancária, apontada por Freire (1970).

Essa concepção equivocada permeia o imaginário do senso comum, que entende a ciência como sendo uma produção individual, linear e que não leva em consideração aspectos sociais, políticos e culturais dos indivíduos que produzem o conhecimento científico. As complicações e mudanças no estilo de pensamento são ignoradas (FLECK, 2010 apud MACÊDO, 2015). Uma vez que, essa ideia também permeia a mente de cientistas e filósofos que tentam justificar esse pensamento de forma crítica e favorável, esta visão da ciência não pode ser considerada somente como pertencentes ao senso comum, mas sim como uma concepção tradicional sobre a natureza da ciência (MACÊDO, 2015).

Segundo Macêdo (2015), existem aspectos consensuais essenciais, para que possamos desenvolver junto aos estudantes uma concepção crítica sobre a NdC:

1. Recusar a idéia do “Método Científico”.

Essa recusa diz respeito à inexistência de um método científico, como um conjunto de regras a serem aplicadas de forma mecânica, sem necessitar do domínio do objeto de investigação, e do talento do próprio investigador.

2. Recusar o empirismo que concebe o conhecimento como resultado da inferência indutiva a partir de “dados puros”.

Somente à luz de um sistema teórico os dados podem ser coletados, interpretados e passam a ter sentido, uma vez que "a observação é sempre uma observação à luz de teorias" (POPPER, 2007, p.61 apud MACÊDO, 2015). Ou seja, a teoria precede a interpretação dos dados, e sem ela eles não possuem sentido próprio.

3. Evidenciar o papel do pensamento divergente na investigação.

Os cientistas não raciocinam em termos de certezas, mais ou menos baseadas em evidências, mas em termos de hipóteses, que estão alicerçadas em conhecimentos adquiridos, mas que são concebidas como simples tentativas de resposta, que deverão ser postas à prova o mais rigorosamente possível. São, então, as hipóteses que orientam a busca de dados, assim não existem, portanto, "regras de indução" aplicáveis em geral, mediante as quais hipóteses ou teorias possam ser mecanicamente derivadas ou inferidos dos dados empíricos. A transição dos dados à teoria requer uma imaginação criadora. As hipóteses e as teorias científicas não são derivadas dos fatos observados, mas *inventadas* com o fim de explicá-los. (HEMPEL, 1974, p.27 apud MACÊDO, 2015).

4. Buscar a coerência global.

Os resultados obtidos devem ser coerentes com todo o processo seguido para obtê-los, o que conduz a revisões contínuas, para tentar obter esses resultados por caminhos diversos e, particularmente, a mostrar a sua coerência com os resultados obtidos em outras situações (CHALMERS, 1994 apud MACÊDO, 2015).aw

5. Compreender o caráter social do desenvolvimento científico.

A comunidade científica é um coletivo de pensamento (FLECK, 2010 apud MACÊDO, 2015), portanto não faz sentido a ideia de investigação

individual e autônoma, sem levar em consideração a influência do meio social e político no qual o conhecimento é desenvolvido.

É esse último aspecto que este trabalho vai enfatizar, levando em consideração a importância de se reforçar a existência de mais contribuições durante o desenvolvimento do conhecimento científico, que foram cruciais para a compreensão sobre a antimatéria, a fim de não corroborar com a concepção equivocada de que fazer ciência é uma tarefa de “gênios solitários” que se encerram numa torre de marfim, desligados da realidade (MACÊDO, 2015). Apesar da HQ construída não dar conta de todas as contribuições existentes, ela foi pensada para ser utilizada pelo professor como um recurso para favorecer o pensamento crítico e reflexivo, incluindo o que diz respeito à natureza crítica da ciência, de maneira que os estudantes possam enxergar a possibilidade de oferecer colaboração ao desenvolvimento do conhecimento científico.

2.4 A ANTIMATÉRIA

A abordagem sobre antimatéria, inclui previamente uma contextualização, que perpassa a vida de Paul Adrien Maurice Dirac, um físico teórico do século XX, que previu teoricamente a antimatéria. Ele também é conhecido por suas elegantes, e importantes contribuições para a formulação da mecânica quântica, pela teoria quântica de emissão e absorção da radiação, pela equação relativística do elétron, e pela hipótese dos grandes números em cosmologia.

Dirac, nasceu em 08 de agosto de 1902, em Bristol, Inglaterra, e morreu em 20 de outubro de 1984, em Tallahassee, Estados Unidos. Engenheiro eletricitista de formação, grau obtido em 1921 na Bristol University (BU), seguido do Doutorado em 1926, no St. John's College, em Cambridge, onde posteriormente tornou-se membro dessa Instituição como professor Lucasiano de Matemática. Foi laureado com o Prêmio Nobel de Física, em 1933, aos 31 anos de idade juntamente com o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887- 1961) pelas suas inéditas equações de onda da Mecânica Quântica, seguida de muitas outras premiações durante a sua vida. A contribuição mais famosa dada por Paul Dirac à Física, talvez tenha

sido para o desenvolvimento da Mecânica quântica, aos 26 anos, seguida por sua previsão da existência de antipartículas. Ele, teve a sua vida científica pautada em uma estética muito particular, em defesa de que os físicos deveriam buscar as leis fundamentais da natureza, que fossem as mais belas possíveis, do ponto de vista matemático (BASSALO; CARUSO; 2013), e por isso era sempre adepto das equações mais elegantes.

Segundo Bassalo e Caruso (2013), Dirac nutria notável interesse pela teoria da relatividade de Einstein, e dedicava-se, nas horas vagas, a encontrar versões relativísticas de algumas teorias clássicas, dessa maneira, é provável que o questionamento de como compatibilizar a mecânica quântica firmada em 1925, com a já conhecida teoria da relatividade especial proposta por Einstein (1879-1955) 20 anos antes, tenha o incomodado entre os anos 1926 e 1928. O que o levou mais tarde a desenvolver uma equação que unia essas duas teorias. Porém, antes dele, dois físicos, Oscar Klein (1894-1977), e Walter Gordon (1920-1997), desenvolveram o que ficou conhecida como a equação de Klein – Gordon (KG) em 1926, que surgiu como uma generalização da equação de Schrödinger, contendo a primeira descrição relativística da mecânica quântica. A equação KG conseguia descrever a dinâmica das partículas subatômicas de spin 0, que ainda não eram conhecidas na época.

A equação proposta por Oskar Klein e Walter Gordon em 1926, tinha a seguinte forma:

$$\left(\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 + \frac{m_0^2 c^2}{\hbar^2} \right) \psi = 0 \quad (1)$$

Onde ∇^2 é o laplaciano em coordenadas cartesianas $\{x, y, z\}$, m_0 é a massa de repouso da partícula descrita e ψ é a função de onda que descreve o seu comportamento, e c a velocidade da luz no vácuo. Além disso, as energias que correspondem às soluções dessa equação obedecem a relação relativística:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4 \quad (2)$$

$$E = \pm c \sqrt{m_0^2 + p^2} \quad (3)$$

Uma consequência direta obtida da equação de Klein – Gordon é que ela prevê soluções para energias negativas, diferentemente da equação não relativística. Pode-se notar que essa equação (1) é de segunda ordem no tempo, e, portanto, exige, além de um estado inicial, outra condição de contorno para nos fornecer a dinâmica da partícula descrita (FERREIRA, N., 2019) e em última instância, ter uma equação de segunda ordem no tempo, conduz a probabilidades negativas. Esse fato levou ao seu abandono temporário, pois tais resultados foram vistos como sem sentido na época.

Nos trabalhos “*The quantum theory of the electron*” e “*The quantum theory of the electron – Part II*” publicados em 1928, Paul Dirac consegue propor uma formulação quântico-relativística para o spin do elétron (HELAYEL; OSPEDAL, 2019) mas, diferentemente da equação KG, em sua proposta considerava que um elétron se movendo em um campo deveria ser de primeira ordem na derivada temporal, assim como a equação:

$$H\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (4)$$

Pois, consequentemente de acordo com a teoria da Relatividade, as derivadas espaciais também seriam de primeira ordem (BASSALO; CARUSO, 2013). A solução encontrada por Dirac foi:

$$(i\hbar \gamma^\mu \partial_\mu - mc) \psi = 0 \quad (5)$$

ψ é a função de onda do elétron, ∂_μ representa a derivada parcial em relação à coordenada espaço-temporal x^μ , m é a massa do elétron, e γ^μ são as chamadas matrizes de Dirac, que são quatro matrizes 4x4.

Um fato importante que precisa ser destacado é que as matrizes de Dirac obedecem às relações de anticomutação, que são essenciais para garantir que a equação relativística de Dirac seja consistente com a teoria quântica. As matrizes de Dirac podem ser escritas como combinações lineares de matrizes de Pauli e a matriz identidade. A solução para a equação de Dirac é uma função de onda de quatro componentes, representando os chamados spinores de Dirac. Cada componente corresponde a um possível valor do spin do elétron. A equação de Dirac prevê naturalmente a existência de estados de spin $\frac{1}{2}$ para os elétrons, fato que foi confirmado experimentalmente. As relações de anticomutação são cruciais por diversas razões dentre elas:

Antissimetria: A anticomutação garante que a ordem das matrizes não afete o resultado. Isso é fundamental para manter a simetria na equação de Dirac e garantir que a teoria seja consistente com os princípios da mecânica quântica.

Probabilidades positivas: A anticomutação também desempenha um papel na interpretação probabilística da equação de Dirac. A probabilidade de encontrar uma partícula em uma determinada região do espaço é dada pelo módulo ao quadrado da amplitude da função de onda. As relações de anticomutação contribuem para garantir que as probabilidades sejam sempre não negativas, o que é uma exigência fundamental para qualquer teoria Física.

Antissimetria dos spinores: A anticomutação é essencial para garantir a consistência matemática e Física dos spinores de Dirac. Os spinores de Dirac, que são soluções da equação de Dirac, desempenham um papel crucial na descrição de partículas com spin $1/2$ e na previsão de antipartículas.

De modo que as soluções de Dirac apresentam o aspecto da anticomutação que são fundamentais para garantir a coerência matemática

e Física da equação relativística de Dirac, tornando-a consistente com os princípios fundamentais da teoria quântica.

Para o caso das partículas livres, das quatro componentes da solução ψ , duas correspondem a partículas com energia relativística positiva:

$$E = + c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \quad (6)$$

E as outras duas, correspondem a partículas com energia negativa:

$$E = - c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \quad (7)$$

Assim como a equação KG, a equação de Dirac, também previa soluções com energia negativa, porém com probabilidade positiva, como supracitado. Dirac, compreendeu que esses estados de energia negativa não poderiam ser desconsiderados, mas que dever-se-ia interpretá-los fisicamente de outra maneira.

Em seu trabalho intitulado “*A theory for electrons and protons*” lançado em 1929, no qual a interpretação física que atribui aos estados de energia livre negativa o leva à introdução do conceito de vácuo quântico, o que representa uma novidade altamente consequente para a Física de nossos dias (HELAYEL; OSPEDAL, 2019). Ele propôs uma nova visão a respeito do vácuo, que anteriormente era visto como sendo a região do espaço que não continha absolutamente nada. A nova interpretação adotada por Dirac foi a de que o vácuo seria a região do espaço onde se encontrariam todos os estados de energia negativo. (BASSALO; CARUSO, 2013).

Dirac imaginou que o vácuo seria o estado, com todos os níveis de energia negativa ocupados pelos elétrons (também chamado de mar de Dirac), assim um elétron de energia positiva não poderia nunca sofrer uma transição para estados de energia negativa, pois todos estariam ocupados. Mas, um desses elétrons poderia ser excitado, indo para o estado de energia positiva, deixando no vácuo, o que Dirac chamou de “buraco”, que

se comportaria da mesma maneira que a partícula promovida ao estado de energia positiva, mas, possuindo energia negativa e carga positiva, o oposto ao elétron como conhecemos. Foi esta interpretação dada por Dirac, que levou a previsão da existência de uma antipartícula do elétron.

A teoria de criação de pares de partículas e antipartículas, decorrente da Equação de Dirac (ED), como ficou conhecida, pôde ser corroborada empiricamente (POPPER, 1972), em 1932, quando Carl David Anderson (1905 - 1991), ao estudar o trajeto dos raios cósmicos através de uma câmara de névoa, aparelho que permite que o vapor d'água se condense ao longo do trajeto de uma partícula de movimento rápido (CHESTER, 1979), observou que algumas dessas fotografias mostravam elétrons com curvatura na direção errada, Anderson realizou outra prova e demonstrou que as partículas que mostravam uma curva para trás não podiam ser elétrons, mas que tinham que ser partículas com a mesma massa, e quantidade de carga dele, porém com uma carga oposta. Carl havia observado pela primeira vez, a antipartícula do elétron, que foi chamada de pósitron.

A previsão da existência da antipartícula do elétron, o pósitron feita por Dirac, seguida quase imediatamente pela detecção experimental de Anderson, impactaram a Física Teórica e Experimental do século XX, pois além de revolucionar o conceito de vácuo, que forneceu uma das maiores contribuições para a compreensão da matéria, foi capaz de consolidar um novo entendimento sobre a natureza quântico - relativística do spin, e levou a uma revisão necessária no próprio conceito de partícula elementar.

Detecções posteriores de partículas como o múon (μ), em 1937, a evidência do quark “charmoso” C, em 1974, o quark top, em 1995, e os bósons intermediários das forças fundamentais como os bósons, $Z, W^{\pm}$, e glúon, em 1979, foram detectados em experimentos realizados a partir da aniquilação de partículas e antipartículas, incluindo a observação do bóson de Higgs em 2013. Isso significa que uma grande parte das partículas elementares que compõem o modelo padrão, foram detectadas graças a interação matéria - antimatéria em aceleradores de partículas.

A antimatéria, de maneira geral é entendida como sendo o “inverso” da matéria, uma vez que as partículas e suas antipartículas têm propriedades opostas, mas também possuem algumas dessas propriedades idênticas, e que não admitem valores opostos. Assim, as partículas e suas antipartículas têm a mesma massa, o mesmo spin e a mesma meia-vida, mas valores opostos de carga forte, carga fraca, carga elétrica, número bariônico, número leptônico e helicidade. Todas as partículas possuem antipartículas, embora em alguns casos coincidam entre si, como é o caso do bóson de Higgs e do fóton.

As partículas elementares são descritas de acordo com o modelo padrão das partículas elementares, que se baseia na Teoria Quântica de Campos. Essa teoria trata as partículas como sendo excitações de campos quânticos que preenchem todo o universo. As partículas elementares de matéria que compõem os átomos seriam os elétrons, e quarks up e down (que constituem os prótons e nêutrons do núcleo atômico). E apesar de ser possível observar a existência das antipartículas por meio de colisões em aceleradores de partículas, ou em raios cósmicos, não se sabe se existem antiátomos na natureza, em algum lugar do universo, mas é possível criá-los em laboratório. Em 1995, cientistas do CERN conseguiram produzir um antiátomo de hidrogênio. Isto é, átomos formados de pósitrons orbitando em torno de antiprótons. Mas, esses antiátomos viveram muito pouco, algo em torno de 40 nanossegundos. Alguns anos após a detecção do pósitron, observou-se que ele também possui uma vida muito curta, dentro de uma fração de segundo, devido ao seu encontro quase instantâneo com o elétron, acarretando na aniquilação mútua entre eles, quando esse

encontro entre uma partícula e sua antipartícula ocorre em baixas velocidades, o resultado da aniquilação consiste apenas em fótons; mas se a colisão ocorrer com energias suficientemente altas, outras partículas e antipartículas também podem ser criadas, além dos fótons. (GATO, 2020).

Este fenômeno ocorre regularmente em colisões entre partículas, e de acordo com a fórmula de Einstein para a conversão entre massa e energia, $E = mc^2$, parte da energia da colisão pode ser investida na

criação de partículas e antipartículas com massas equivalentes. Mas, como os fótons não têm massa, nenhuma energia limite é necessária para que eles sejam produzidos, excitando seus campos quânticos (GATO, 2020). A aniquilação entre matéria e antimatéria, é um processo extremamente energético, mas a tecnologia atual só consegue produzir quantidades insignificantes de antimatéria, utilizando recursos gigantescos de tecnologia, energia e dinheiro.

De acordo com Gato (2013), acredita-se que a antimatéria primordial foi criada segundos após o Big Bang há cerca de 13,8 bilhões de anos, e pode ter desaparecido totalmente, pois, existe uma suposição de que partículas e antipartículas foram criadas em quantidades idênticas, no início do universo, e por esse motivo deveriam ter se aniquilado completamente. Ela também afirma que de fato, a grande aniquilação ocorrida após a criação do universo quase destruiu completamente a matéria, mas acredita-se que algo deve ter acontecido antes disto para gerar um excedente muito pequeno de partículas sobre antipartículas, sendo o suficiente para que o universo passasse a existir como conhecemos (GATO, 2013). A chamada antimatéria secundária, por sua vez, é criada continuamente em nossa volta, seja por colisões de partículas provenientes de raios cósmicos, nas reações nucleares dentro das estrelas, e ainda pelo núcleo de certas substâncias radioativas, no isótopo de potássio, por exemplo que é abundante nas bananas, e nos nossos próprios ossos.

Uma importante aplicação envolvendo a aniquilação de elétrons de matéria biológica com pósitrons é uma das importantes técnicas de imagem utilizadas pela medicina. A chamada tomografia por emissão de pósitrons (PET), ocorre através da utilização de drogas com isótopos radioativos de vida muito curta que são injetadas no paciente, esses isótopos emitem pósitrons, que se aniquilam com os elétrons do tecido circundante, emitindo raios gama em direções opostas que são detectados pelo tomógrafo PET, dentro do qual o paciente está alojado (GATO, 2020). Este procedimento possibilita o diagnóstico e acompanhamento de diversas categorias de tumores cancerígenos. A radiação produzida pela aniquilação de pósitrons também é bastante utilizada no estudo de materiais com propriedades tecnológicas importantes, como é o caso da supercondutividade,

magnetorresistência e ferroeletricidade, além de também possibilitar a obtenção de imagens do interior de alguns materiais com diversas finalidades.

Paul Dirac, ao tentar conciliar Mecânica Quântica, e relatividade especial, foi levado a descobrir uma relação profunda entre matéria e espaço, relação essa que decorre das simetrias matemáticas sob as quais a sua equação se mantém invariante. Dela resultou uma nova visão de mundo, na qual a matéria perdeu seu papel central e são os princípios de simetria que o assumem (WEINBERG, 1933 apud BASSALO; CARUSO, 2013). Ele nos ensinou como a estética e a beleza matemática podem, aliadas a questões fundamentais da Física, nos mostrar os caminhos para uma virtualidade nos bastidores de mundos imagináveis. Estes caminhos podem levar a descobertas e revelações extraordinárias, de altíssimo significado para o mundo do Conhecimento, e com nenhum vislumbre de aplicação imediata. Se o significado existe, a aplicação virá, ainda que décadas mais tarde (HELAYEL; OSPEDAL, 2019). Esta importante contribuição, é a base do desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica, e em geral da Teoria Quântica de Campos, onde se encontra a possível descrição de novos processos envolvendo a criação e aniquilação de partículas.

3. METODOLOGIA

A escolha sobre o tema de que trata esse trabalho foi definido a partir de um interesse pessoal sobre a antimatéria por se tratar de um tópico da Física moderna, e envolver um dos problemas abertos na Física, o da assimetria matéria - antimatéria. Do ponto de vista pedagógico, falar sobre antimatéria pode despertar a curiosidade dos estudantes, possibilitando que eles possam compreender melhor este, e quem sabe, outros problemas em aberto na área da Física. Lidar com esse tema pode, além de tudo, evidenciar a existência dos muitos fenômenos incompreendidos da natureza, o que reforça a concepção de que a ciência não é uma área finalizada, mas dinâmica e em constante evolução. O fato de ser uma

temática pouco explorada na inserção do ensino de FMC no ensino médio, de acordo com a nossa pesquisa, também foi fator relevante nesta decisão.

A abordagem por meio dos quadrinhos, por sua vez, surgiu da necessidade de que essa construção fosse feita com o uso de uma linguagem simples e atraente, uma vez que, está associada à utilização de imagens e palavras, além de ser uma das formas de produção cultural popularmente conhecida entre os jovens. Uma vez definido o tema, e a linguagem com a qual o trabalho seria desenvolvido, a afinidade com desenho e ilustração entrou em cena como um dos fatores que permitiu que esse trabalho fosse construído conforme havia sido pensado.

As ilustrações que viriam a compor os quadrinhos foram feitas de maneira autoral, e individualmente, com a utilização do aplicativo *Autodesk SketchBook*, instalado num tablet. Esse aplicativo é gratuito, geralmente utilizado por desenhistas e ilustradores que estão buscando afinidade com arte digital, ferramenta essa, que utilizo desde o ano de 2020. Os quadrinhos foram montados utilizando o software *Canva* que dispõe de layouts diversos, balões de fala, e outros elementos que podem ser inseridos de acordo com a escolha de cada um. O primeiro quadrinho foi feito em 2022 quando a ideia da HQ surgiu, mas a história só começou a ser produzida de fato, quando a proposta foi apresentada ao professor Ricardo Macêdo, que prontamente se dispôs a orientar essa construção, juntamente com o professor Osvaldo Rocha, em meados de junho de 2023. Após os nossos encontros e reuniões, a HQ foi sendo estruturada aos poucos, alguns quadrinhos iniciais tiveram que ser abandonados, pois não traziam consigo a perspectiva do ensino problematizador, mas posteriormente puderam ser parcialmente reutilizados quando a teoria de ensino e aprendizagem foi definida.

Durante a construção da HQ nos deparamos com alguns problemas, dentre eles a necessidade de se definir uma estratégia que desse conta da quantidade de contribuições científicas relevantes ao longo da história, que culminaram no entendimento e detecção da antimatéria, a solução adotada foi a criação de uma personagem. Nomeada como Quasary, que faz

referência ao Quasar (Quasi Stellar Radio Sources²), a personagem tem a capacidade de viajar no tempo, e assim poder se mover para pontos específicos que favoreçam a compreensão da antimatéria dentro da HQ. As cores utilizadas para descrever as partículas subatômicas também foram feitas de acordo com a teoria das cores utilizada, também pela cromodinâmica quântica, a fim de preservar a coerência na descrição Física.

Já fundamentação teórica principal empregada na construção da HQ foi o livro *Antimateria* da autora Beatriz Gato Rivera³, assim como seu artigo *La antimateria*, do qual foram utilizados os tópicos como base para construir parte do enredo que trata diretamente da antimatéria.

Todavia, a história em quadrinhos produzida tem como proposta a abordagem da antimatéria através de uma narrativa conceitual, articuladas em problemas e problematizações, que evidenciam possíveis temas que podem ser discutidos pelo professor, sendo este o principal mediador responsável por levar os estudantes a reflexão crítica a partir dos questionamentos propostos pela HQ, favorecendo dessa maneira o ensino e aprendizagem através da decodificação e ressignificação do conceito tratado e inserido na FMC

4. QUADRINHOS E PROBLEMATIZAÇÕES.

Na HQ desenvolvida, a personagem Quasary tem a possibilidade de viajar no tempo, e para outros planetas. Durante a história contada ela viaja até o planeta Terra, a fim de tentar encontrar soluções para alguns questionamentos. A HQ contém um total de 24 quadrinhos baseados em 4 problemas principais, sendo estes respectivamente:

². Os quasares, cujo nome vem de "Quasi Stellar Radio Sources", foram descobertos em 1961, como fortes fontes de rádio, com aparência ótica aproximadamente estelar, azuladas. São objetos extremamente compactos e luminosos, emitindo mais do que centenas de galáxias juntas, isto é, até um trilhão de vezes mais do que o Sol. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula25-132.pdf>>.

³ Física teórica do Instituto de Física Fundamental do Conselho Superior de Pesquisas Científicas (CSIC). Especialista em supercordas, uma das teorias que tenta unificar a relatividade geral e a mecânica quântica.

1. *Do que são feitas as coisas?*
2. *As teorias Físicas podem prever matematicamente entes desconhecidos?*
3. *Existem anticoisas? Do que são feitas?*
4. *O que acontece quando uma coisa encontra a sua anticoisa?.*

Deles decorrem problematizações que serão evidenciadas posteriormente

Apesar de a capa não ser necessariamente um elemento essencial, foi um recurso adotado para enriquecer o conteúdo como representação prévia da história. A imagem definida para a capa figura 1 ilustra a personagem principal, sendo uma constituída de matéria e outra de antimatéria, sendo uma a versão espelhada da outra, mantendo as cores e anticores que representam respectivamente elétron e pósitron dentro da história. Após a capa figura 2, a personagem aparece se apresentando aos leitores, e evidenciando o primeiro problema a ser discutido, que será retomado posteriormente. Já no quadrinho seguinte figura 3, a personagem vai salientar que a história tem um número muito maior de contribuições do que as que serão descritas na HQ, o que já define que só alguns acontecimentos serão relatados, para favorecer o entendimento sobre o assunto abordado. Essa foi a estratégia adotada para não cometermos o erro de reforçar a concepção de que a história foi construída somente pelos nomes tradicionalmente conhecidos, e sim que contou com o trabalho de muitas outras pessoas que nem sempre são citadas, e apesar de não ser possível contemplar todos nessa HQ, esse fato pode ser explorado pelo professor.

Capa da HQ



Figura 1: Capa da HQ, ilustrando a personagem principal sendo uma constituída de matéria e outra de antimatéria, mantendo as cores que representam respectivamente elétron e pósitron na história.



Figura 2: Apresentação da personagem e do primeiro problema contido na história

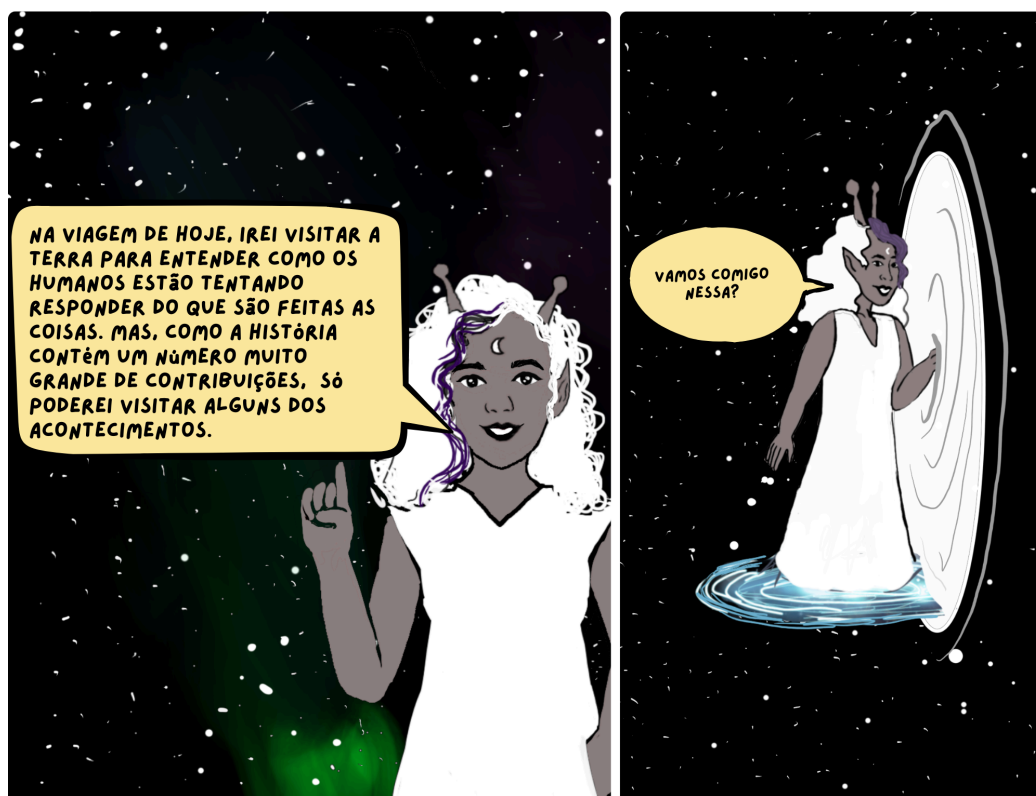


Figura 3: Personagem evidenciando a existências de mais contribuições científicas além das que serão citadas na história e convidando o leitor iniciar a viagem.

4.1 PROBLEMA 1: DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?

No quadrinho que é mostrado na figura 4, a HQ propriamente dita começa, com a personagem fazendo a primeira parada da viagem na Grécia antiga, onde de acordo com a literatura (CASTILHO, 2003) a palavra átomo surgiu. Esse quadrinho pode propiciar discussões a respeito das primeiras ideias sobre a composição das coisas, inclusive dando margem às concepções trazidas pelos estudantes.



Figura 4: Início da HQ propriamente dita, que já aponta para a primeira possível problematização.

Os seis quadrinhos seguintes trazem as demais possíveis problematizações decorrentes do problema 1, sendo estes a indivisibilidade atômica, a construção do método científico, o espaço vazio que constitui a maior parte do átomo. O quadrinho mostrado na figura 5, pode ser utilizado para estimular por meio do questionamento a abordagem a indivisibilidade atômica. Os quadrinhos subsequentes, mostrados nas figuras 6 e 7, vão ilustrar alguns acontecimentos que ao longo do tempo levaram a

compreensão de que o átomo não é maciço e esférico como se pensava. Por meio da mediação docente essas problematizações podem ser aprofundadas, perpassando os demais modelos atômicos existentes, assim como os motivos pelos quais os mesmos foram sendo substituídos por novos modelos no decorrer da história, até o modelo vigente. Cabe inclusive uma discussão sobre a construção do conhecimento científico, explicitando a observação a respeito da evolução do pensamento científico, partindo da ideia de que o átomo era tido como maciço e indivisível, até a constatação de que na verdade ele é composto por partes menores e muito espaço vazio.

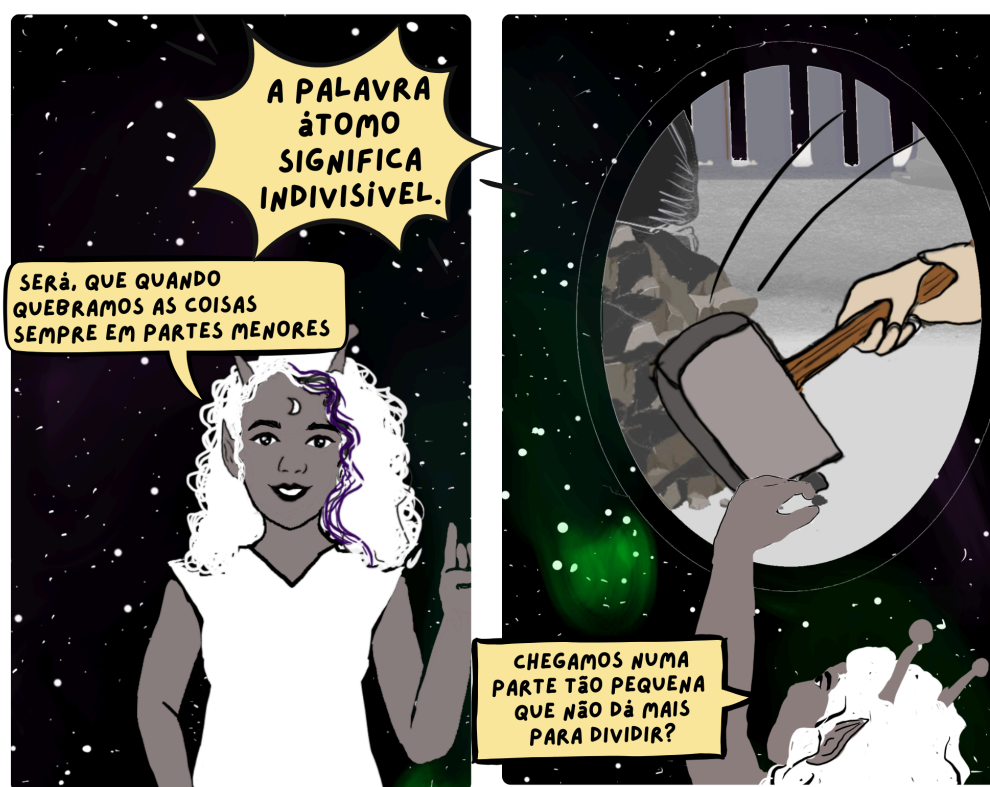


Figura 5: Quadrinho que ilustra um estímulo para a problematização posterior.

A abordagem a respeito dos experimentos que favoreceram a compreensão acerca da composição atômica, também pode levar a uma problematização interessante a respeito da relação entre método científico e empirismo. O quadrinho mostrado na figura 6 por exemplo, ilustra o experimento utilizando raios catódicos realizado por Thompson em 1897,

com o qual ele realizou a interpretação da presença de cargas positivas e negativas dentro do átomo.

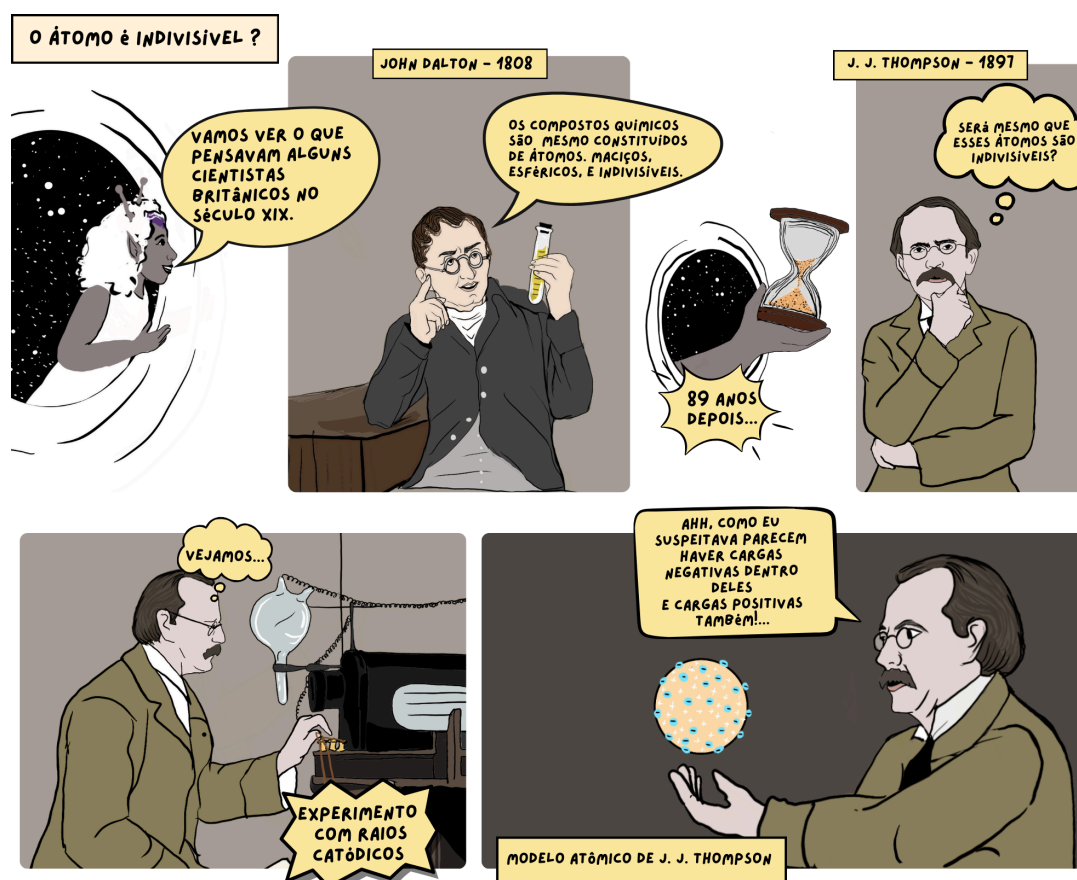


Figura 6: Quadrinho que aborda a indivisibilidade do átomo a partir do modelo atômico de Dalton e o de Thompson.

Já o quadrinho mostrado na figura 7, ilustra o experimento com partículas alfa lançadas em uma folha de ouro, que apesar de não ter sido realizado por Rutherford, mas por Hans Geiger (1882 – 1945), outro físico contratado por ele, devido a sua habilidade experimental (ALPHA..., c2011) o levou a propor que além de ser composto por cargas positivas e negativas, o átomo possuía em grande parte espaço vazio.

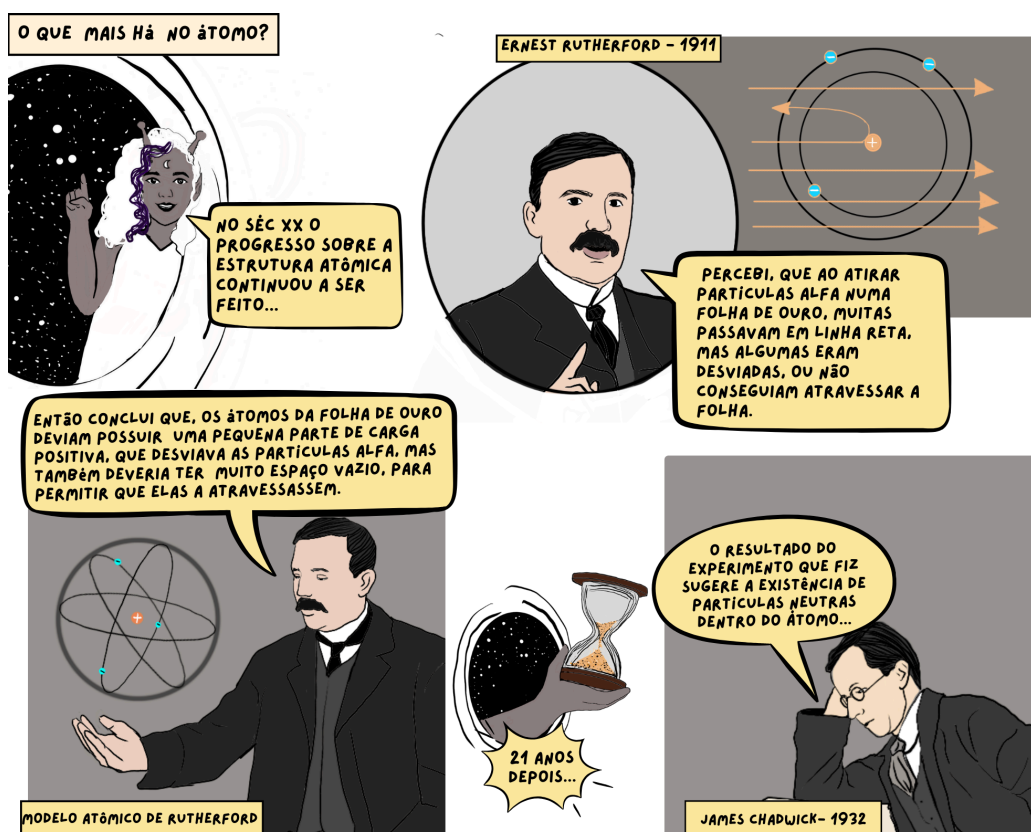


Figura 7 : Quadrinho que traz a representação do modelo atômico de Rutherford, seguido da detecção do nêutron por Chadwick.

Os quadrinhos que compõem as figuras 8, 9 e 10 foram construídos para proporcionar outros questionamentos possíveis, como a nomeação das partículas de acordo com suas cargas, e sobre o próprio conceito de carga, de maneira progressiva e complementar. A exemplo a figura 8 que possibilita discussão acerca do que é a carga, e o nome das partículas com cargas diferentes, questões estas que ao serem respondidas levarão a compreensão do que é trazido pelo próximo quadrinho, mostrado na figura 9, que já ilustra um átomo composto de elétrons, prótons e nêutrons, ao invés de se referir a cargas, negativas, positivas e neutras. O último quadrinho que comunga da abordagem direta sobre o problema 1, comum aos demais é o representado na figura 10, que retoma o modelo atômico de Rutherford, e viabiliza a discussão sobre o papel das forças que fornecem a sensação física de que as coisas são sólidas, quando na verdade são em sua maior parte constituídas de espaço vazio.

O quadrinho figura 11 é utilizado como representação para a continuidade da história e seguimento para a próxima etapa.



Figura 8 : Quadrinho que possibilita discussão sobre a carga e nome das partículas atômicas.

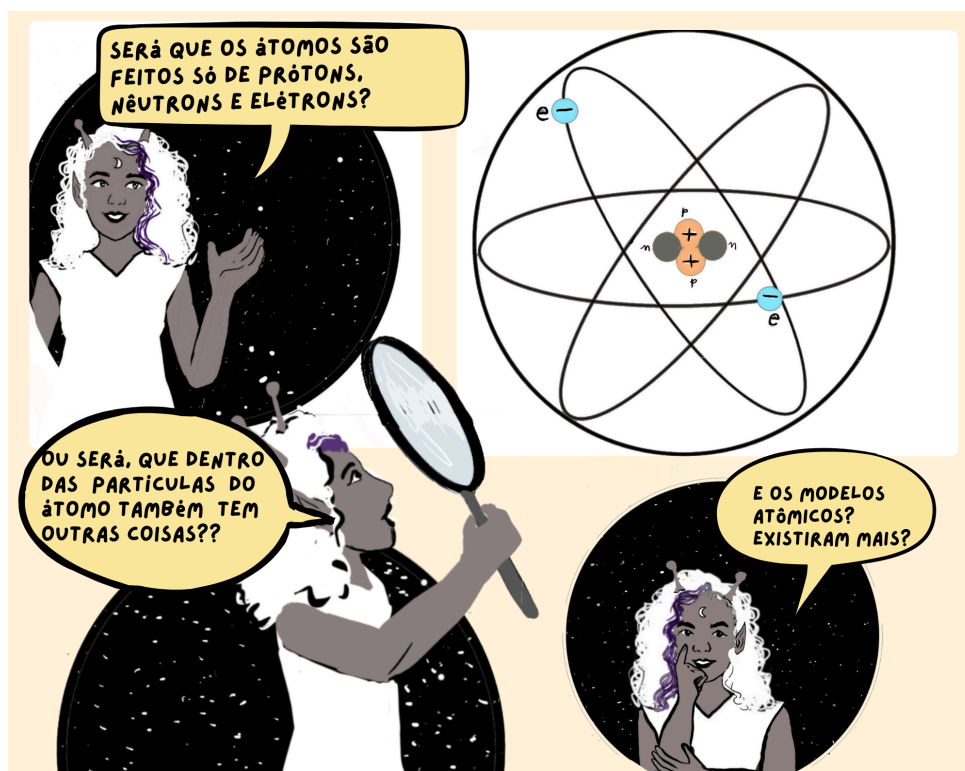


Figura 9 : Quadrinho que já utiliza os conceitos que devem ser obtidos a partir do quadrinho anterior.

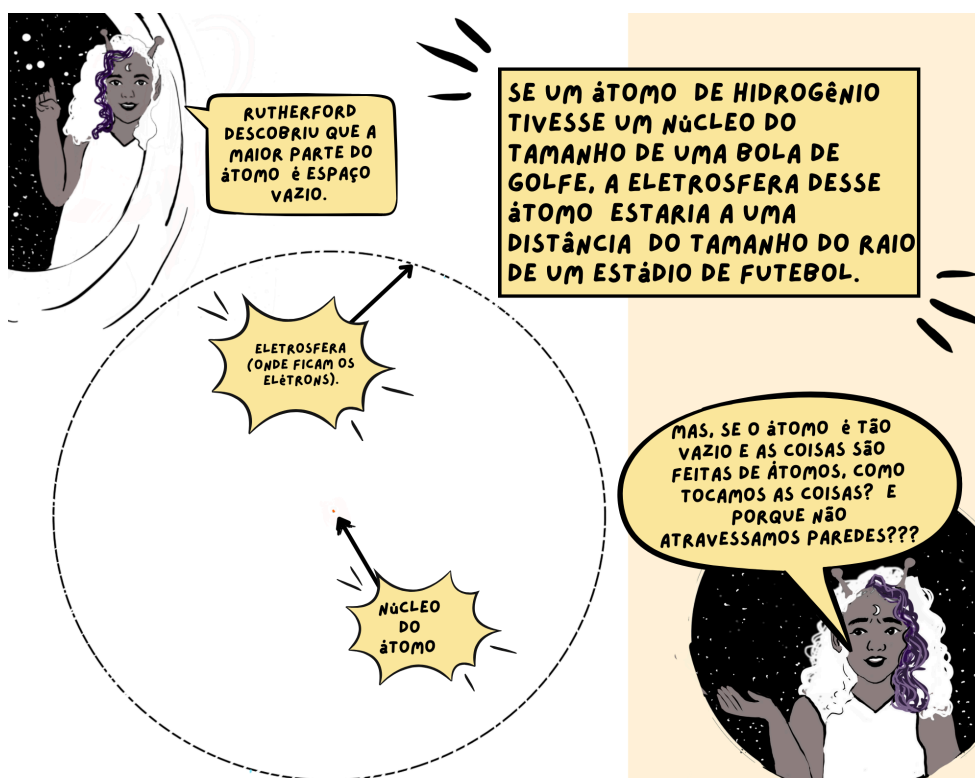


Figura 10 : Quadrinho que retoma o modelo atômico de Rutherford e traz elementos que podem possibilitar a discussão sobre o papel das forças presentes na interação entre os corpos constituídos de matéria.



Figura 11 : Ilustra o fechamento de uma etapa e a continuidade da história.

4.2 PROBLEMA 2: AS TEORIAS FÍSICAS PODEM PREVER MATEMATICAMENTE ENTES DESCONHECIDOS?

O problema 2 é evidenciado no quadrinho mostrado na figura 12, no qual é relatada a previsão teórica sobre a antimatéria feita por Paul Dirac em 1928. Esse problema pode propiciar a discussão acerca de como são construídas as teorias Físicas, e qual o papel da matemática na descrição delas. O quadrinho seguinte, mostrado na figura 13, dá continuidade à discussão acerca do problema 2, ilustrando a detecção da primeira antipartícula quatro anos após a sua previsão teórica. Além disso, também aponta a primeira possível problematização acerca do pósitron, quanto a ele ter sido detectado, apenas porque foi previsto, ou se independentemente dessa previsão, a sua detecção seria possível. Esta problematização, pode ser associada às vertentes epistemológicas realistas, ou instrumentalistas, as quais podem ser diferenciadas pelo professor, tendo seus prós e contras salientados.

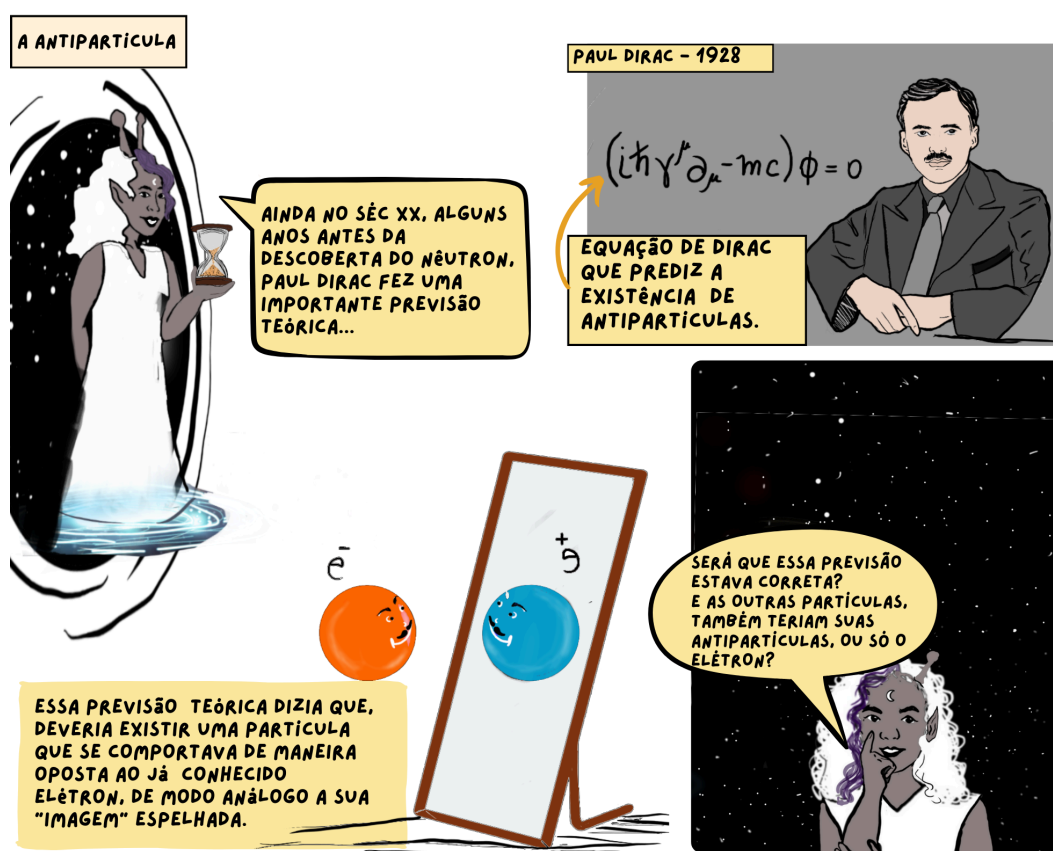


Figura 12 : Introduz o problema acerca da construção das teorias físicas.

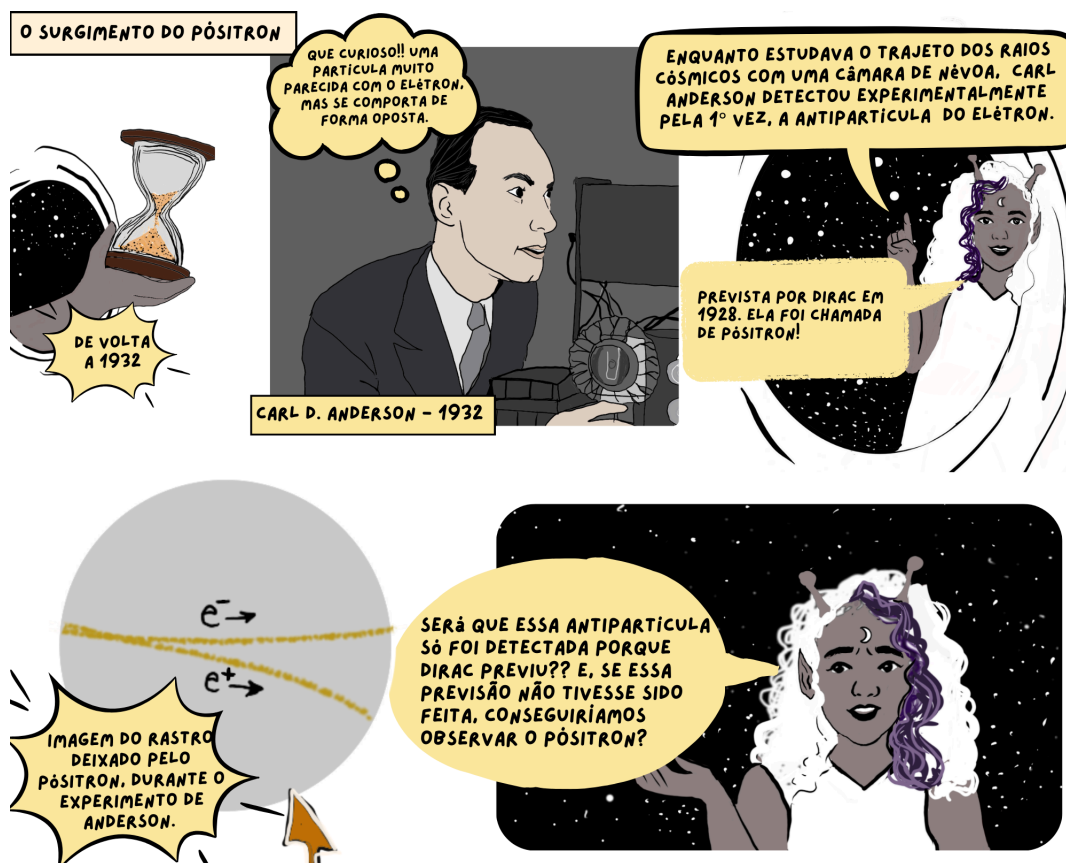


Figura 13 : Quadrinho que aborda a primeira possível problematização decorrente do problema 2.

O próximo quadrinho, mostrado na figura 14, segue no sentido de relatar a detecção de mais partículas como os quarks, que também foram previstas teoricamente antes de serem detectadas, novamente podendo recair na questão a respeito da construção das teorias físicas. Já o quadrinho seguinte, mostrado na figura 15, apresenta o modelo padrão das partículas elementares, possibilitando a discussão a respeito do que significa ser elementar de acordo com a Física, além de propiciar outra problematização, decorrente do fato de que, grande parte das partículas presentes no modelo padrão foram detectadas graças à interação matéria - antimatéria decorrente da previsão teórica de Paul Dirac. Aqui, cabe outra vez as questões epistemológicas, a respeito da detecção só ser possível se houver uma teoria que a antecede, ou se mesmo que não exista a teoria, ainda assim ocorria a detecção.

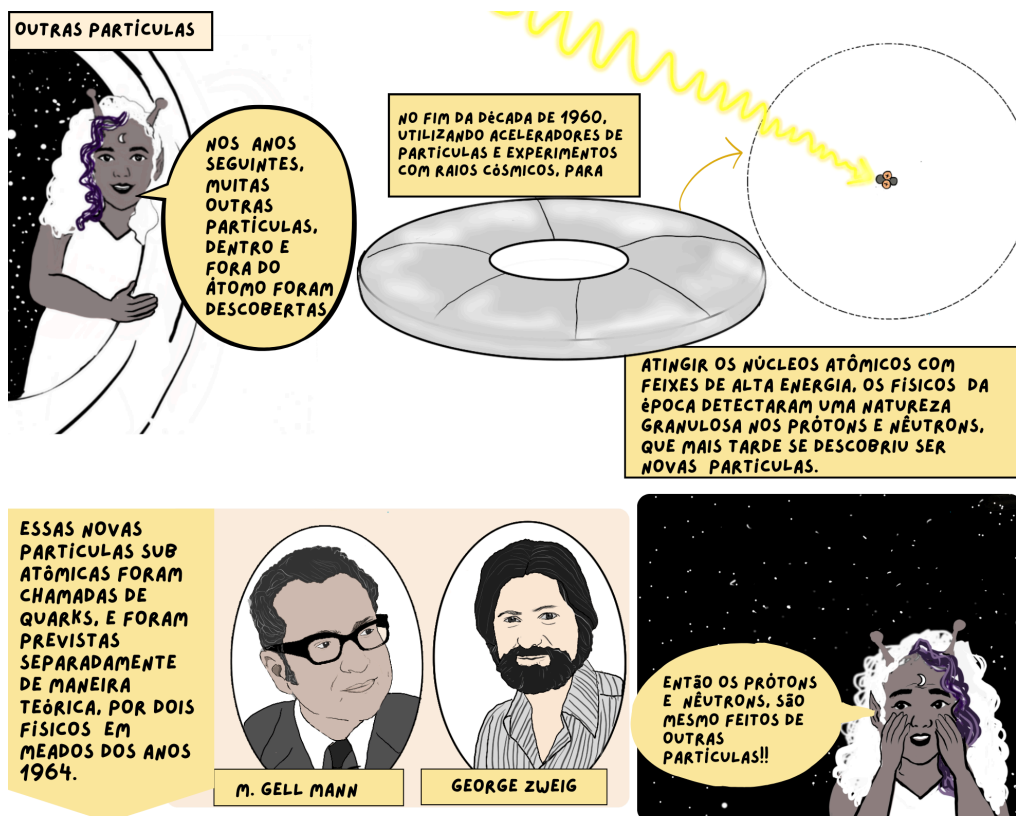


Figura 14 : Quadrinho que retoma a previsão teórica como antecedente à detecção.

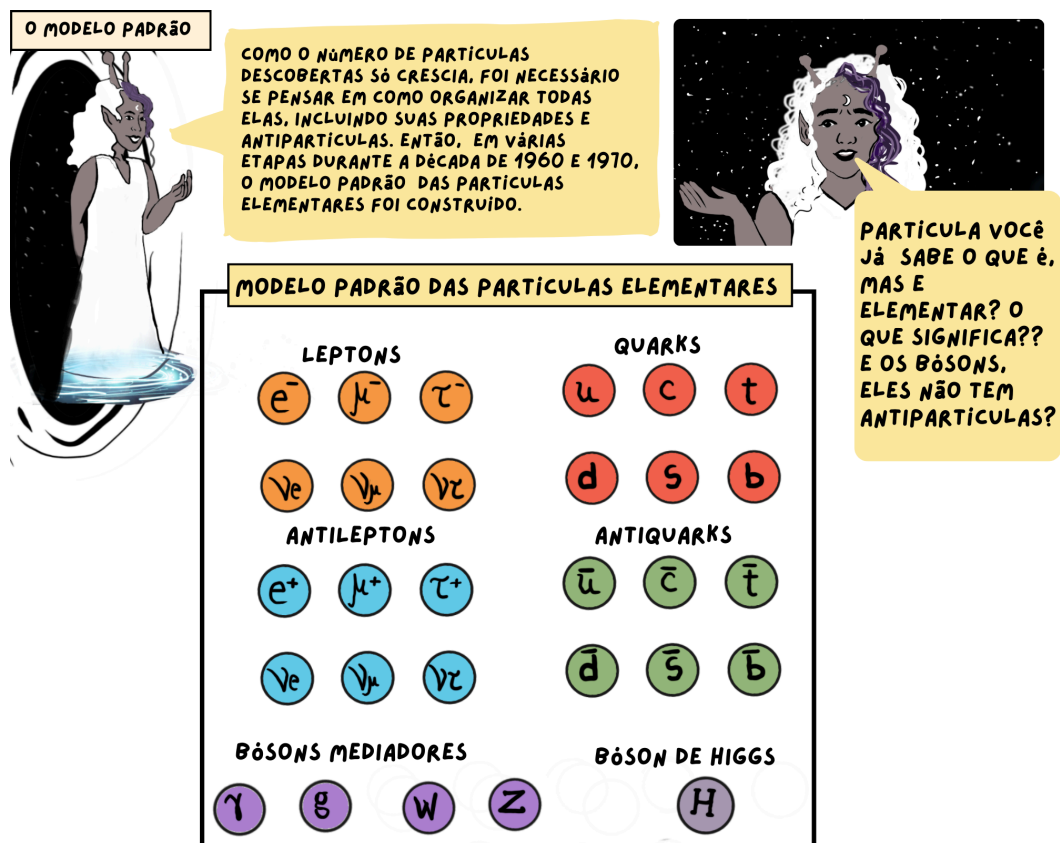


Figura 15 : Quadrinho que ilustra o modelo padrão das partículas elementares.

4.3 PROBLEMA 3 : ANTICOISAS EXISTEM?

O penúltimo problema é iniciado com o quadrinho mostrado na figura 16, que vai propiciar a discussão acerca da existência de antiátomos na natureza, sendo compostos de antipartículas, e o ingrediente principal para a constituição de anticoisas. A abordagem docente pode aprofundar o debate utilizando o quadrinho seguinte, mostrado na figura 17 para falar sobre o funcionamento dos aceleradores de partículas quanto ao seu papel na detecção de novas partículas, e contribui para explorar a problematização sobre a instabilidade dos antiátomos, favorecendo a discussão sobre aparelhos que podem contribuir na permanência de antiátomos por tempo suficiente para serem estudados, e em que isso ajuda a entender o comportamento da antimatéria.

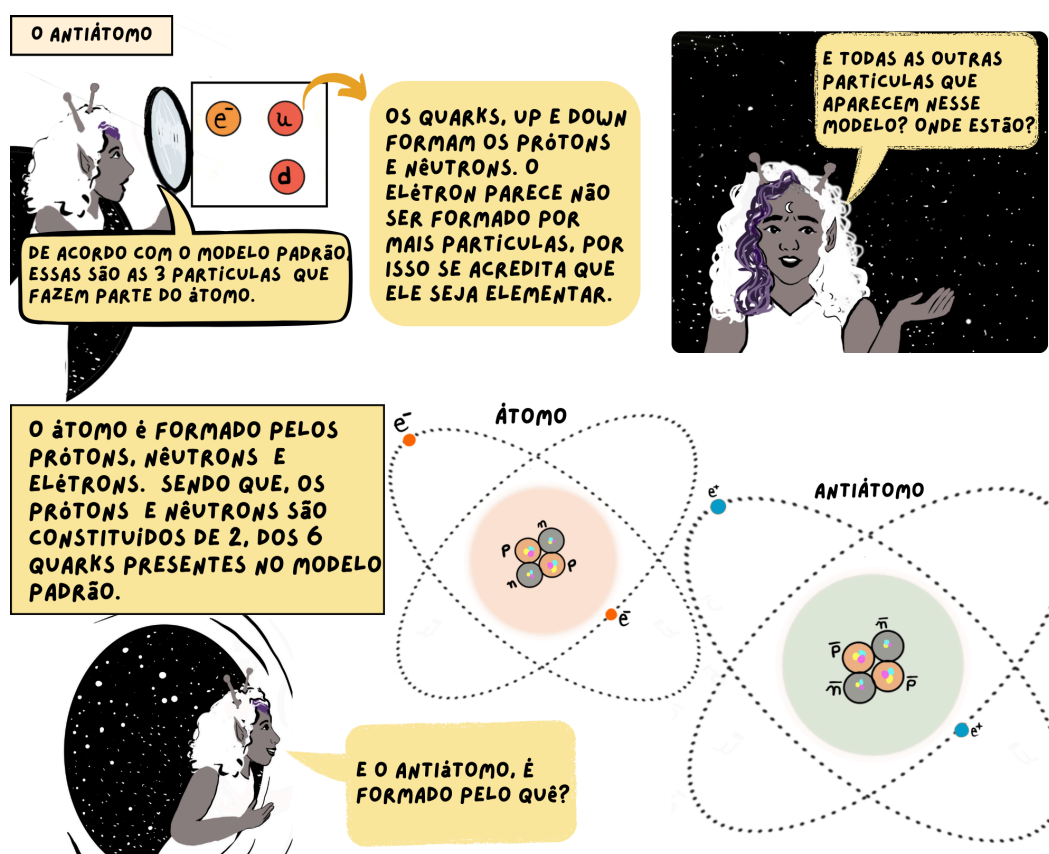


Figura 16 : Quadrinho que apresenta o antiátomo.



Figura 17 : Quadrinho que propicia a discussão sobre os aceleradores e a instabilidade dos antiátomos.

O último quadrinho que acrescenta alguma abordagem ao problema 3, é o da figura 18, que aborda uma problematização a respeito do que realmente seria entendido como antimatéria. Este quadrinho pode ser usado como uma forma de avaliar a compreensão, após as duas problematizações anteriores acerca da relação entre antipartículas e antimatéria, e aqui cabe também a argumentação de que assim como as antipartículas são entendidas como antimatéria, podendo constituir antiátomos ou não, as partículas que compõem o átomo, e as que foram detectadas fora dele, exceto os bósons (que são as partículas mediadoras das quatro forças fundamentais), são entendidas como matéria. Auxiliando no rompimento da concepção equivocada e comum, de que a matéria é apenas as coisas constituídas de átomos, concepção esta que pode ser reproduzida quanto ao entendimento da antimatéria.



Figura 18 : Quadrinho que apresenta o último questionamento sobre o problema 3.

4.4 PROBLEMA 4 : O QUE ACONTECE QUANDO UMA COISA ENCONTRA SUA ANTICOISA?

No último problema propiciado pela HQ, a abordagem gira em torno do fenômeno de aniquilação entre matéria e antimatéria, conforme mostra a figura 19, ela ilustra a aniquilação entre elétron e pósitron, e pode ser utilizada para problematizar a relação existente entre massa e energia apresentada na teoria da relatividade de Einstein. Além disso, pode servir de base para aprofundar a discussão a respeito da formação de outras partículas devido a interação entre matéria e antimatéria. Os demais quadrinhos, decorrem desse principal problema, a figura 20 por exemplo, além de apresentar alguns dos lugares onde a antimatéria está presente no cotidiano aponta a existência de antimatéria nas bananas por exemplo. Esse quadrinho pode possibilitar uma problematização crucial, a respeito do aparente desaparecimento total da antimatéria primordial, a qual acredita-se que tenha tido origem, assim como a matéria, segundos após a criação do universo.

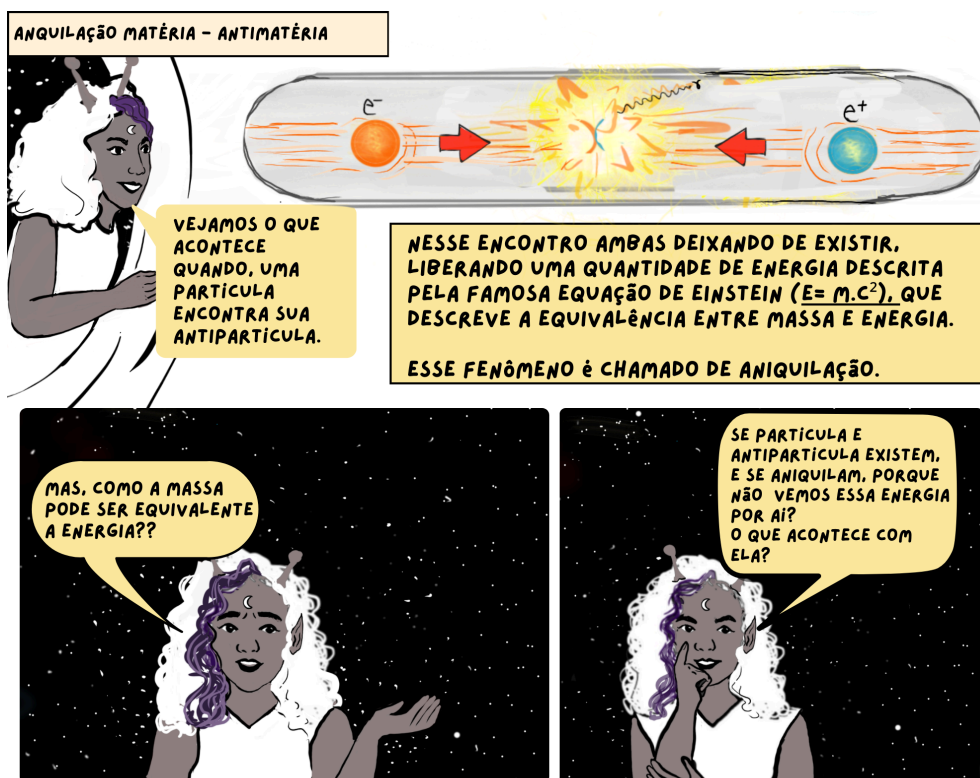


Figura 19: Quadrinho que ilustra o fenômeno da aniquilação entre pósitron e elétron.



Figura 20 : Quadrinho que possibilita a discussão a respeito da antimatéria estar presente ao nosso redor, inclusive nas bananas.

O quadrinho seguinte, mostrado na figura 21, além de apresentar as aplicações da antimatéria, propicia uma discussão a respeito da energia liberada durante a interação matéria - antimatéria, bem como a dificuldade acerca de sua produção em larga escala, podendo frisar os benefícios caso fosse um feito simples de se realizar com a tecnologia existente.



Figura 21 : Quadrinho que ilustra as aplicações da antimatéria.

O quadrinho mostrado na figura 22 retoma a discussão a respeito do desequilíbrio que existe com relação a matéria e antimatéria, evidenciando o fato de que, o fenômeno da aniquilação deveria ter extinguido totalmente tanto antimatéria, quanto matéria, mas a última prevaleceu. A problematização aqui pode ser para o fato de a ciência ainda não ter uma explicação concreta para essa assimetria, e que desvendar esse mistério pode contribuir para o entendimento sobre a criação do universo. O penúltimo quadrinho mostrado na figura 23, propõe a incompletude de algumas teorias científicas, o que favorece a concepção de que a Física não está determinada, e que permite a contribuição de diversos indivíduos, incluindo o leitor.

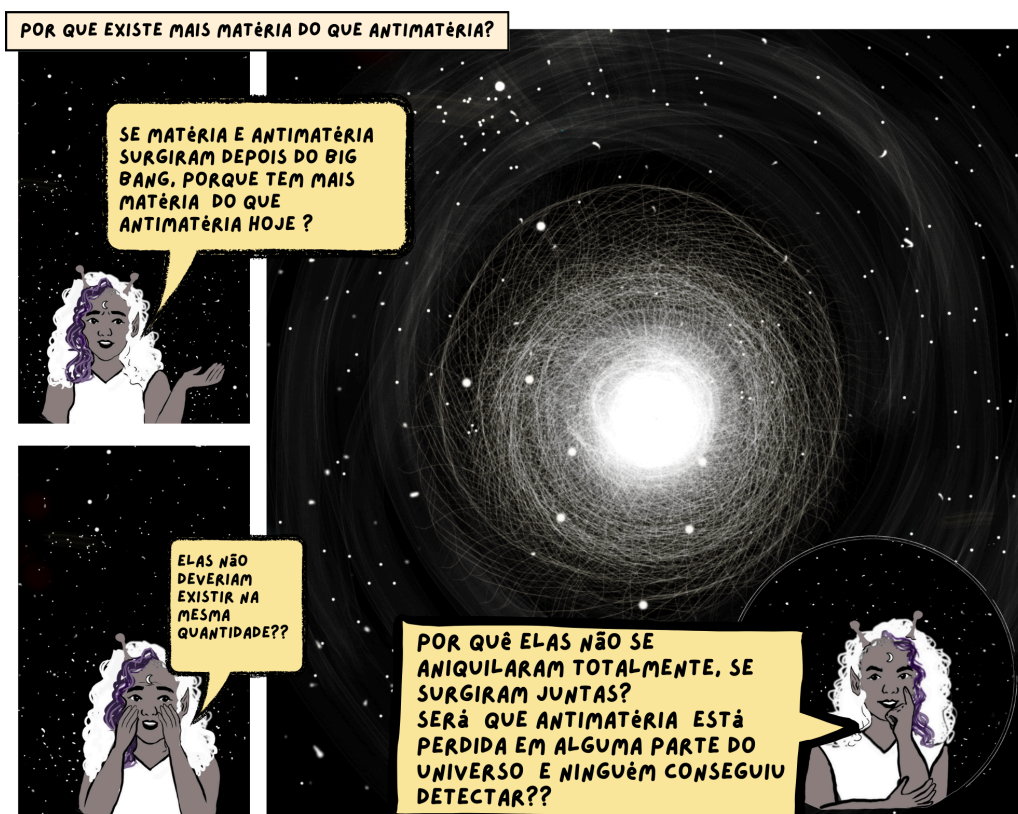


Figura 22 : Quadrinho que possibilita a discussão a respeito da assimetria matéria .



Figura 23 : Penúltimo quadrinho que ilustra o fato de existirem perguntas para as quais a ciência ainda não tem respostas.

Por fim, o último quadrinho é apenas ilustrativo para o fechamento da história.



Figura 24 : Quadrinho de fechamento da história.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a elaboração de um recurso didático com potencialidade para auxiliar na inserção da Física Moderna e Contemporânea atrelado ao uso da linguagem dos quadrinhos, favorece em especial o tema da antimatéria. Este tema, enquanto um tópico importante para ajudar na compreensão a respeito da formação e detecção de novas partículas, e do próprio modelo padrão das partículas elementares. A proposta aqui apresentada pode ser utilizada para propiciar discussões sobre o desenvolvimento do conhecimento científico, comportando abordagens de concepções pedagógicas gerais (Macêdo, 2015), como aspectos da teoria crítica da natureza da ciência (NdC), e a

teoria de ensino emancipadora de Freire. Estas teorias são favoráveis ao desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes, sendo propiciadas por meio das problematizações apresentadas nos quadrinhos, que devem ser dialogadas e mediadas pelo professor. Ressalta - se a potencialidade da linguagem dos quadrinhos, que apesar de poderem ser entendidos como recurso lúdico, podem ser elaborados a fim de preservar o a coerência e o formalismo acerca das teorias físicas.

Sendo este, um trabalho que envolve tanto a área do ensino de Física quando a área da Física, pode inclusive, possibilitar a sua utilização para além do ensino médio. O seu desenvolvimento, evidencia o surgimento de novas propostas metodológicas para o ensino de Física, que não utilizam obrigatoriamente uma linguagem inacessível e rebuscada, e que se encontram disponíveis para auxiliar educadores na abordagem da Física Moderna e Contemporânea.

Contudo, ressalto o anseio pela continuação do trabalho em pesquisas futuras, incluindo a possível aplicação dessa proposta, e quem sabe o desenvolvimento de um material próprio para instruir professores que desejem utilizar este recurso didático em suas aulas, no qual conste as respostas e aprofundamentos das questões aqui levantadas.

REFERÊNCIAS

Alpha Particles and the Atom. **Rutherford Nuclear World**. c 2011.

Disponível em:

<<https://history.aip.org/exhibits/rutherford/sections/alpha-particles-atom.html>>

acesso em: 08 de set. 2023

AQUINO, Flávio F; FIORUCCI, Antônio R.; FILHO, Edmar Benedetti-;; BENEDETTI, Luzia P. S. **Elaboração, Aplicação e Avaliação de uma HQ Sobre Conteúdo de História dos Modelos Atômicos para o Ensino de Química**.Orbital: The Electronic Journal of Chemistry. Vol 7. No. 1, 2015.

BARROS, Gustavo Ferraz de. **Ensino de Física em quadrinhos: O astronauta em Magnetar**. São Paulo, 2015.

BASSALO, José Maria Filardo; CARUSO, Francisco. **Dirac**. São Paulo. Editora livraria da Física, 2013.

BATISTA, C.A.dos Santos; SIQUEIRA, Maxwell. **A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade.** Ilhéus- BA; Florianópolis - SC. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 3, p. 880-902, dez. 2017.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. **Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física moderna?** Investigações em Ensino de Ciências – V10(3), pp. 387-404, 2005

BUSATTO, Cassiano Zolet; SILVA, Júpiter C. da Roza, JUNIOR, Necleto Pansera; PEREZ, Carlos Ariel Samudio. **O ensino de Física Moderna e contemporânea na educação básica: Conteúdos trabalhados pelos docentes.** Revista CIATEC – UPF, vol.10 (1), p.p.104-115, 2018.

CARITÁ, Gabriel A; SILVA, Matheus N. S. ; NETO, João T. Carvalho. **Uma proposta de baixo custo de interferômetro de Michelson no ensino de Física moderna.** In: XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. 2020.

CASTILHO, Caio Mário Castro de. **Quando e como o homem começou a “ver” os Átomos!** Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 25, no. 4, dezembro, 2003.

CHESTER, Michael. **Partículas.** Editora Artenova S.A, 1979.

CHEVALLARD Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado.** La Pensée Sauvage, Argentina. 1991.

COELHO, Geide Rosa; JÚNIOR, João Mauro da Silva. **O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.** Vitória - ES; Colatina - ES. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 37, n. 1, p. 51-78, abr. 2020.

CORRÊA, A.R, ARTHURY, L.H.M. **Afinal o que é Física quântica? Uma história em quadrinhos para uso no ensino médio.** Revista do Professor de Física, v. 5, n. 1, p. 70-96, Brasília, 2021.

CORRÊA, Savio Figueira; MALAQUIAS, Isabel. **História da ciência e ensino de Física através de uma oficina de história em quadrinhos.** Research, Society and Development, v. 11, n. 13, e182111335230, 2022.

DELIZOICOV, Demétrio. Problemas e problematizações.

DELIZOICOV, Demétrio; GEHLEN, Simoni Tormohlen. **A função do problema: Aproximações entre Vygotsky e Freire para a educação em ciências.** Investigações em Ensino de Ciências - V 25(2), pp. 347 - 368, 2020.

FEITOSA, Samuel dos Santos; NOBRE, Francisco A. Silva. **Tópicos de Física Quântica em versos de cordel e a arte dos quadrinhos, ensinados à luz de uma unidade de ensino potencialmente significativa.** Juazeiro do Norte - CE, 2019.

FERREIRA, Danilo Cardoso; FILHO, Moacir P. de Souza. **O Experimento virtual da dupla fenda ao nível médio. (Parte II): Uma análise quântica do comportamento corpuscular ondulatório da luz.** Jacarezinho - PR; Presidente Prudente - SP. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 36, n. 1, p. 302-329, abr.2019.

FERREIRA, Osvaldo Neto. **Explorando a equação de Dirac: Um passeio por Isolantes Topológicos e Férmions de Majorana.** Uberlândia - MG, 2019.

FERREIRA, Rodrigo Medeiros. **Física Moderna: Divulgação e acessibilidade no ensino médio através das histórias em quadrinhos.** Macéio - AL, 2013.

GATO, Beatriz Rivera. **Antimateria.** CSIC, Los libros de la Catarata. Madrid. -2018.

GATO, Beatriz Rivera. **La Antiamateria.** Revista Española de Física. Setembro, 2020.

GOULART, Salgueiro Guilherme; LEONEL, André Ariel. **Revisão de Literatura sobre o ensino de Física moderna e contemporânea no ensino médio sobre a ótica da TAS: Problemas emergentes a partir de eventos brasileiros de ensino de Física.** Revista Dynamis. FURB, Blumenau, v.28, N.1, p. 231 - 251, 2022.

GRANJA, Aline Aparecida da Costa. **Antipartículas no ensino médio: Análise dos livros didáticos e proposta de abordagem.** Santo Antônio de Pádua - RJ, 2021.

GUIMARÃES, Jonas P. Neto; SIQUEIRA, Marcos C. Aguiar; OLIVEIRA, Antônio Nunes. **Ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos?** Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v.6, n.1, p: 65-89, Janeiro/Junho 2019.

HELAYEL, José Abdalla Neto. OSPEDAL, L.P.R. **Paul Dirac: emancipador, transgressor e libertador.** Revista Cosmos e Contexto, Abril 2019.

MACÊDO, Ricardo Silva de. **O ensino de ciências por investigação e a prática pedagógica de professores licenciados IF - UFBA.** Salvador, 2015.

NARDI, Roberto et al. **Dificuldades dos professores em introduzir a Física moderna no ensino médio.** São Paulo, 2009.

NASCIMENTO, Jociene O. Vitória. **Proposta de material paradidático sobre as origens do universo e da vida.** Feira de Santana- BA, 2015.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Antonio. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no Ensino médio”, Investigações em ensino de ciências** – Porto Alegre, V5 (1), pp. 23-48, 2000.

OLIVEIRA, Adhimar Flávio; PINA, Agenor da Silva; JESUS, Jaykel Joana. **Espectrômetro digital. Uma proposta de construção de um experimento de Física Moderna para o ensino remoto. Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e51410817786, 2021.

PAIVA, Rendisley Aristóteles dos Santos. **A importância do uso de cartuns como ferramentas auxiliares no ensino dos conceitos de mecânica quântica no ensino médio**. Brasília - DF, 2015.

PEREIRA, Cristiano da Silva. **Física de partículas para o ensino médio em quadrinhos**. Caruaru - PE, 2019.

PIETROCOLA, Maurício. **A atualização dos currículos de física da escola média: Um estudo em condições reais de sala de aula analisado a partir da teoria da transposição didática**. São Paulo, 2006.

RODRIGUES, Raquel Luiza. **Pedro e Camila em: Ondas Eletromagnéticas Um estudo sobre o ensino de ondas eletromagnéticas através de história em quadrinhos**. Distrito Federal, 2013.

SANTOS, Israel Müller dos. **Física nuclear e de partículas e o filme homem de ferro 2: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa**. Araranguá - SC, 2019.

SILVA, Cristiano Pereira da. **Física de partículas para o ensino médio em quadrinhos**. Caruaru – PE, 2019.

SILVA, João; COELHO, Rosa. **O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia**. Vitória - ES *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37 n.1, p.51-78, abr.2020.

SILVA, Josineide Alves da. **A evolução dos modelos atômicos: Um guia pedagógico**. Rio de Janeiro, 2020.

SIQUEIRA, Kleber Saldanha de. **Física dos materiais semicondutores no ensino médio: possibilidades e desafios**. *DIVERSITAS JOURNAL*. Santana do Ipanema/AL, 8(2), 2023.

TERRAZZAN, Adolfo. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2o grau**. *Cad.Cat.Ens.Fís*, Florianópolis, v.9, n.3:p.209-214, dez. 1992.

XIMENES, Samuel J. Carvalho; AGUIAR, Carlos Eduardo. **Matéria Escura no Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 45, e20220334, 2023.

ZANETIC, João; PINTO, A.c. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Cad. Cat. Ens. Fís, São Paulo, v.16, n.1:p.7-34, abr.1999.

7.0 APÊNDICE

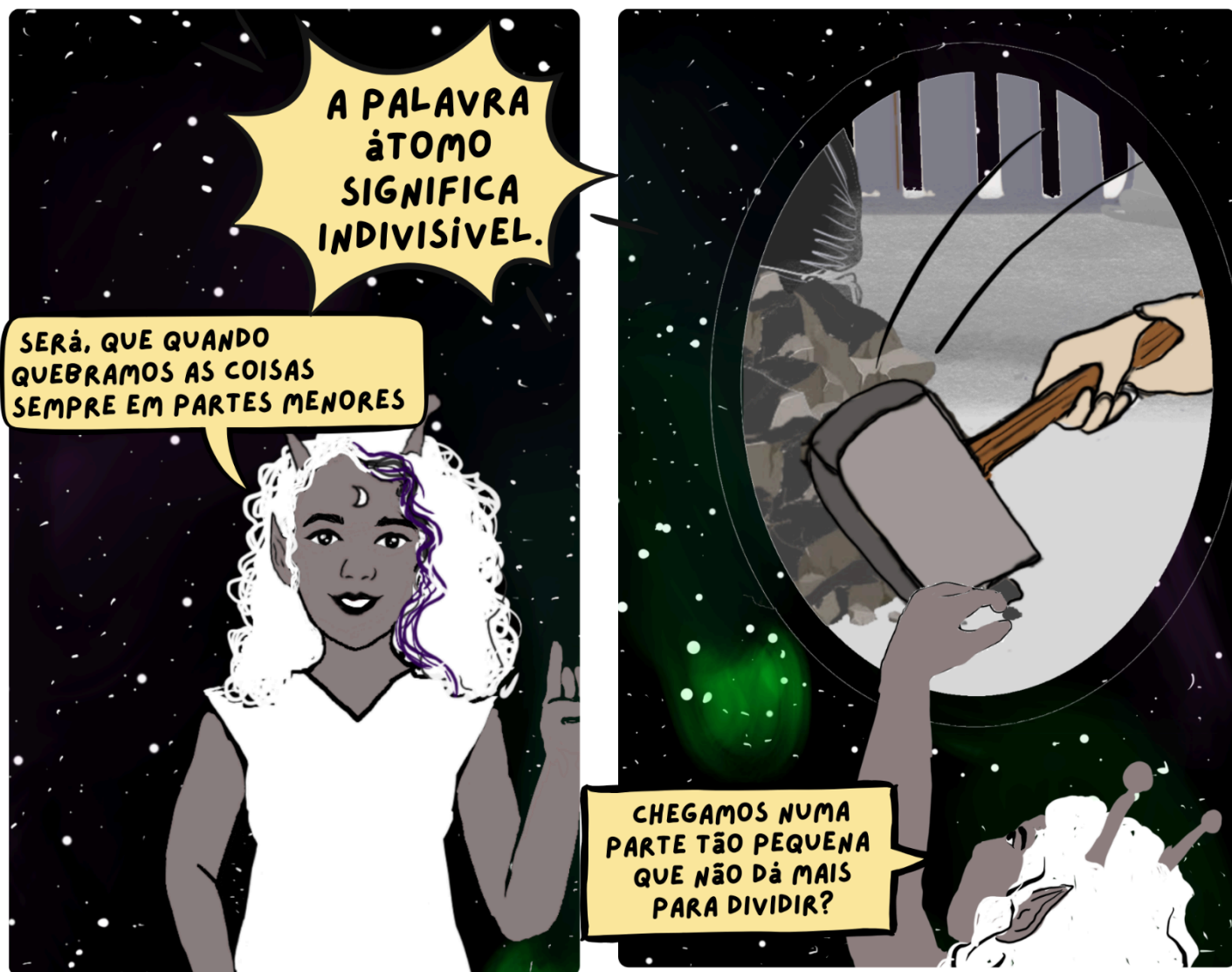


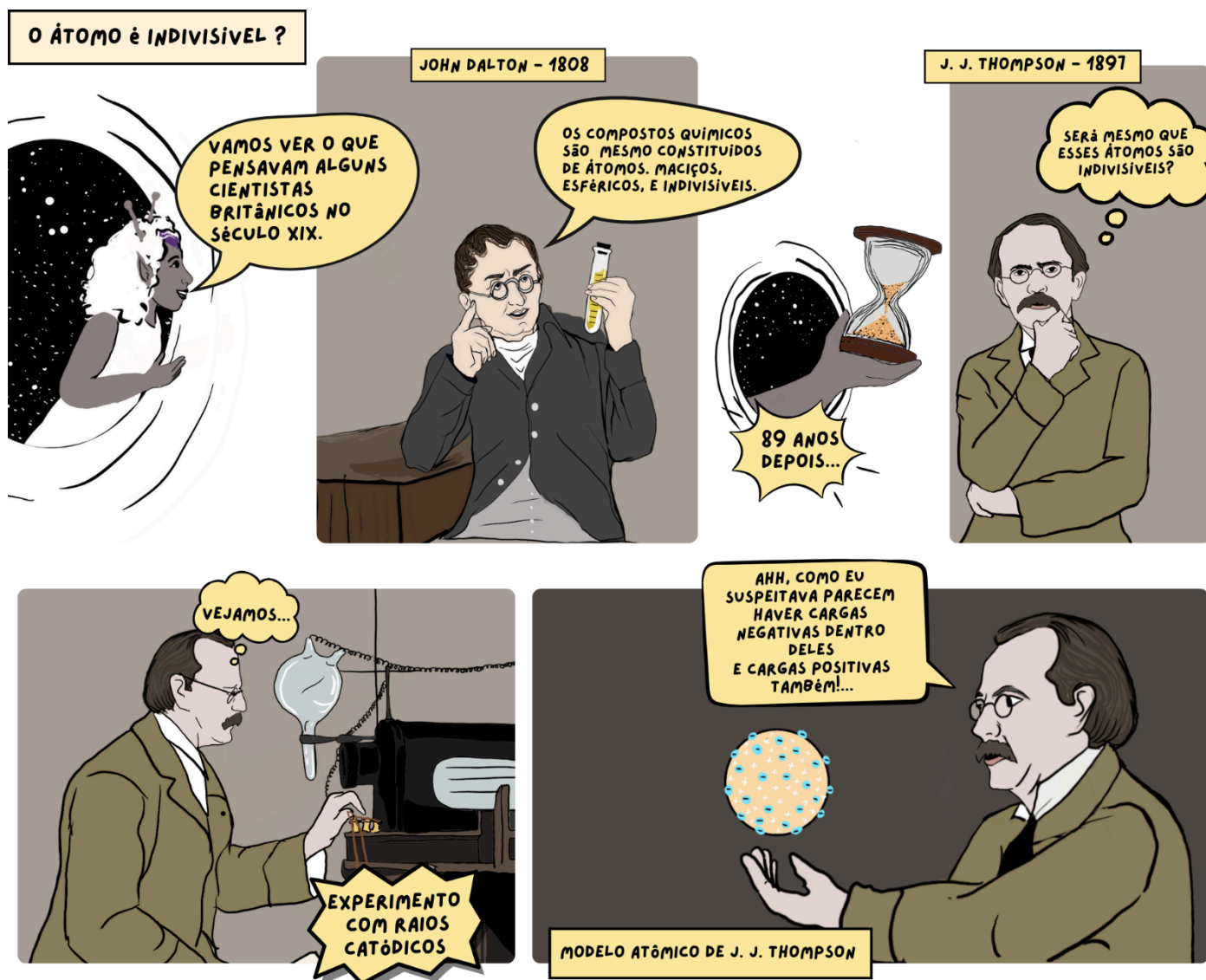




DO QUE SÃO FEITAS AS COISAS?





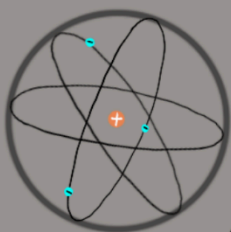


O QUE MAIS HÁ NO ÁTOMO?



NO SÉC XX O
PROGRESSO SOBRE A
ESTRUTURA ATÔMICA
CONTINUOU A SER
FEITO...

ENTÃO CONCLUI QUE, OS ÁTOMOS DA FOLHA DE OURO
DEVIAM POSSUIR UMA PEQUENA PARTE DE CARGA
POSITIVA, QUE DESVIAVA AS PARTÍCULAS ALFA, MAS
TAMBÉM DEVERIA TER MUITO ESPAÇO VAZIO, PARA
PERMITIR QUE ELAS A ATRAVESSASSEM.

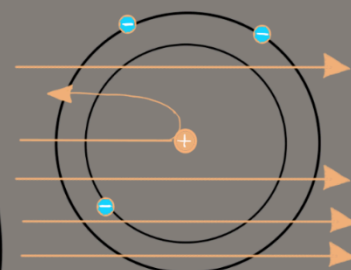


MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

ERNEST RUTHERFORD - 1911



PERCEBI, QUE AO ATIRAR
PARTÍCULAS ALFA NUMA
FOLHA DE OURO, MUITAS
PASSAVAM EM LINHA RETA,
MAS ALGUMAS ERAM
DESVIADAS, OU NÃO
CONSEGUIAM ATRAVESSAR A
FOLHA.



21 ANOS
DEPOIS...

O RESULTADO DO
EXPERIMENTO QUE FIZ
SUGERE A EXISTÊNCIA DE
PARTÍCULAS NEUTRAS
DENTRO DO ÁTOMO...

JAMES CHADWICK - 1932



PAUSA PARA PENSAR

**PARTÍCULA é O
NOME DADO A UMA
PARTE MUITO
PEQUENA.**

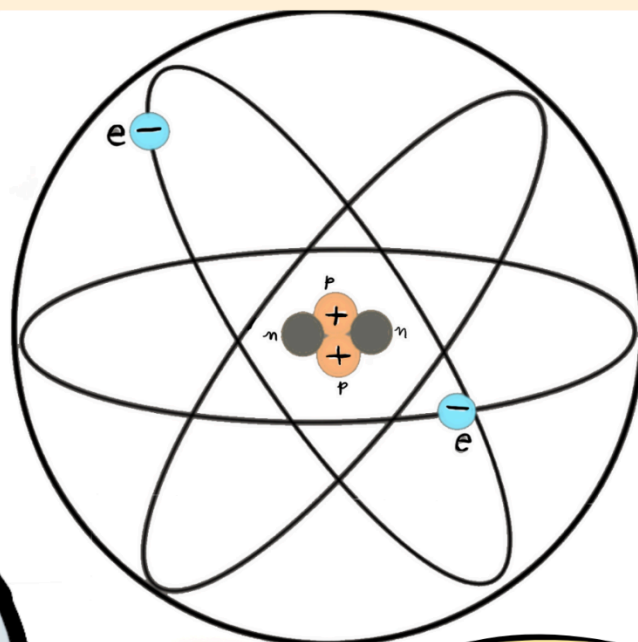
**VOCÊ CONHECE OS NOMES
DAS PARTÍCULAS QUE TEM
CARGAS NEGATIVAS,
POSITIVAS E NEUTRAS??**

**E A CARGA?
O QUE é
MESMO??**

**VAMOS PENSAR,
ANTES DE SEGUIR
VIAGEM!!**



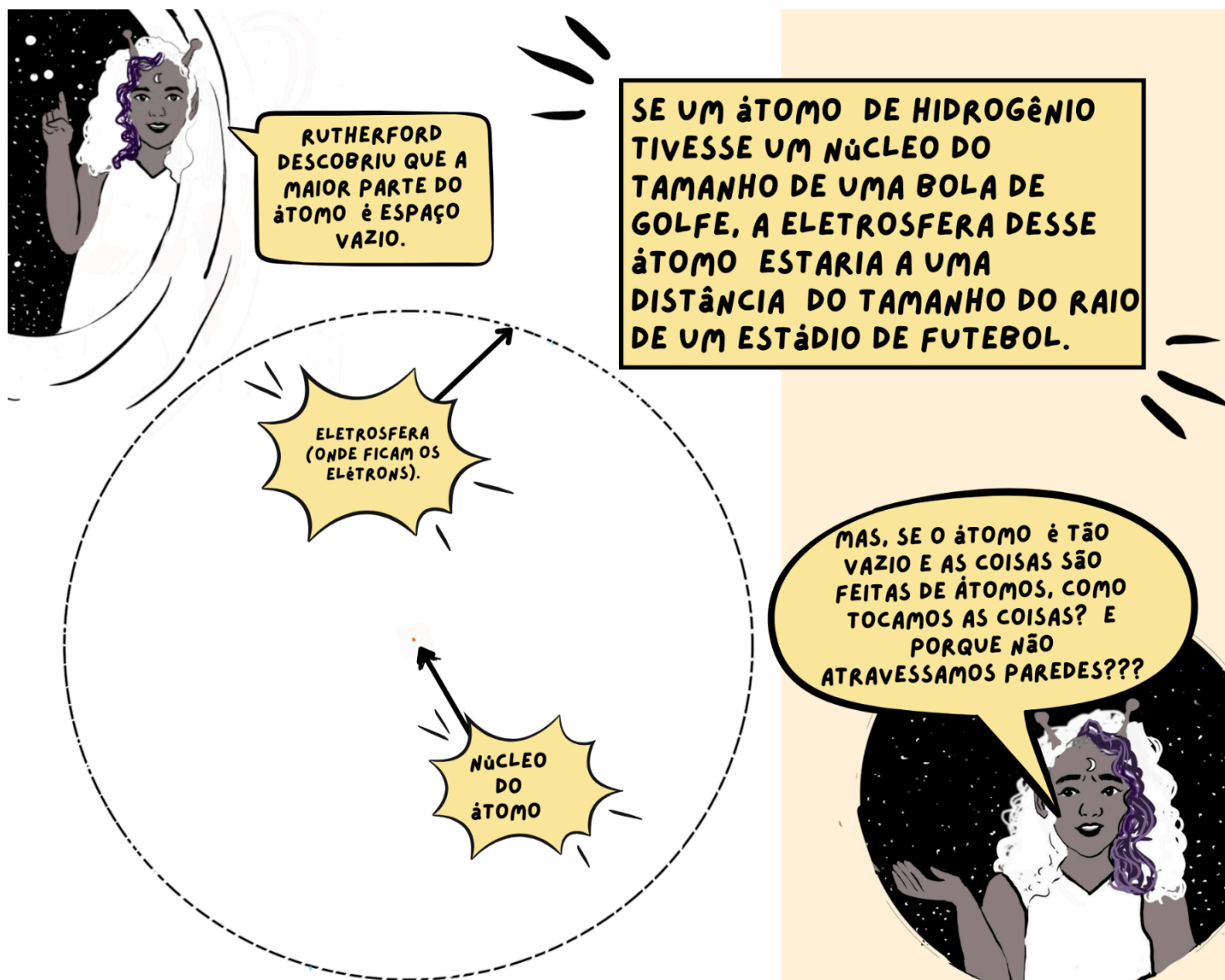
SERÁ QUE OS ÁTOMOS SÃO
FEITOS SÓ DE PRÓTONS,
NÊUTRONS E ELÊTRONS?

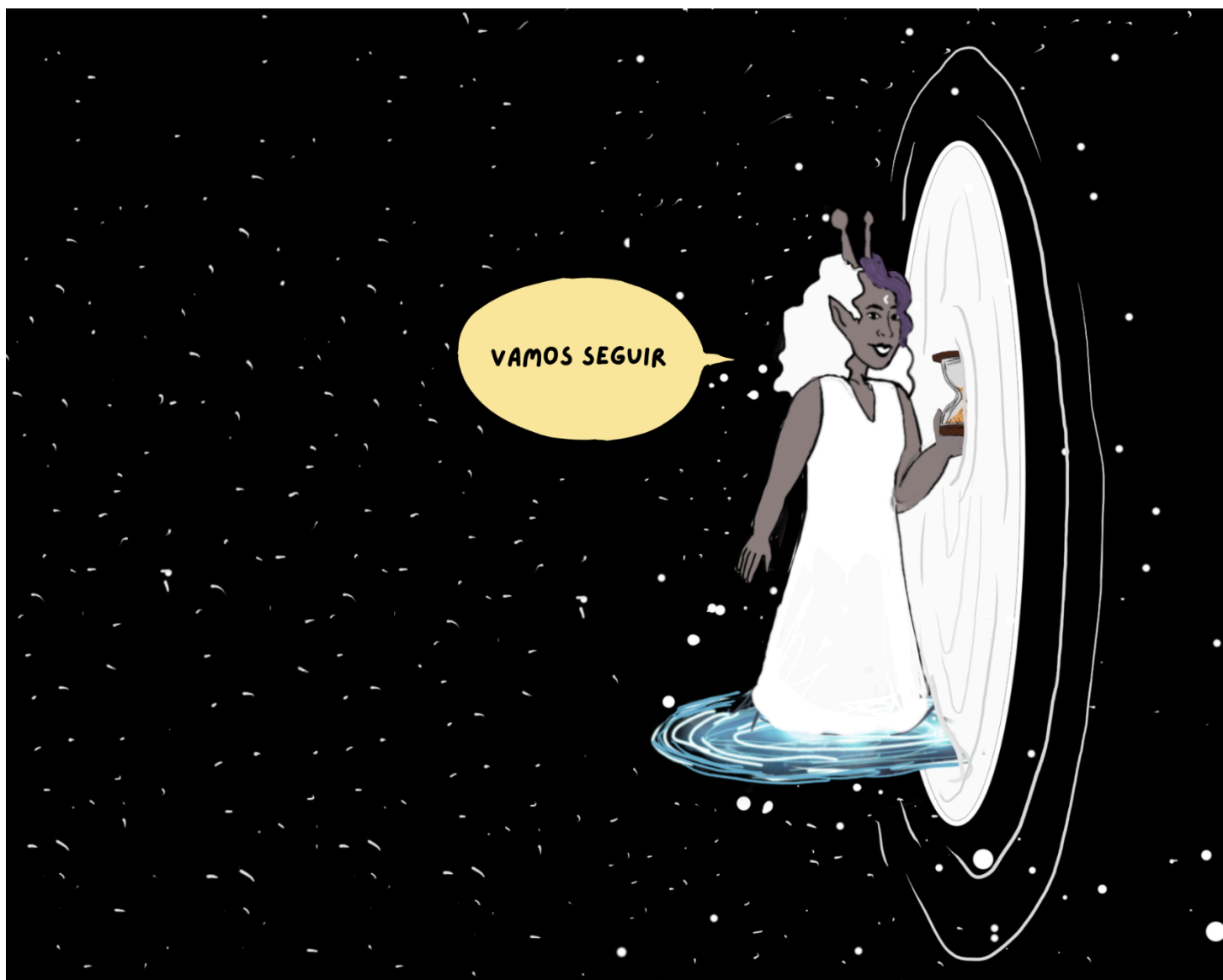


OU SERÁ, QUE DENTRO
DAS PARTICULAS DO
ÁTOMO TAMBÉM TEM
OUTRAS COISAS??

E OS MODELOS
ATÔMICOS?
EXISTIRAM MAIS?







A ANTIPARTÍCULA



AINDA NO SÉC XX, ALGUNS ANOS ANTES DA DESCOBERTA DO NÊUTRON, PAUL DIRAC FEZ UMA IMPORTANTE PREVISÃO TEÓRICA...

PAUL DIRAC - 1928

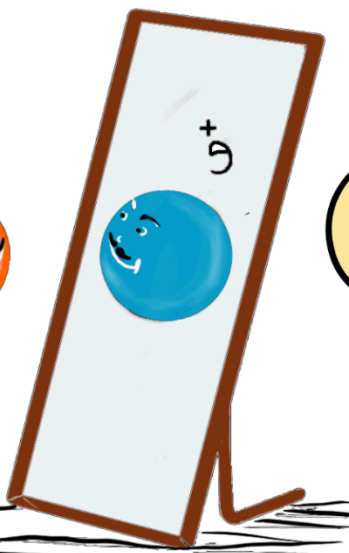
$$(i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu - mc)\phi = 0$$

EQUAÇÃO DE DIRAC QUE PREDIZ A EXISTÊNCIA DE ANTIPARTÍCULAS.

 e^- e^+

SERÁ QUE ESSA PREVISÃO ESTAVA CORRETA? E AS OUTRAS PARTÍCULAS, TAMBÉM TERIAM SUAS ANTIPARTÍCULAS, OU SÓ O ELÉTRON?

ESSA PREVISÃO TEÓRICA DIZIA QUE, DEVERIA EXISTIR UMA PARTÍCULA QUE SE COMPORTAVA DE MANEIRA OPOSTA AO JÁ CONHECIDO ELÉTRON, DE MODO ANÁLOGO A SUA "IMAGEM" ESPELHADA.



O SURGIMENTO DO PÓSITRON



QUE CURIOSO!! UMA PARTÍCULA MUITO PARECIDA COM O ELÊTRON, MAS SE COMPORTA DE FORMA OPOSTA.

CARL D. ANDERSON - 1932

ENQUANTO ESTUDAVA O TRAJETO DOS RAIOS CÔSMICOS COM UMA CÂMARA DE NÉVOA, CARL ANDERSON DETECTOU EXPERIMENTALMENTE PELA 1ª VEZ, A ANTIPARTÍCULA DO ELÊTRON.

PREVISTA POR DIRAC EM 1928. ELA FOI CHAMADA DE PÓSITRON!

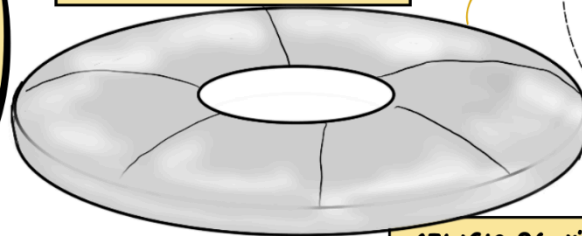


SERÁ QUE ESSA ANTIPARTÍCULA SÓ FOI DETECTADA PORQUE DIRAC PREVIO?? E, SE ESSA PREVISÃO NÃO TIVESSE SIDO FEITA, CONSEGUIRÍAMOS OBSERVAR O PÓSITRON?

OUTRAS PARTÍCULAS

NOS ANOS SEGUINTE, MUITAS OUTRAS PARTÍCULAS, DENTRO E FORA DO ÁTOMO FORAM DETECTADAS.

NO FIM DA DÉCADA DE 1960, UTILIZANDO ACELERADORES DE PARTÍCULAS E EXPERIMENTOS COM RAIOS CÔSMICOS PARA



ATINGIR OS NÚCLEOS ATÔMICOS COM FEIXES DE ALTA ENERGIA, OS FÍSICOS DA ÉPOCA DETECTARAM UMA NATUREZA GRANULOSA NOS PRÓTONS E NÊUTRONS, QUE MAIS TARDE SE DESCOBRIU SER NOVAS PARTÍCULAS.

ESSAS NOVAS PARTÍCULAS SUB ATÔMICAS FORAM CHAMADAS DE QUARKS, E FORAM PREVISTAS SEPARADAMENTE DE MANEIRA TEÓRICA, POR DOIS FÍSICOS EM MEADOS DOS ANOS 1964.



M. GELL MANN



GEORGE ZWEIG

ENTÃO OS PRÓTONS E NÊUTRONS, SÃO MESMO FEITOS DE OUTRAS PARTÍCULAS!!



O MODELO PADRÃO



COMO O NÚMERO DE PARTÍCULAS DESCOBERTAS SÓ CRESCIA, FOI NECESSÁRIO SE PENSAR EM COMO ORGANIZAR TODAS ELAS, INCLUINDO SUAS PROPRIEDADES E ANTIPARTÍCULAS. ENTÃO, EM VÁRIAS ETAPAS DURANTE A DÉCADA DE 1960 E 1970, O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES FOI CONSTRUÍDO.



PARTÍCULA VOCÊ JÁ SABE O QUE É, MAS E ELEMENTAR? O QUE SIGNIFICA?? E OS BÓSONS, ELES NÃO TEM ANTIPARTÍCULAS?

MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

LEPTONS

 e^- μ^- τ^-
 ν_e ν_μ ν_τ

ANTILEPTONS

 e^+ μ^+ τ^+
 $\bar{\nu}_e$ $\bar{\nu}_\mu$ $\bar{\nu}_\tau$

BÓSONS MEDIADORES

 γ g W Z

QUARKS

 u c t
 d s b

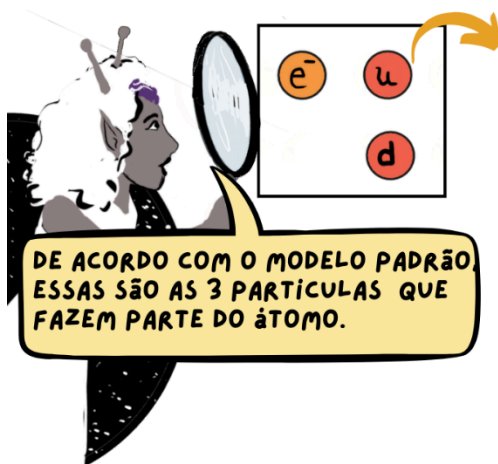
ANTIQUARKS

 $\bar{u}$ $\bar{c}$ $\bar{t}$
 $\bar{d}$ $\bar{s}$ $\bar{b}$

BÓSON DE HIGGS

 H

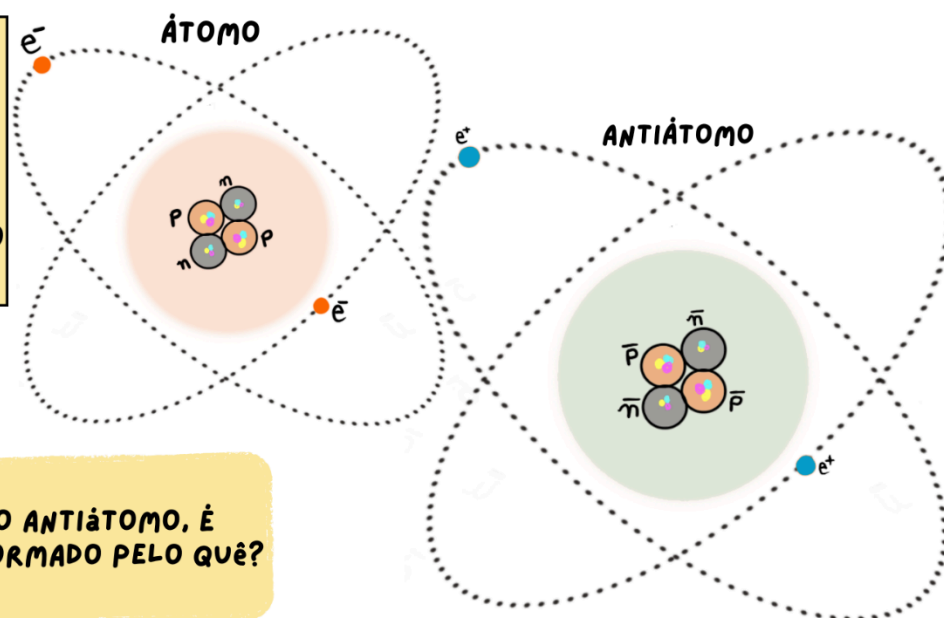
O ANTIÁTOMO



OS QUARKS, UP E DOWN FORMAM OS PRÓTONS E NÊUTRONS. O ELÊTRON PARECE NÃO SER FORMADO POR MAIS PARTÍCULAS, POR ISSO SE ACREDITA QUE ELE SEJA ELEMENTAR.



O ÁTOMO É FORMADO PELOS PRÓTONS, NÊUTRONS E ELÊTRONS. SENDO QUE, OS PRÓTONS E NÊUTRONS SÃO CONSTITUÍDOS DE 2, DOS 6 QUARKS PRESENTES NO MODELO PADRÃO.

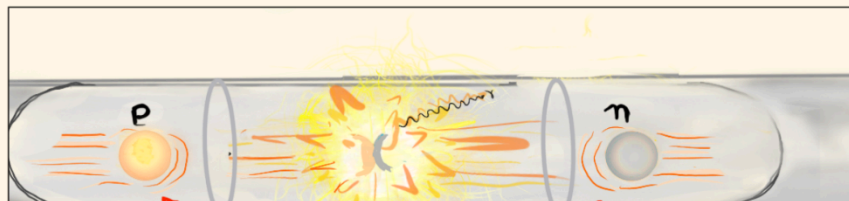


E O ANTIÁTOMO, É FORMADO PELO QUÊ?

COLISÃO DE PARTÍCULAS



ACELERADORES DE PARTÍCULAS SÃO MÁQUINAS USADAS PARA COLIDIR PARTÍCULAS COM VELOCIDADES PRÓXIMAS À VELOCIDADE DA LUZ, PERMITINDO QUE OS CIENTISTAS ANALISEM O PRODUTO DESSAS COLISÕES.



O LHC (GRANDE COLISOR DE HÁDRONS) É O MAIOR ACELERADOR DE PARTÍCULAS DO MUNDO.

A VELOCIDADE DA LUZ É APROXIMADAMENTE 300.000 KM POR SEGUNDO.



EM 1995, CIENTISTAS DO CERN CONSEGUIRAM CRIAR OS PRIMEIROS ANTIÁTOMOS DE HIDROGÊNIO. DOIS ANOS DEPOIS, FORAM CRIADOS MAIS 100 ANTIÁTOMOS, MAS ELES TINHAM UMA VIDA MUITO CURTA.

ANTIÁTOMOS EXISTEM OU NÃO NA NATUREZA? PORQUÊ PRECISAM SER CRIADOS??

PORQUÊ ELES DURAM TÃO POUCO? SERÁ QUE HOJE JÁ EXISTE ALGUM APARELHO QUE OS FAÇA DURAR MAIS?





ANQUILAÇÃO MATÉRIA - ANTIMATÉRIA

VEJAMOS O QUE
ACONTECE
QUANDO, UMA
PARTÍCULA
ENCONTRA SUA
ANTIPARTÍCULA.



NESSE ENCONTRO AMBAS DEIXANDO DE EXISTIR,
LIBERANDO UMA QUANTIDADE DE ENERGIA DESCRITA
PELA FAMOSA EQUAÇÃO DE EINSTEIN ($E = m.c^2$), QUE
DESCREVE A EQUIVALÊNCIA ENTRE MASSA E ENERGIA.

ESSE FENÔMENO É CHAMADO DE ANIQUILAÇÃO.

MAS, COMO A MASSA
PODE SER EQUIVALENTE
A ENERGIA??



SE PARTÍCULA E
ANTIPARTÍCULA EXISTEM,
E SE ANIQUILAM, PORQUE
NÃO VEMOS ESSA ENERGIA
POR AÍ?
O QUE ACONTECE COM
ELA?



ONDE ESTÁ A ANTIMATÉRIA?

OS CIENTISTAS TERRESTRES AFIRMAM QUE ASSIM COMO A MATÉRIA, A ANTIMATÉRIA CHAMADA DE PRIMORDIAL, TEVE ORIGEM SEGUNDOS APÓS O BIG BANG, MAS ELA TERIA DESAPARECIDO TOTALMENTE.

JÁ ANTIMATÉRIA SECUNDÁRIA, É CRIADA CONTINUAMENTE: EM COLISÕES DE PARTÍCULAS, NAS REAÇÕES NUCLEARES DENTRO DAS ESTRELAS, E EM NÚCLEOS DE SUBSTÂNCIAS RADIOATIVAS.

O QUE BANANAS TEM A VER COM A ANTIMATÉRIA??

COMO SERÁ QUE A PRIMORDIAL DESAPARECEU?

e^+ γ e^-



DA PARA USAR A ANTIMATÉRIA?

LEMBRAM DA ENERGIA QUE É LIBERADA QUANDO A PARTÍCULA ENCONTRA SUA ANTIPARTÍCULA.?

UM GRAMA DE ANTIMATÉRIA LANÇADA NA TERRA, PODERIA PRODUZIR UMA ENERGIA 3 VEZES MAIOR QUE A BOMBA ATÔMICA QUE DEVASTOU HIROSHIMA EM 1945.

COM A TECNOLOGIA ATUAL, OS CIENTISTAS TERRESTRES ESTIMAM QUE LEVARIA MILHÕES DE ANOS PARA PRODUZIR ESSA QUANTIDADE.

MAS, ELES UTILIZAM POR EXEMPLO, A ANIQUILAÇÃO DOS ELÉTRONS DA MATÉRIA BIOLÓGICA, COM POSITRONS, EM TÉCNICAS DE IMAGEM UTILIZADAS EM HOSPITAIS, A CHAMADA TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS (PET). ALÉM DISSO, A RADIAÇÃO PÓSITRON TAMBÉM É USADA PARA O ESTUDO DE MATERIAIS COM PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS IMPORTANTES, COMO A SUPERCONDUTIVIDADE.

POR QUE EXISTE MAIS MATÉRIA DO QUE ANTIMATÉRIA?

SE MATÉRIA E ANTIMATÉRIA
SURGIRAM DEPOIS DO BIG
BANG, PORQUE TEM MAIS
MATÉRIA DO QUE
ANTIMATÉRIA HOJE ?



ELAS NÃO
DEVERIAM
EXISTIR NA
MESMA
QUANTIDADE??



POR QUÊ ELAS NÃO SE
ANIQUELARAM TOTALMENTE, SE
SURGIRAM JUNTAS?? SERÁ QUE A
ANTIMATÉRIA ESTÁ PERDIDA EM
ALGUMA PARTE DO UNIVERSO E
NINGUÉM CONSEGUIU DETECTAR??





COMO VOCÊS
DEVEM TER NOTADO
AO LONGO DE
NOSSA VIAGEM,
EXISTEM ALGUMAS
PERGUNTAS QUE
AINDA NÃO FORAM
RESPONDIDAS PELA
CIÊNCIA
TERRESTRE.

ACREDITO QUE SEJA SÓ
UMA QUESTÃO DE TEMPO.
VEJA O MEU PLANETA, QUE
SÓ FOI DESCOBERTO NA
TERRA NO ANO DE 2023.

ESPERO TE
REENCONTRAR NAS
PRÓXIMAS VIAGENS.
QUEM SABE DESSA
VEZ, NÃO SEJA VOCÊ
A VIR AO MEU
PLANETA, ME
CONTAR COMO
DESCOBRIU ONDE
ESTÁ A ANTIMATÉRIA
DESAPARECIDA?



OBRIGADO PELA
COMPANHIA. ATÉ
MAIS!!

